

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Optimización de lixiviación dinámica en tanque de minerales sulfurados y
oxidados para la recuperación del oro y plata en la Empresa Paltarumi**

S.A.C. – Paramonga – 2022

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Javier Fernando NATIVIDAD PEÑA

Asesor:

Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Optimización de lixiviación dinámica en tanque de minerales sulfurados y
oxidados para la recuperación del oro y plata en la Empresa Paltarumi**

S.A.C. – Paramonga – 2022

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
MIEMBRO

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 261-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Optimización de Lixiviación Dinámica en Tanque de Minerales
Sulfurados y Oxidados para la Recuperación del Oro y Plata en la
Empresa Paltarumi S.A.C. – Paramonga – 2022**

Apellidos y nombres del tesista:

Bach. Javier Fernando NATIVIDAD PEÑA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

15 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 21 de mayo del 2025



Firmado digitalmente por PALOMIRO
CUDRO Roben Edgar FAJ/
201548075046.pdf
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.05.2025 16:20:29 -05:00

DEDICATORIA

Con mucho orgullo, dedico a mis honorables padres por su dedicación y consejos permanentes que hicieron posible para la culminación del presente trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a mis colegas de estudio en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por sus ayudas académicas que siempre me brindaron en cada momento que más necesitaba.

Agradezco a todos docentes de la Escuela de Formación de Ingeniería Metalúrgica, por su sapiencia y paciencia profesional para impartir sus conocimientos en el aprendizaje para adquirir el conocimiento científico, que sirvieron para el desarrollo del presente trabajo de investigación científica.

RESUMEN

El propósito principal de la presente investigación es mejorar la recuperación del oro y plata mediante métodos convencionales, en esta oportunidad se hizo uso de la lixiviación dinámica en tanques, inicialmente se hicieron pruebas preliminares mediante los diseños experimentales fraccionados con la finalidad de seleccionar a los factores más significativos del proceso, resultando como variables de entrada: densidad de la pulpa; concentración de cianuro de sodio; pH y tiempo de lixiviación; realizados los ensayos experimentales, llegando obtener los mejores resultados en los ensayos 9 y 10, ver tabla 24; además resultó factores más significativos como la densidad y pH de la pulpa, ver figura 12 y tabla 29; con esta tabla se preparó la tabla 30 con la finalidad de cumplir con la etapa de optimización del proceso; Luego de haber cumplido con la parte experimental, se llegó obtener las mejores recuperaciones de oro y plata en las corridas 3 y 10, ver tabla 31; siendo la recuperación del 93.40% de oro y del 49.80% de plata ; en conclusión se logró con buena recuperación de los metales preciosos con tiempo de agitación de 34 horas, con una concentración de cianuro de sodio un promedio de 300 ppm.

Palabras claves: Optimización; lixiviación; factores y dimensiones.

ABSTRACT

The main purpose of the present investigation is to improve the recovery of gold and silver carried out by conventional methods, this time dynamic leaching in tanks was used, initially preliminary tests were carried out by means of fractional experimental designs in order to select the most significant factors of the process, resulting as main input variables: pulp density; sodium cyanide concentration; pH and leaching time, carried out the experimental tests, the best results were obtained in tests 9 and 10, see table 24; In addition, it turned out to be more significant factors such as the density and pH of the pulp, see figure 12 and table 29; With this table, table 30 was prepared in order to comply with the optimization stage of the process; Once the experimental part was completed, the best gold and silver recoveries were obtained in runs 3 and 10, see table 31; being the recovery of 93.40% gold and 49.80% silver; In conclusion, good recovery of precious metals was achieved with a stirring time of 34 hours, with an average sodium cyanide concentration of 300 ppm.

Keywords: Optimization; leaching; factors and dimensions.

INTRODUCCIÓN

Los metales preciosos tales como el oro y la plata son muy apreciados por todos los mineros, porque son metales altamente comercializables a nivel mundial; en la actualidad los yacimientos mineros en la mayoría de los casos la ley de cabeza es cada vez menor o bajo, a pesar de ello los mineros tratan de realizar el procesamiento hidrometalúrgico mediante diversos métodos y técnicas.

Identificado el problema se realiza convenientemente el planteamiento del problema, en el cual se describe la problemática en forma integral en el cual se incluye a los factores importantes que ocasiona el problema; en el presente caso los diferentes acopiadores de los metales preciosos presentan minerales con ley de cabeza muy alta o baja, los cuales son tratados físicamente para obtener ley apropiada, blending; para el proceso de cianuración en tanques controlando o manipulando diversos factores experimentales más significativos determinados mediante la investigación científica preliminar haciendo uso de los diseños factoriales fraccionados, tales como: granulometría, densidad de la pulpa, concentración del cianuro, oxígeno, tiempo de lixiviación, otros. Finalmente, haciendo uso del diseño central compuesto, muy usado para la construcción de modelos de superficie de respuesta de segundo orden o modelo matemático de segundo orden para la mejora de las recuperaciones de los metales preciosos.

El desarrollo de la tesis en su conjunto contiene o consta de los siguientes capítulos:

Capítulo I: Se empieza con la descripción de los hechos observados a cerca del problema de investigación; en seguida se expone las probables soluciones mediante el control de los factores o dimensiones en el proceso de lixiviación del proceso, para el desarrollo conveniente se realiza las delimitaciones secuencialmente en forma lógica:

Teórica, espacial y temporal. Continuando se cumple con las formulaciones respectivas de los problemas y objetivos generales y específicos. Se termina redactando la justificación del tema de investigación, se culmina con la redacción de las limitaciones más importantes del proceso de investigación.

Capítulo II: En el desarrolla los antecedentes importantes a nivel nacional e internacional, los cuales sirven para la etapa de discusión con los resultados del presente trabajo de investigación; se continúa con la redacción de las bases teóricas científicas relacionados al problema de tesis, corazón de la tesis; las cuales permiten la fundamentación o soporte teórico principal del proceso de lixiviación en tanques, la selección de la teoría se realiza haciendo uso de los gestores o buscadores bibliográficos formando la base de datos bibliográficos; esta redacción sirven hasta la finalización o culminación de la tesis. Se describen las características del oro y plata y a los factores experimentales principales del proceso de lixiviación o disolución de los metales preciosos. Se finaliza con las formulaciones de las hipótesis y la identificación de las variables y su operacionalización, obteniendo a los factores importantes del proceso.

Capítulo III: Contiene la metodología y las técnicas principales de la investigación científica, como tipo de investigación se usa la investigación aplicada y como nivel de investigación se usa el nivel experimental usando el método científico, que consiste en el uso de las bases teóricas y la experimental haciendo uso de los métodos deductivo e inductivo utilizados por el enfoque mixto, en esta parte se usa el programa estadístico, Statgraphics; mediante el diseño factorial se obtiene una tabla principal para realizar los ensayos experimentales, tabla 23; preparado a través de la tabla 22. En seguida se cumple en determinar la población y muestras mediante el muestreo no probabilístico, se cumplieron con los minerales de los acopiadores; se continúa con la descripción de las técnicas e instrumentos de investigación, se usa la técnica documental,

técnica experimental y la observación científica; teniendo como instrumento principal de investigación tanque de lixiviación y como insumos principales se usa al cianuro de sodio y hidróxido de sodio. Los instrumentos de investigación de la empresa tienen la validez y confiabilidad, se culmina la tesis con el procesamiento y análisis de los datos primarios mediante el programa estadístico señalado líneas arriba.

El Capítulo IV: En esta parte se describe todas las actividades experimentales cumplidas durante el desarrollo de la tesis, desde el muestreo hasta la obtención del resultado final del proceso de investigación científica, resultados iniciales ver tabla 24 y los resultados finales de optimización ver tabla 31, obteniendo los mejores resultados de recuperación de oro de 93.4% y plata 49.80% en los ensayos 3 y 10 respectivamente; analizadas las tablas 33 y 36, Razón-F y Valor-P se rechaza a la hipótesis nula del proceso de investigación o tesis. Finalmente, realizada la discusión, se supera las recuperaciones de los metales preciosos.

En consecuencia, con las manipulaciones correctas de los factores experimentales más significativos mediante los diseños factoriales fraccionados y mediante el uso del diseño central compuesto o diseño experimental estadístico, se mejoran las recuperaciones de los metales preciosos; logrando el éxito real, por el momento, siendo económicamente muy rentable. Continuar con la investigación usando o creando nuevos métodos de lixiviación de los metales preciosos.

El autor

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y determinación del problema.	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.2.1.	Delimitación teórica	3
1.2.2.	Delimitación espacial	4
1.2.3.	Delimitación temporal	4
1.3.	Formulación del problema.....	4
1.3.1.	Problema general	4
1.3.2.	Problemas específicos	4
1.4.	Formulación de Objetivos	5
1.4.1.	Objetivo General	5
1.4.2.	Objetivos específicos.....	5
1.5.	Justificación de la investigación.....	6
1.6.	Limitaciones de la investigación	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	8
2.1.1.	Antecedentes internacionales	8
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	10
2.1.3.	Antecedentes locales	12
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	13
2.2.1.	Grupo de minerales de oro	13
2.2.2.	Mineralogía de los minerales auríferos	14
2.2.3.	Permeabilidad del mineral oro.....	14
2.2.4.	Ocurrencia del oro	14
2.2.5.	Minerales recuperables mediante lixiviación.	18
2.2.6.	Lixiviación en tanques.....	19
2.2.7.	Disolución del oro	20
2.2.8.	Exceso consumo de cianuro	22
2.2.9.	Selección de los factores de lixiviación.....	22
2.3.	Definición de términos básicos	28
2.4.	Formulación de Hipótesis.....	30
2.4.1.	Hipótesis General	30
2.4.2.	Hipótesis Específicas.....	30
2.5.	Identificación de Variables.....	30
2.5.1.	Variable independiente	30
2.5.2.	Variable dependiente	30
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores	30

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	32
3.2.	Nivel de Investigación.....	32
3.3.	Métodos de investigación.	32
3.4.	Diseño de investigación.....	33
3.5.	Población y muestra	37
3.5.1.	Población	37
3.5.2.	Muestreo.	37
3.5.3.	Muestra.	37
3.6.	Técnicas e instrumento recolección de datos	38
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos	38
3.6.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	39
3.6.3.	Insumos (reactivos).	40
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	40
3.7.1.	Selección de los instrumentos de investigación.	40
3.7.2.	Validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	41
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	42
3.8.1.	Técnicas de procesamiento de datos.....	42
3.8.2.	Técnicas de análisis de datos.....	42
3.9.	Tratamiento Estadístico.	43
3.10.	Orientación ética, filosófica y epistémica	44

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.	45
------	--	----

4.1.1.	Muestreo del mineral.....	45
4.1.2.	Preparación del mineral.....	48
4.1.3.	Preparación del Blending	49
4.1.4.	Análisis granulométrico.....	49
4.1.5.	Análisis de la ley de cabeza en Blending de oro y plata	51
4.1.6.	Cinética de lixiviación del Blending 378; 379; 383; 384 y 385	51
4.1.7.	Preparación de la plantilla del diseño factorial fraccionado.....	65
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	68
4.2.1.	Presentación de resultados en función a la recuperación de oro	68
4.2.2.	Presentación de resultados en función a la recuperación de plata.....	72
4.2.3.	Proceso de optimización de las recuperaciones.....	72
4.2.4.	Procesamiento y análisis de la tabla 31 del proceso de optimización del oro.....	77
4.2.5.	Procesamiento y análisis de la tabla 31 del proceso de optimización de plata.	82
4.3.	Prueba de Hipótesis	87
4.3.1.	Hipótesis de trabajo.	87
4.3.2.	Hipótesis estadística.	87
4.4.	Discusión de resultados	92

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICO

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de lixiviantes para algunos minerales comunes	17
Tabla 2 Minerales que se pueden tratar mediante lixiviación	18
Tabla 3 Operacionalización de las variables del proceso	31
Tabla 4 Ley de cabeza de oro y plata	51
Tabla 5 Blending 378 - malla 200, 40 horas de lixiviación.....	52
Tabla 6 Blending 378 – malla 325, 40 horas de lixiviación	53
Tabla 7 Blending 378 – malla 200, 80 horas de lixiviación	54
Tabla 8 Blending 380 – malla 325, 80 horas de lixiviación	55
Tabla 9 Recuperación y consumo de reactivos, 40 horas.....	56
Tabla 10 Recuperación y consumo de reactivos, 80 horas.....	56
Tabla 11 Resumen de blending 379 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 40 horas de lixiviación	57
Tabla 12 Resumen de blending 379 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 80 horas de lixiviación	57
Tabla 13 Resumen de Blending 383 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 40 horas de lixiviación	58
Tabla 14 Resumen de Blending 383 – malla 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 80 horas de lixiviación	58
Tabla 15 Resumen de Blending 384 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 40 horas de lixiviación	59
Tabla 16 Resumen de Blending 384 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 80 horas de lixiviación	59
Tabla 17 Blending 385 - malla 200, 40 horas.....	60
Tabla 18 Blending 385 - malla 325, 40 horas.....	61

Tabla 19 Blending 385 - malla 200, 80 horas.....	62
Tabla 20 Blending 385 - malla 325, 80 horas.....	63
Tabla 21 Resumen de Blending 385 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 40- 80 horas de lixiviación.....	64
Tabla 22 Factores de lixiviación para los ensayos experimentales	65
Tabla 23 Plantilla aleatorizado para los ensayos experimentales.....	66
Tabla 24 Resultados de los análisis químicos	67
Tabla 25 Efectos estimados para la recuperación del oro	68
Tabla 26 Análisis de varianza para la recuperación de oro	69
Tabla 27 Coeficiente de regresión para recuperación de oro	70
Tabla 28 Maximización de la recuperación de oro.....	72
Tabla 29 Factores de optimización del proceso.....	72
Tabla 30 Plantilla para la optimización de recuperación de Au y Ag	73
Tabla 31 Resultados de optimización del oro y plata.	76
Tabla 32 Efectos estimados para la recuperación de oro.....	77
Tabla 33 Análisis de varianza para recuperación de oro	78
Tabla 34 Regresión para la recuperación de oro	80
Tabla 35 Maximización de la recuperación de ro.....	81
Tabla 36 Efectos estimados para la recuperación de plata	82
Tabla 37 Análisis de varianza para recuperación de plata.....	83
Tabla 38 Regresión estadística para la recuperación de plata	85
Tabla 39 Maximización de la recuperación de plata	86
Tabla 40 Resumen estadístico para recuperación de Au	88
Tabla 41 Tabla de frecuencia para recuperación de oro	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diferentes tipos de oro, asociados a la pirita, galena.....	15
Figura 2 Esquema del tanque de lixiviación del oro	17
Figura 3 Modelo de cianuración anódica para el oro	18
Figura 4 Lixiviación por agitación	19
Figura 5 Esquema general de un agitador	20
Figura 6 Factores experimentales de lixiviación	23
Figura 7 Presentación y comercialización del cianuro de sodio	26
Figura 8 Equilibrio entre HCN y CN-	28
Figura 9 Escritorio principal del Statgraphics Centurión.....	35
Figura 10 Mejor tratamiento y punto óptimo, región experimental y región operabilidad	36
Figura 11 Lotes para la conformación del Blending	46
Figura 12 Verificación de los lotes que conformarán el Blending.....	46
Figura 13 Muestreo de los lotes para la preparación del Blending	47
Figura 14 Muestreo de los lotes para la conformación del Blending.....	47
Figura 15 Las muestras en bolsas de polietileno para la preparación del Blending.....	48
Figura 16 Mezclado y pulverizado de las muestras	48
Figura 17 Homogenización de los lotes (conformación del blending)	49
Figura 18 Tanque dinámico para los ensayos experimentales	67
Figura 19 Diagrama de Pareto para la recuperación de oro	69
Figura 20 Efectos principales para la recuperación de oro	70
Figura 21 Superficie respuesta de recuperación del oro.....	71
Figura 22 Ensayos experimentales de optimización de la recuperación de oro y plata	74
Figura 23 Plateo de los resultados finales	74

Figura 24 Plateo de los resultados finales	75
Figura 25 Vista al microscopio	75
Figura 26 Resultado final vista al microscopio	76
Figura 27 Diagrama de Pareto estandarizada para la recuperación de oro	78
Figura 28 Superficie de respuesta estimada para la recuperación de oro.....	81
Figura 29 Diagrama de Pareto estandarizada para la recuperación de plata	83
Figura 30 Superficie de respuesta estimada para la recuperación de plata	86
Figura 31 Efectos principales para la recuperación de plata	86
Figura 32 Muestras antes y después del proceso de lixiviación del oro.....	87
Figura 33 t de Student para la recuperación del oro y plata	89
Figura 34 Gráfico de frecuencias para la recuperación de oro.....	90
Figura 35 Chi-Cuadrada de probabilidad estadística	92

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.

El problema de investigación desarrollado pretende determinar el proceso productivo, resultado de las pruebas experimentales apoyado de los diseños experimentales fraccionados y diseño central compuesto (DCC), de tal manera que permita optimizar la cinética de lixiviación de oro para obtener las mejores recuperaciones.

En esta parte se debe tener en cuenta tres componentes, el primero, descripción de los hechos o síntomas que se observa acerca del tema de investigación, el segundo aspecto es la exposición de probables explicaciones que da origen al problema en estudio y el tercer componente, es el planteamiento de las probables soluciones al problema que se estudia (Meza Riquelme, 2008, p. 4)

Existe la necesidad de efectuar los tratamientos de los minerales sulfurados y oxidados, proporcionados por los diferentes pequeños mineros, haciendo uso de la lixiviación dinámica en tanques mediante la cianuración, usando reactivos convencionales y controlando adecuadamente a los factores del

proceso de cianuración, tales como: granulometría; densidad de la pulpa; cianuro de sodio; dosificación de reactivos orgánicos e inorgánico; pH y otros.

Posterior a las pruebas experimentales realizadas en laboratorio y con las variables obtenidas en cantidad y calidad, se pretende escalar a nivel piloto e industrial y comparar las recuperaciones del oro y plata obtenidas.

1.2. Delimitación de la investigación

De acuerdo con Alfaro (2012); en los trabajos de investigación, la delimitación del problema de investigación científica es indispensable nominar tomando en cuenta las bases teóricas y fácticas, de tal manera que el investigador pueda circunscribirse a un ámbito teórico predefinido articulado al problema en proceso o tratamiento científico, estas delimitaciones son: teórico, espacial y temporal, leer las afirmaciones siguientes:

Consiste en organizar en secuencia lógica, orgánica y deductiva, los temas ejes que forman parte del marco teórico en la que circunscriben las variables del problema de investigación; es decir, se debe establecer un dominio teórico donde los temas que explican y definen cada una de las categorías propias del problema que se investiga, estén plenamente relacionados unos con otros (pág. 26).

También Chaverri (2017) afirma que el nombre general de una propuesta surge no solo de la revisión de fuentes de información, también de la creatividad y capacidad explicativa de quien investiga o investigador, así como de un ejercicio de delimitaciones, ya que el nombre o título de la obra puede permitir incluso advertir límites de la investigación, a saber la delimitación espacial, en la cual se detalla el lugar, ya se trate de una investigación global, regional, nacional o local, incluso circunscrita a espacios institucionales y por otro lado, la delimitación temporal, la cual señala la extensión de tiempo que cubre el estudio,

sea de meses o incluso años, de manera constante u observando intervalos de tiempo (pág. 190)

Del mismo modo Carrero (2021) corrobora que la amplitud del tema origina que la investigación no pueda ser terminada en el tiempo preestablecido por la institución educativa, en tal sentido trae como consecuencia frustración y cansancio por parte de los estudiantes, razón por la cual terminan abandonando la investigación y no logrando culminar con éxito su trabajo de grado (pág. 1).

Las delimitaciones en todo trabajo de investigación son muy importantes, éstas deben ser identificadas en función o relacionado al tema de investigación, para la preparación del marco teórico sin inconvenientes o facilitar la búsqueda de información documental.

1.2.1. Delimitación teórica

La delimitación teórica comprende, los conceptos puntuales de las variables, dimensiones e indicadores y la forma como se va operacionalizar durante la investigación. Es decir, llevar el problema de investigación de una situación o dificultad muy grande de difícil solución a una realidad concreta, fácil de manejar (Sabino, 2021)

El trabajo de investigación trata los aspectos teóricos fundamentales, con la finalidad de cumplir con el desarrollo conveniente, los temas a tratar o describir son:

Muestreos

- Caracterización del mineral
- Preparación mecánica del mineral
- Métodos y técnicas de lixiviación
- Lixiviación: Conceptos; tipos de lixiviación; etc.

- Factores influyentes en la lixiviación
- Materiales e insumos para la lixiviación.
- Diseños experimentales seleccionados para los ensayos de lixiviación
- Modelos empíricos

1.2.2. Delimitación espacial

La presente investigación se desarrolló en la empresa Paltarumi ubicado en:

Distrito : Paramonga

Provincia : Barranca

Región : Lima

1.2.3. Delimitación temporal

El desarrollo de la investigación comprendió el año 2022.

1.3. Formulación del problema

“La pregunta de investigación debe ser clara y precisa y genera el objetivo, la hipótesis (cuando corresponda) y la metodología a seguir en el plan” (Facultad de Medicina Humana, 2017, p. 10)

1.3.1. Problema general

¿Cómo optimizamos la lixiviación dinámica en tanques los minerales sulfurados y oxidados para la recuperación del oro en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca-Paramonga – 2022?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿De qué manera la densidad de pulpa influye en la recuperación del oro y plata?
- b. ¿Cómo influye la concentración de cianuro de sodio en la recuperación del oro y plata?

- c. ¿En qué medida el pH de la pulpa influye en la recuperación del oro y plata?
- d. ¿Qué efecto produce el tiempo de lixiviación en la recuperación del oro y plata?

1.4. Formulación de Objetivos

Los objetivos, son los logros que se pretende alcanzar en el estudio, esto a su vez permiten medir y explicar los factores de entrada de estudio del tema de investigación y por último, permite lograr demostrar los supuestos que explicarían el comportamiento del fenómeno o tema de estudio, además que esta demostración permite demostrar la hipótesis (Meza Riquelme, 2008, p. 5)

1.4.1. Objetivo General

Determinar y analizar la optimización de la lixiviación dinámica en tanque de minerales sulfurados y oxidados para la recuperación del oro en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Paramonga-Barranca – 2022

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Demostrar que la densidad de pulpa influye en la recuperación del oro y plata.
- b. Determinar la influencia de la concentración del cianuro de sodio en la recuperación del oro y plata.
- c. Contrastar que el pH de la pulpa influye en la recuperación del oro y plata.
- d. Hallar el efecto que produce el tiempo de lixiviación en la recuperación del oro y plata.

1.5. Justificación de la investigación

De acuerdo a Baena (2017), la justificación del tema permite indicar los motivos y necesidades que llevan al investigador a seleccionar el tema para desarrollarlo, las cuales deben ser de orden externo u objetivo, y de orden interno o subjetivo (pág. 59)

El desarrollo del presente tema de investigación es para mejorar la recuperación de los metales preciosos y obtener mejor rentabilidad para la empresa, haciendo uso del método teórico, experimental y estadístico (teorías-prácticas aprendidas en las aulas universitarias), vele decir usando el método cuantitativo, el cual permite manipular intencionalmente los factores experimentales durante el proceso de lixiviación, para solucionar el problema metalúrgico, con la finalidad de mejorar las condiciones de operación de lixiviación; en consecuencia, el beneficiario directo con la solución del presente trabajo es la empresa(s) y pequeños mineros artesanales con la mejora de la productividad para mejorar las ganancias económicas.

Por lo tanto, este proceso de investigación experimental puede servir como una guía de procesamiento en el futuro para casos similares de lixivitaciones.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones principales durante la ejecución del presente trabajo de investigación de tesis fueron:

- Falta de datos secundarios confiables
- Falta de instrumentos disponibles
- Recursos humanos y financieros

Posteriormente estas limitaciones durante el desarrollo de la tesis fueron superadas, gracias el apoyo de la familia y amigos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Consiste en redactar un resumen breve, preciso, claro y contundente de trabajos que fueron realizados o efectuados relacionados al tema a investigar; en otras palabras, se deberá prevalecer los aspectos que no fueron abordados para justificar la importancia de la investigación que se propone a resolver.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ruiz Córdoba, et.al. (2019) afirma, se muestran los resultados de una investigación de la lixiviación con cianuro de un mineral aurífero sulfuroso con materia carbonosa; se aplicó un diseño experimental de análisis factorial 2^k de tres variables con réplicas en el centro, empleando el método de superficie de respuesta (MRS); se condujeron pruebas de cianuración en botella rotatoria para estudio del efecto de ciertas variables seleccionadas sobre la recuperación de Au y determinar los parámetros óptimos para lograr su máxima recuperación en el proceso; los resultados obtenidos demuestran que el mineral presenta un alto grado de lixiviablez en cianuro, obteniéndose una recuperación de Au

promedio del 93,65%, con una concentración de cianuro de sodio [NaCN] de 2,5 g/L y un tiempo de lixiviación de 12 horas.

Ruiz Córdoba, et. al. , (2019), en este trabajo, buscó identificar las condiciones y variables óptimas de operación para el procesamiento de un mineral de oro, para alcanzar alta eficiencia en la recuperación del metal precioso. Inicialmente se llevó a cabo una caracterización del mineral en estudio con la realización de diferentes ensayos de laboratorio. Igualmente se ejecutó un ensayo de moliendabilidad, que fue clasificada mediante una serie de tamices Tyler; con una granulometría 100 % pasante 170 mallas, con el fin de optimizar la recuperación del oro del mineral aurífero en estudio, se aplicó un diseño experimental factorial 2k con punto central, tres factores y el método de superficie de respuesta para determinar los parámetros óptimos para lograr una recuperación eficiente durante la cianuración; los resultados obtenidos mostraron que el mineral presenta un alto grado de lixivabilidad en cianuro, lográndose una recuperación del oro del 89,35 %; de acuerdo con esto, se comprobó que el diseño experimental estadístico es una herramienta muy valiosa para el procesamiento eficiente de los minerales, dado que permite encontrar los parámetros óptimos del proceso de cianuración, como son el tiempo de lixiviación, la granulometría del mineral y la concentración de NaCN. los resultados conseguidos con la aplicación del diseño estadístico en las pruebas de cianuración posibilitaron determinar las condiciones óptimas de operación del proceso de lixiviación.

Aguilar Alvarado, (2021) afirma que el presente trabajo fue realizado a escala de laboratorio, con el objetivo de estudiar los procesos de cianuración, para analizar la incidencia que tiene la inyección de aire dentro de la pulpa a través del proceso denominado lixiviación dinámica, enfocada en la recuperación de

metales valiosos como el oro. Los resultados determinaron que, a medida que incrementa la concentración de oxígeno por aire insuflado en la solución, aumenta la recuperación de oro; para obtener este resultado se realizaron ocho pruebas distintas variando el caudal de aire inyectado a la pulpa, repitiéndose cada una de estas pruebas tres veces. Los resultados obtenidos mostraron cambios en la recuperación del oro, lo que permitiría mejorar notablemente los procesos convencionales, debido a que se logró observar un aumento en la recuperación metalúrgica de Au con 0,14 m³/h de aire insuflado correspondiente a 27,056%, en disparidad al no haberse inyectado aire obteniendo una recuperación de 23,052%; el análisis químico cuantitativo señala que el mineral en cuestión contiene principalmente 94,94% de sílice, 3,67% de aluminio, 1% de hierro, 0,0014% de oro, y 0,00039% de plata.

Según, **Guerra García de Alba, (2013)**, los resultados experimentales muestran que es factible la disolución de especies de oro y plata para su posterior recuperación como metales base. Los resultados de la prueba de botella indican que se disuelve hasta 93% del total del oro contenido en la muestra mineral; a partir del análisis de liberación al mineral motivo de estudio, se lixivió el 83% del oro a tamaños de partícula que pasaron la malla 400 (d₈₀ = -38 μm). Para las partículas gruesas que pasan la malla # ¼” (d₈₀ = - 6,4mm) se disolvió solamente el 25%; este último tamaño de partícula, tal y como se utilizan en la práctica minera.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Vilcapoma Juño (2021), su estudio es desarrollado con las muestras de la planta de procesamiento de oro de la Cia. Minera Ares con el objetivo de evaluar, modelar y optimizar las principales variables en el proceso de

cianuración de oro en la Compañía Minera Ares S.A. a través del método de superficie de respuesta que emplea el diseño central compuesto D(CC), el cual propone ajustar un modelo de regresión cuadrática que se construye a partir de un diseño factorial 2^k con puntos centrados y sobre los ejes axiales; las variables a optimizar en el proceso de cianuración fueron las cinco principales como son el pH, porcentaje sólido, concentración de NaCN, tamaño de partícula y tiempo de lixiviación para poder maximizar la recuperación del oro como variable respuesta, el procesamiento de los datos resultó un R^2 ajustado que mide la varianza del modelo en un 93,65%, la ecuación de regresión que representa el modelo en unidades codificadas fue $Y = +87,436 - 0,4995A - 0,3875B + 0,7455C + 1,2480D - 1,0365E - 0,9877C^2 - 0,2990D^2 - 2,090C^2 + 0,2531BE$ y por último la recuperación máxima fue de 90,49% con las condiciones óptimas de pH de la solución de 10, porcentaje de sólidos de 35 %, concentración de NaCN de 735,85 ppm, tamaño de partícula de 38 μm y tiempo de lixiviación de 24h.

Isidro Perca (2018) manifiesta, que los procesos de tratamiento de minerales auríferas que existen actualmente en la zona minera de J.J. Inversiones Mineras, conllevan a sistemas poco eficientes en la extracción de oro no mayor de 40 %; el presente trabajo involucra pruebas de consumo de cianuro y pruebas de lixiviación en columnas con resultados de análisis y caracterización de minerales auríferos de dicha zona minera, según los resultados obtenidos durante esta investigación, es posible lograr porcentajes de disolución de oro de hasta el 90 % para los minerales de la zona, esta afirmación fue posible a las mejores condiciones de las pruebas metalúrgicas planteadas para el control del proceso.

Flores Mamani, (2019) manifiesta, realizado el análisis químico de la muestra de mineral de oro fue 2,40 g/t; las condiciones de cianuración fueron

manteniendo los factores pH constante de 11 (con solución CaO al 15%), tamaño granulométrico de partícula pasante malla – 200, porcentaje de sólidos de 32,56% y temperatura ambiente de 16°C; estos valores para plantear para formular la optimización del tiempo del proceso de cianuración, llegando a un resultado óptimo de 72 horas, logrando así una recuperación de 91,67% de oro para la prueba M1 y 90,42% de oro para la prueba M2; también se evaluó el efecto de la concentración de cianuro libre, en rango de 0,14% a 0,08% de CN- libre, alcanzando una recuperación de 91,67% de oro para la prueba M1 y 90,42% de oro para la prueba M2; finalizando la investigación se obtiene una recuperación superior al 90% de oro, a nivel experimental, mostrándose favorable el proceso de cianuración.

2.1.3. Antecedentes locales

Garcia Jordi (2020), su estudio es desarrollado con las muestras de la planta de procesamiento de plata de la Minera Aurex S.A., con el objetivo de optimizar la recuperación de plata a partir de relaves antiguos, desarrollo pruebas experimentales empleando diferentes reactivos de flotación, permitiendo determinar parámetros de procesos óptimos para beneficiar y obtener la recuperación de la plata, tomándose muestras de relave teniendo como resultado de los análisis químicos que la ley de plata era aproximadamente 148 ppm, se realizaron pruebas de flotación, optimizando diferentes parámetros, distribución de partículas, tipo y dosificación de colector, pH, D80, activador y agentes sulfurantes para llegar a una ley de concentrado de plata de 1745 ppm, con una ley de recuperación del 84 %.

2.2. Bases teóricas - científicas

El origen de los depósitos minerales está estrechamente relacionado con la evolución de la corteza terrestre, especialmente con la interpretación moderna de la tectónica de placas y sus elementos, como la expansión del fondo oceánico y la formación de arcos de islas volcánicas (Londoño Escobar y otros, 2010, p. 31).

La extracción sólido-líquido son operaciones que son usados para separar minerales solubles en solventes inorgánicos, entonces estos procesos son importantes en muchos procesos metalúrgicos, en la extracción del cobre se realiza la lixiviación con ácido sulfúrico y el oro con cianuro de sodio, etc.

La operación de Blending (mezcla) es una estrategia de procesamiento metalúrgico para minerales que presentan un difícil tratamiento, con el fin de maximizar la recuperación de yacimientos; el procedimiento se logra a través de la mezcla de un mineral complejo, debido a su baja ley o un elevado contenido de arcillas con otro mineral fácil recuperación, en una proporción másica determinada, de modo que la recuperación del mineral obtenida mediante el procesamiento de la mezcla sea mayor que la recuperación que se obtiene cuando los minerales son procesados en forma individual (Soto Contreras, 2017, p. 28).

2.2.1. Grupo de minerales de oro

No refractarios: El oro puede ser recuperado mediante proceso de lixiviación.

Refractarios: El oro no es recuperado más de un 80% mediante procesos convencionales.

El oro refractario es químicamente raro, por ejemplo, teluros de oro insolubles.

2.2.2. Mineralogía de los minerales auríferos

Las condiciones mineralógicas de minerales para la cianuración, son de factores variados al momento del procesamiento, en la cual la especie mineralogía del mineral pueda ser de la especie oxidada o sulfurada en la cual se aumentaría como disminuirá su velocidad disolución, también ser afectado por el tamaño de partícula y porosidad del mineral, habiendo cambios en su composición química a fin de que ocurra la disolución de oro (Flores Mamani, 2019, pág. 39).

Las tablas 1 y 2 contienen los resultados del análisis microscópico de cada compuesto, donde se muestran las composiciones mineralógicas presentes en la mena, en la ganga y en las alteraciones y en óxidos.

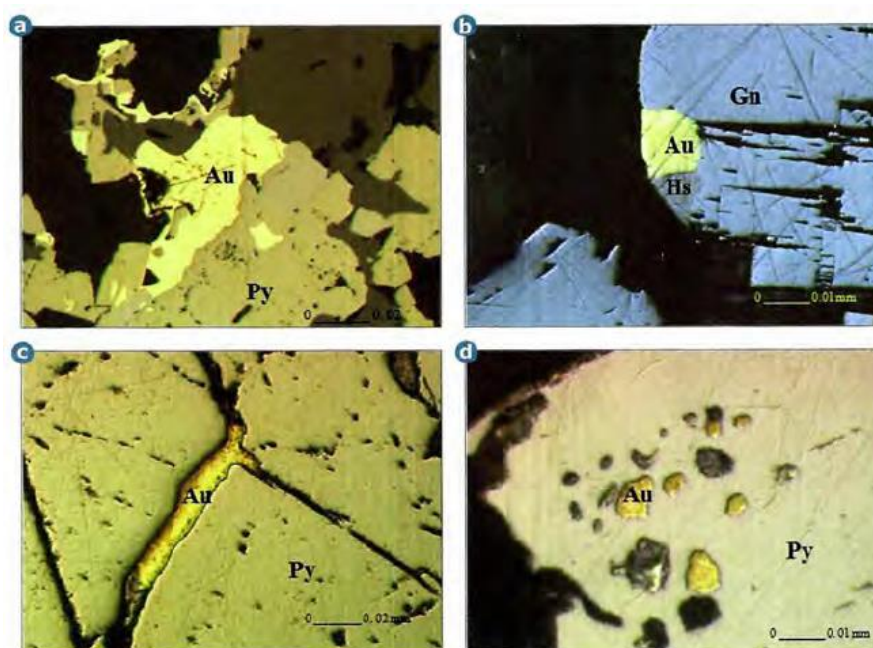
2.2.3. Permeabilidad del mineral oro

La permeabilidad es la característica física más importante del mineral que contiene un amplio rango de tamaños de partículas con diferentes grados de porosidad a través de los cuales se pueden mover la disolución de ataque y/o solución lixivante de cianuro (López Valverde, 2019, p. 22).

2.2.4. Ocurrencia del oro

“La forma como ocurre el oro en los depósitos (figura 3) determina algunos de los factores que inciden en la refractariedad de la mena cuyas características permiten definir el proceso de beneficio que debe emplearse”, ver figura 1 (Londoño Escobar y otros, 2010, p. 16).

Figura 1 Diferentes tipos de oro, asociados a la pirita, galena



Fuente: Londoño Escobar y otros, 2010, p. 16

Lixiviación sólido-líquido de metales preciosos

El cianuro ha sido tradicionalmente el agente lixivante en la industria hidro-metalúrgica del oro desde 1887 cuando MacArthur y Forrest la pusieron en práctica (Marsden, 1992); en el proceso de cianuración se busca la disolución del oro en una solución acuosa utilizando cianuro y oxígeno proveniente del aire (como agente oxidante), trabajando a un pH básico (10,5-11,5) y un potencial de óxido-reducción en un rango aproximado de -400 a +250 milivoltios (Londoño, 2002), el ión cianuro acompleja tanto al oro como a otros metales que puedan estar presentes tales como plata, cobre, zinc, antimonio, quedando disueltos en la solución acuosa (Londoño Escobar y otros, 2010, p. 405).

“Una de las mayores ventajas de la hidrometalurgia es su habilidad de recuperar, exitosamente, metales valiosos de una amplia variedad de materiales, tales como minerales de baja ley” (Uceda Herrera, 2016, p. 44):

- Oro de 1 a 5 g/t.

- Minerales de cobre de 0,4% Cu, 10% Fe.
- Lateritas de níquel con 1,5% Ni, 0,2% Co, 70% Fe₂O₃.

El principio de la cinética de cianuración del oro y la plata está controlado o gobernado por el proceso de difusión de la solución cianurada a través de la porosidad del mineral que permita la extracción de los elementos de oro y plata, con la presencia imprescindible del oxígeno en la solución, puesto que en la pila de mineral hay intersticios, o espacios libres por donde fluyen las soluciones cianuradas, esto se denomina percolación, y esto ayuda a que la soluciones lixiviantes se enriquezca con este vital elemento sin el cual la cianuración del oro no sería posible (López Valverde, 2019, pp. 15-16)

“El producto de solución de lixiviación, por lo general contiene el metal deseado, los metales se disuelven como cationes, por ejemplo, Cu²⁺, Zn²⁺, etc., o como iones complejos, tales como CuCl²⁻; Au(CN)²⁻; Zn(NH₃)₄²⁺; etc.” (Uceda Herrera, 2016, p. 43).

La concentración de cianuro de sodio en la solución dependerá también del contenido de oro generalmente en el mineral aurífero a menores contenido de oro, menor será concentración de cianuro a emplearse, evitándose la disolución de los compuestos de mineral que acompañan a la mena y cuando el proceso de lixiviación toma un tiempo muy prolongado en alcanzar las máximas extracciones (López Valverde, 2019, p. 18)

Es la disolución selectiva de los metales preciosos que son de interés, que se encuentran en los minerales, mediante reactivos adecuados que son los agentes lixiviantes encargados de realizar la disolución por reacciones químicas de óxido /reducción; ver tabla 1.

Tabla 1 Tipos de lixiviantes para algunos minerales comunes

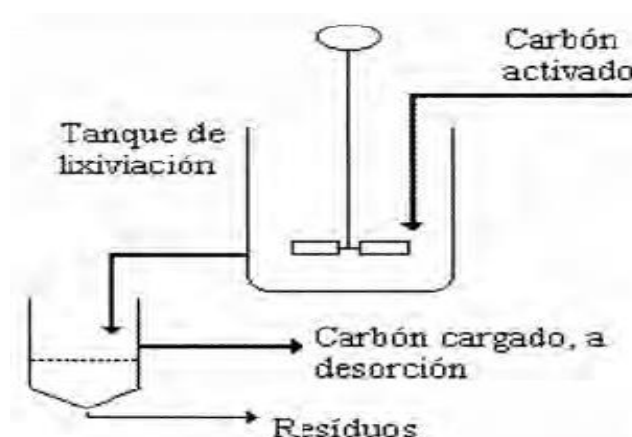
Tipo de mineral	Lixiviente	Calibre típico de partícula	Tiempo típico de retención
Mineral de Cobre (óxido)	H ₂ SO ₄	9 mm / 3/8 in	5 días
Mineral de Oro	NaCN	200 micrones / malla 65	4 - 24 horas
Concentrado de Oro	NaCN	45 micrones / malla 325	10 - 72 horas
Ilmenita	H ₂ SO ₄	75 micrones / malla 200	0,5 hora
Mineral de Níquel (laterita)	H ₂ SO ₄	150 micrones / malla 100	2 horas
Mineral de Plata	NaCN	200 micrones / malla 65	72 horas
Mineral de Uranio	H ₂ SO ₄	150 micrones / malla 100	16 - 48 horas
Mineral de Uranio	Na ₂ CO ₃	150 micrones / malla 100	90 horas

Fuente: Cervantes Garcés, 2018, p. 24

Para realizar el procesamiento de recuperación del oro hay dos métodos o procesos ampliamente usados, denominados o llamados lixiviación por agitación y lixiviación en pilas, dinámica y estática respectivamente.

El método de cianuración por agitación, requiere un tanque en el cual se depositan el mineral previamente chancado o molido y la solución de cianuro de sodio con pH mayor a 10,5; cuya pulpa es agitada para facilitar la disolución del oro con la participación del oxígeno del aire y para acelerar la reacción química; para este proceso, se requiere que las partículas de oro entren en contacto con la solución de cianuro de sodio, ver figura 2.

Figura 2 Esquema del tanque de lixiviación del oro

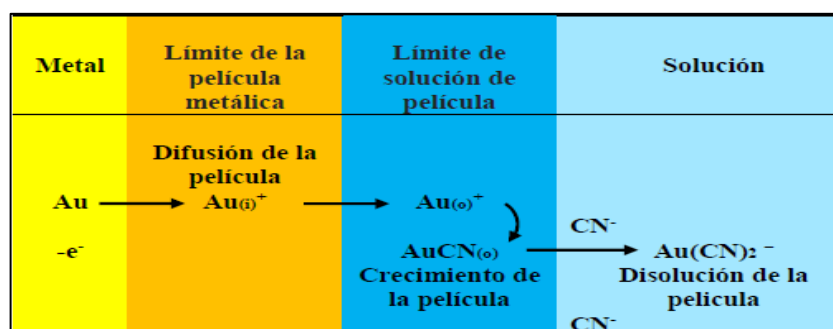


Nota: La agitación con ingreso es constante.

Fuente: (Londoño Escobar y otros, 2010, p. 312)

Sithammavut (2008) y Senanayake (2008) citados por Londoño Escobar, y otros, (2010) indica que este mecanismo implica un proceso electroquímico en el que la reacción es la oxidación del oro a complejo aurocianuro, mientras que la reacción catódica es la reducción de oxígeno, ha ilustrado la difusión de iones de oro a través de las interfaces en la solución como se muestra en la figura 3.

Figura 3 Modelo de cianuración anódica para el oro



Fuente: Senanayake, 2008 citado por Londoño Escobar, y otros, (2010)

2.2.5. Minerales recuperables mediante lixiviación.

Existen muchos minerales que son dóciles para ser recuperados mediante procesos de lixiviación alcalina o ácida, ver tabla 2.

Tabla 2 Minerales que se pueden tratar mediante lixiviación

Materiales	Ejemplos Representativos
Metales	Metales Preciosos, cobre, níquel, cobalto.
Oxidos e Hidróxidos	bauxita, lateritas, minerales de cobre oxidados, minerales de uranio, minerales de zinc, manganeso y nódulos.
Oxidos Complejos	cromita, niobita-tantalita, pirocloro, ilmenita, wolframita, scheelita.
Sulfuros	sulfuros de metales como cobre, níquel, cobre o zinc ; molibdenita.
Solenoides y Teluritas	lodos anódicos de la electrolisis de cobre.
Arseniuros	cobalto y níquel en minerales con arsénico.
Fosfatos	rocas de fosfatos, arena de monazita.
Silicatos	arcillas de silicatos, nefelina-sienita; minerales de berilio; serpentina.
Cloruros y Sulfatos	escoria de piritas de procesos de cloruro y sulfato.
Escorias y Lodos	escorias de conversión de cobre; lodo de vanadio (de la industria del aluminio); aleaciones ferro escorias.
Catalizadores	níquel / molibdeno / vanadio - catalizador gastado que lleva.
Escorias	Estas son aleaciones de metales pesados como hierro, cobalto y níquel con arsénico y antimonio, ocasionalmente tales como estaño.

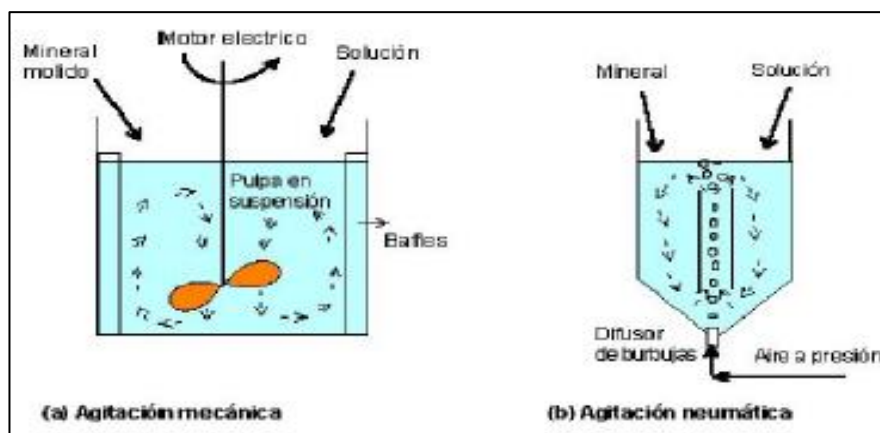
Fuente: Valadéz Aguilar, 2021, p. 19

2.2.6. Lixiviación en tanques

“La cianuración por agitación es el método que requiere de la máxima liberación del mineral, para obtener buenas recuperaciones en oro, si el oro es más expuesto a las soluciones cianuradas, mayor será su disolución del oro” (Tapara Velarde, 2018, p. 31).

La lixiviación por agitación es un tipo de lixiviación en la que se agita una pulpa formada por partículas finas y reactivos. Se utiliza para menas de alta ley o cuya especie útil es de alto valor comercial, debido a los grandes costos de inversión. Su objetivo es tener recuperaciones más altas en tiempos más cortos; usualmente se utiliza para lixiviar calcinas de tostación y concentrados, y es empleada en la extracción de cobre, oro, plata, entre otros cinco elementos (Tarqui Perez, 2018, p. 40); ver figuras 4 y 5

Figura 4 Lixiviación por agitación



Fuente: Tarqui Perez, 2018

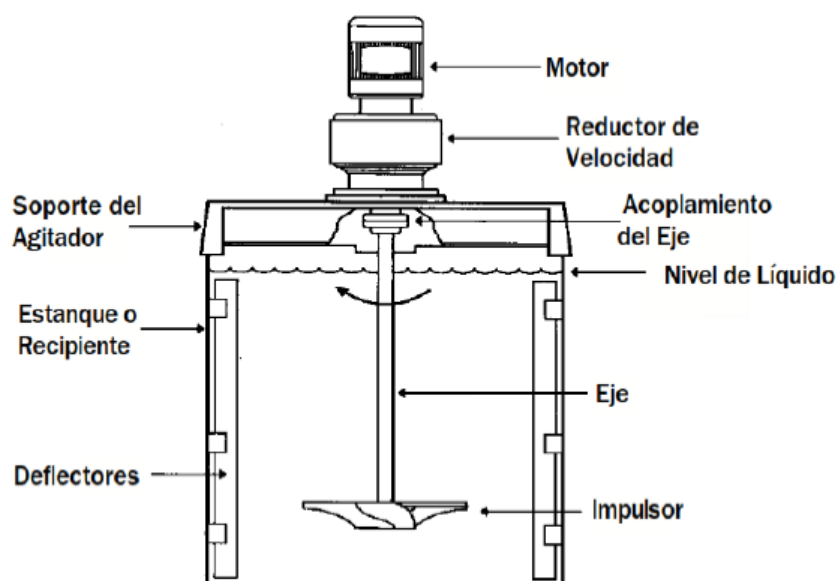
Ventajas de la lixiviación

- Alta extracción del oro a recuperar.
- Tiempo corto (horas).
- Procesamiento continuo que permite la automatización.
- Trata de minerales generadoras de finos.

Desventajas de la lixiviación

- a. Mayor costo de inversión y operación.
- b. Necesidad de una etapa de molienda y de separación sólido/líquido
- c. (espesamiento y filtración).

Figura 5 Esquema general de un agitador



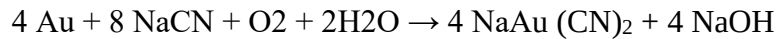
Fuente: Cervantes Garcés, 2018, p. 32

2.2.7. Disolución del oro

“Esta técnica se basa en la circunstancia de que el oro se disuelve fácilmente en una solución diluida de cianuro de sodio o de potasio y con relativa facilidad si se mantienen condiciones oxidantes favorables” (Ruiz Córdoba y otros, 2019).

El proceso de cianuración se fundamenta en que el oro es disuelto en una solución acuosa de cianuro de sodio o potasio con relativa facilidad, si se mantienen condiciones oxidantes favorables, utilizando el oxígeno del aire como oxidante y donde el ion CN actúa como agente complejante, se aprecia mejor con la ecuación de Elsner (Salinas et al., 2004; citado por Ruiz Córdoba y otros, 2019, p. 128)

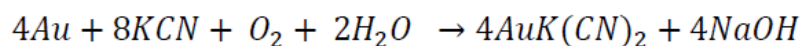
Au sólido + solución lixiviante solvente = Au acuoso + Sólido inerte



El proceso de lixiviación tiene carácter fisicoquímico, en la cual se encuentran involucradas dos fases, sólida y líquida, es realizado en cinco etapas siguientes:

- a. Difusión de los reactantes en solución hasta la interface sólido-líquido.
- b. Adsorción del cianuro de sodio en la superficie del oro.
- c. Reacción química con la superficie del oro.
- d. Desorción de los productos de la reacción de la superficie del sólido.
- e. Difusión de estos productos de la interface sólido-líquido a la solución.

En el proceso de cianuración el oro es disuelto en la solución acuosa de cianuro de sodio o potasio con relativa facilidad, manteniendo las condiciones oxidantes favorables mediante el oxígeno del aire como oxidante y ion CN^- actúa como un agente complejante. El proceso de cianuración se aprecia mejor en la ecuación de Elsner, aceptada por la mayoría de los autores de la disolución del oro:



Las arcillas acompañantes del mineral deben ser controladas mediante dilución o lavado, para evitar el pésimo rendimiento durante el proceso, además evitar la formación de:

- Pozas o lagunas en la superficie del equipo de lixiviación
- Canales en el interior del equipo de lixiviación.
- Compactación del mineral
- Exceso tiempo de lixiviación, cuanto más alto contenido de arcilla el tiempo de lixiviación será muy alto.

- Reducción de la porosidad, debido a la naturaleza hidrofílica se produce el hinchamiento de las arcillas, éstas pueden ser entre 25% a 30%, reduce la porosidad del mineral para lixiviación.

Por todas estas razones y otras expuestas, en el presente trabajo de investigación, se eligió el método de lixiviación en tanques dinámicas.

2.2.8. Exceso consumo de cianuro

La presencia de sulfuros y óxidos de cobre en la mena que contiene oro, el contenido puede ser menor al 0.10%, el efecto de estos minerales en la disolución y precipitación del oro es muy perjudicial; por esa razón, la concentración del cianuro es débil.

2.2.9. Selección de los factores de lixiviación

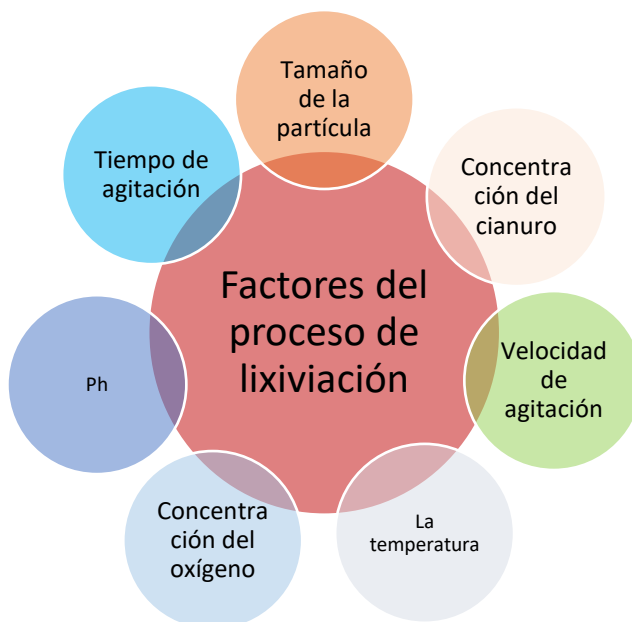
En una investigación experimental, generalmente su objetivo es observar de qué manera una o más condiciones impuestas puedan interferir en el comportamiento de variables importantes dentro del contexto de la investigación; estas condiciones impuestas y distintas presentes en un experimento son denominadas, factores (López Bautista & González Ramírez, 2014, p. 1)

Muchos factores afectan la lixiviación de oro y los parámetros de lixiviación, por lo tanto, se han estudiado por muchos investigadores para optimizar el proceso de cianuración, factores tales como las concentraciones de oxígeno y cianuro, pH, tamaño de partícula, temperatura, etc. efecto sobre la disolución de oro tasa, la extracción de oro y el consumo de cianuro (Srithammavut, 2008; citado por Ramirez Ocsso, 2015, p.29).

Los factores experimentales que deben ser controlados o manipulados por el investigador durante el proceso de lixiviación del oro, mediante la agitación son: la granulometría del mineral que contiene oro; solución o concentración

adecuado del cianuro de sodio; densidad de la pulpa; oxígeno y tiempo de cianuración y otros, ver figura 6.

Figura 6 Factores experimentales de lixiviación



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la recuperación de oro de la solución cianurada rica que contiene oro, se realiza empleando carbón activado (CIP) mediante el fenómeno de adsorción o con polvo de zinc (cementación-Merrill Crowe).

a. Granulometría del mineral de oro.

El grado de solubilidad del oro libre y su correspondiente tamaño granulométrico están íntimamente relacionados existiendo una más rápida disolución del oro cuando el oro presenta un tamaño granulométrico más fino y esta granulometría del oro es variable en cada tajo de mineral (López Valverde, 2019, p. 24)

Por lo tanto, la molienda del mineral de oro es importante para la liberación adecuada y para la disolución conveniente en la solución del

cianuro de sodio; la presencia de sulfuros de pirita que encapsula al oro en cierto grado influye la disolución global del oro.

b. Efecto de la temperatura de cianuración

El suministro de calor a la solución de cianuro en contacto con oro metálico, produce fenómenos opuestos que afectan la disolución; el incremento de la temperatura aumenta la actividad de la solución, incrementándose por consiguiente la velocidad de disolución del oro, a la par que la cantidad de oxígeno disuelto en la solución disminuye debido a que la solubilidad de los gases decrece al aumentar la temperatura; por consiguiente, deberá de haber una temperatura óptima para un máximo grado de disolución (Flores Mamani, 2019, p. 51)

El incremento de la temperatura aumenta la actividad de la solución, incrementándose por consiguiente la velocidad de disolución del oro, a la par que la cantidad de oxígeno disuelto en la solución disminuye debido a que la solubilidad de los gases decrece al aumentar la temperatura (Vasquez Condori, 2021, p. 18).

En consecuencia, se debe tener una temperatura óptima para aumentar el grado de disolución del oro, a elevadas temperaturas la disolución del oxígeno insuflado disminuye por la pérdida del oxígeno. Por lo tanto, el proceso de lixiviación se realiza a la temperatura ambiental de la zona.

c. Cianuro de sodio - Características

El Cianuro de Sodio es un reactivo sólido de color blanco, altamente venenoso y tiene un olor penetrante a almendras amargas. En la minería es usado para el tratamiento de minerales polimetálicos por flotación y

lixiviación de minerales preciosos. Además, reacciona violentamente con el agua desprendiendo ácido cianhídrico.

El cianuro, utilizado en soluciones diluidas, tiene uso para el tratamiento de minerales de oro, al proceso se le denomina cianuración; en bajas concentraciones, el cianuro se utiliza también como reactivo para la concentración de minerales que utiliza el proceso de flotación (Pizzorni, 2019, p. 2).

La minería es una actividad industrial que utiliza una cantidad significativa de cianuro, aproximadamente un 20% de la producción total; desde 1887, las soluciones de cianuro se han utilizado principalmente para extraer oro y plata de material mineral, que de otro modo no podrían extraerse eficazmente (Logsdon y otros, s/f, p. 2)

Por lo tanto, el NaCN es una sustancia o reactivo químico muy usado en el campo de la metalurgia, pero, potencialmente muy letal o venoso, cuya presentación es en forma sólida de color blanco; es usado en bajas concentraciones en la lixiviación del oro y plata y en el procesamiento de minerales polimetálicos y minerales no metálicos, mediante el proceso de flotación por espumas, para mayor ilustración ver figura 7.

La concentración del NaCN, debe ser controlado constantemente mediante titulación con nitrato de plata, con la finalidad de determinar la variación de este factor durante el proceso de lixiviación.

Figura 7 Presentación y comercialización del cianuro de sodio



Fuente: Elaboración propia

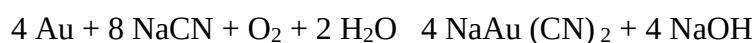
d. Efecto de la concentración del cianuro.

La solubilidad del oro en una solución de NaCN aumenta al pasar de las soluciones diluidas a las concentradas; la solubilidad es muy baja con menos de 0,005 % NaCN, crece rápidamente cuando contiene 0,01 % NaCN y después lentamente, llegando al máximo cuando contiene 0,25 % NaCN. La proporción más eficaz es de 0,05 a 0,07 % NaCN. La concentración usual de CN para el tratamiento de menas de oro es de 0.05 % NaCN y para menas de plata de 0,3 % para concentrados de oro-plata, la fuerza de NaCN está entre 0,3 -0,7 %. El NaCN es el más usado en el proceso de cianuración, aunque también se emplea el KCN. Hay variaciones muy grandes en la fuerza de la solución que provoca la máxima velocidad de disolución de oro, probablemente debido a la variedad de las técnicas empleadas en la determinación experimental de los resultados (Vasquez Condori, 2021, p. 16)

e. Oxígeno en la disolución de oro y plata

“El oxígeno es un elemento indispensable en la disolución del oro; siendo el aire atmosférico la fuente de oxígeno utilizado en el proceso de cianuración” (Vasquez Condori, 2021, p. 17)

En toda planta de cianuración dinámica para poder recuperar metales preciosos de oro y plata, la disolución es posible mejorar incrementando la velocidad de disolución en menor tiempo al procesar mayor cantidad de minerales mediante la inyección controlada de oxígeno disuelto en la pulpa. Ver ecuación química.



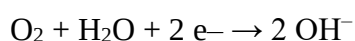
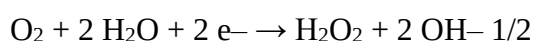
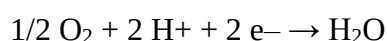
Es recomendable el uso de oxígeno durante el proceso de lixiviación dinámica, por las siguientes razones:

- Reducción del consumo de cianuro.
- Para incrementar la recuperación de oro y plata, es decir mejorar la disolución de oro plata.
- Para disminuir el tiempo de residencia de la pulpa.
- Para poder incrementar la capacidad de producción.

Si se desea implementar la aplicación se realiza en corto tiempo y con el menor costo en instrumentos e instalación.

El consumo específico del oxígeno, recomendado es de 1 a 2 kg de oxígeno por tonelada de mineral procesado o tratado

“El oxígeno (o aire) es un oxidante ideal, ya que no necesita de regeneración; se utiliza en medio ácido o alcalino” (Uceda Herrera, 2016, p. 61):

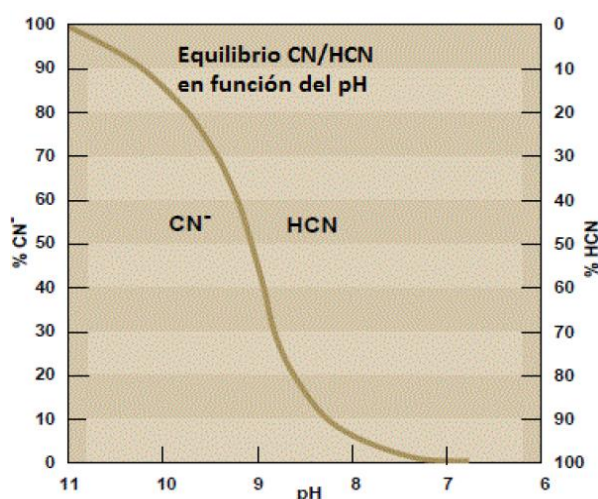


f. pH

El pH de la pulpa de lixiviación es controlado mediante el hidróxido de sodio o hidróxido de calcio (cal apagada); además de controlar la alcalinidad de la pulpa, sirve como agente depresor de la ganga de los minerales auríferos.

El rango de pH recomendados en las diferentes informaciones de lixiviación del oro mediante cianuración es entre 10 y 12, este valor debe ser ajustado o controlado constantemente mediante la cal, ver figura 8.

Figura 8 Equilibrio entre HCN y CN-



Fuente: Scott e Inglés (1981) citado por Vasquez Condori, 2021, p.

19)

2.3. Definición de términos básicos

Análisis estadístico. Técnica que se utiliza para organizar, describir y analizar los datos cuantitativos de un estudio

Análisis factorial. Llamado también análisis de factores; es una técnica de análisis estadístico basado en las correlaciones múltiples entre variables

Análisis de ítems. Procedimiento estadístico que se emplea para identificar el nivel de validez de cada ítem o reactivo

Análisis de varianza. Técnica o prueba estadística, extensión de la prueba t, que opera con datos en los niveles de medición por intervalos o por razones y proporciones (puntajes).

Agitación. Es la entropía generada por movimientos mecánicos o neumático para que las partículas del mineral finamente molidos se encuentren en suspensión

Alteración: Son cambios mineralógicos que sufren las rocas por efecto de soluciones hidrotermales.

Permeabilidad: La "permeabilidad" o "conductividad hidráulica" de una roca es la capacidad de permitir un flujo de agua o fluido lixivante a través de sí en un tiempo dado.

Percolación: Es la capacidad que posee una roca que permite pasar a una solución a través de los vacíos que pueden ser poros, grietas conectadas entre sí o no, a una determinada velocidad expresado en m/día.

Mineralogía: Estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta tierra en sus diferentes estados de agregación

Lixiviación: La lixiviación es una técnica muy empleada en la metalurgia extractiva mediante solventes, cianuro de sodio, éste disuelve metales preciosos (solute) para convertir una solución líquida.

Los factores: Son las condiciones del proceso que influyen la variable de respuesta. Estos pueden ser cualitativos o cuantitativos.

Superficie de Respuesta: Estos diseños intentan seleccionar las condiciones óptimas de un conjunto de factores experimentales.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La optimización de lixiviación dinámica en tanque de minerales sulfurados y oxidados mejora la recuperación del oro en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca-Paramonga – 2022

2.4.2. Hipótesis Específicas

- a. La densidad de pulpa adecuada mejora la recuperación del oro y plata
- b. La concentración del cianuro de sodio mejora la recuperación del oro y plata
- c. El pH de la pulpa influye directamente en la recuperación del oro y plata
- d. El tiempo de lixiviación es la encargada de mejorar la recuperación del oro y plata

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable independiente

Optimización de Lixiviación Dinámica en Tanque de Minerales Sulfurados y Oxidados.

2.5.2. Variable dependiente

Recuperación del Oro en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Paramonga – 2022.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Los factores experimentales que deben ser controlados durante el proceso de ensayos experimentales en el laboratorio son: Granulometría del mineral; densidad de la pulpa; concentración del cianuro de sodio; oxígeno; pH; temperatura de lixiviación y tiempo de lixiviación.

Realizada la operacionalización de la variable independiente, se obtiene los siguientes factores que inciden en los resultados de la investigación, como se puede observar en la tabla 3:

Tabla 3 Operacionalización de las variables del proceso

Variables	Definición operacional	Factores (Dimensiones)	Indicadores	Tipo de factores
Variable independiente: Optimización de lixiviación dinámica en tanque de minerales sulfurados y oxidados	La lixiviación por cianuración es aplicado en los tratamientos de minerales auríferos, se realiza en dos etapas, primero se efectúa la disolución de los metales preciosos, oro y plata, seguidamente la solución rica en oro puede ser tratada mediante el proceso de precipitación con polvo de zinc o absorción con carbón activado	Granulometría del mineral que contiene oro	Malla 325	Continuo
		Densidad de la pulpa del mineral de oro	35%	Continuo
		Concentración del reactivo lixivante, NaCN,	1.5 gr/l	Continuo
		Cantidad de oxígeno insuflado		Continuo
		El pH de la pulpa de tratamiento	Recomendado 10.5 a 11	Continuo
		Temperatura de lixiviación o pulpa	Ambiental: 15°C	Continuo
		El tiempo de lixiviación	40 horas	Continuo
Variable dependiente: Recuperación del Oro	Grado de éxito de la recuperación del oro mediante la lixiviación cianurante	Recuperación de oro	%	Nominal

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

En la presente investigación, el tratamiento los minerales que contiene oro y plata se realiza mediante el Blending, debido a la procedencia diversa de minerales para homogenizar la calidad de concentrado del oro y plata a nivel experimental, entonces el tipo de investigación es aplicada.

En función al método de investigación: Experimental.

En función a la solución del problema: Investigación aplicada.

3.2. Nivel de Investigación

La investigación desarrollada se ubica en el nivel experimental, porque permite a la solución de problemas prácticos en este caso, optimización de lixiviación en tanques de minerales sulfurados y oxidados para la recuperación del oro y plata

3.3. Métodos de investigación.

De acuerdo con J. Lawson, J. L. Madrigal y J. Erjavec, 1992 citado por Cabrera Castro, 2024 “Los métodos estadísticos y las técnicas de diseños

experimentales con aplicaciones a problemas industriales fueron desarrollados principalmente en Estados Unidos y Gran Bretaña por científicos del área aplicada” (pág. 25)

El método de investigación aplicado es el método científico, que consiste en la abstracción de las bases teóricas a la investigación experimental, utilizando a la vez a los métodos deductivo e inductivo fundamentalmente debido al enfoque cuantitativos.

3.4. Diseño de investigación

El diseño y análisis de experimentos es un medio de importancia crítica en el campo de la ingeniería, ya que ayuda a mejorar el rendimiento de un proceso o sistema; en países como Japón y Estados Unidos de América esta técnica ha encontrado aplicación en industrias como la de semiconductores, electrónica, química, aeroespacial, automotriz, biotecnología, farmacéutica, entre otras, en donde han demostrado (Myers y Montgomery, 1995 citado por Cabrera Castro, 2024, p. 25).

Diseño factorial

De acuerdo a Jiménez Ramos y otros (2019); El diseño factorial permite el estudio simultáneo de los efectos de varios factores que pueden existir en una respuesta, cuando se mejora un experimento guía, se mejora el nivel de todos simultáneamente, permitiendo a la vez el estudio o interacción entre ellos; en los gráficos se puede observar cómo cada punto representa una combinación única de niveles de factor, también se puede hacer una corrida de diseño de factores completos o una fracción del diseño factorial (Pág. 258).

Diseño Taguchi

“La ingeniería de la calidad de Taguchi combina métodos estadísticos y de ingeniería para optimizar los procesos de diseño y fabricación de modo que aumente la calidad y se reduzcan los costos de los productos” (Yacuzzi y otros, 2004, p. 23)

Asimismo, Yacuzzi y otros (2004) expone “El diseño de experimentos juega un papel esencial en el enfoque de Taguchi, pues ayuda a identificar los factores que más intervienen en la generación de problemas de calidad o, alternativamente, los factores que más contribuyen a lograr resultados positivos” (Pág. 23).

“En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés, el diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas sobre qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden, para poder establecer con un grado de confianza predefinido, la necesidad de una presunta relación de causa-efecto” (García Carrillo y otros, 2016)

Los diseños experimentales que Taguchi propone algo diferente a los diseños experimentales clásicos, Taguchi usa dos grupos de diseños experimentales. Uno para los factores de diseño, llamado arreglo interno y el otro es para los factores intervinientes o ruido, conocido como arreglo externo.

Statgraphics Centurión.

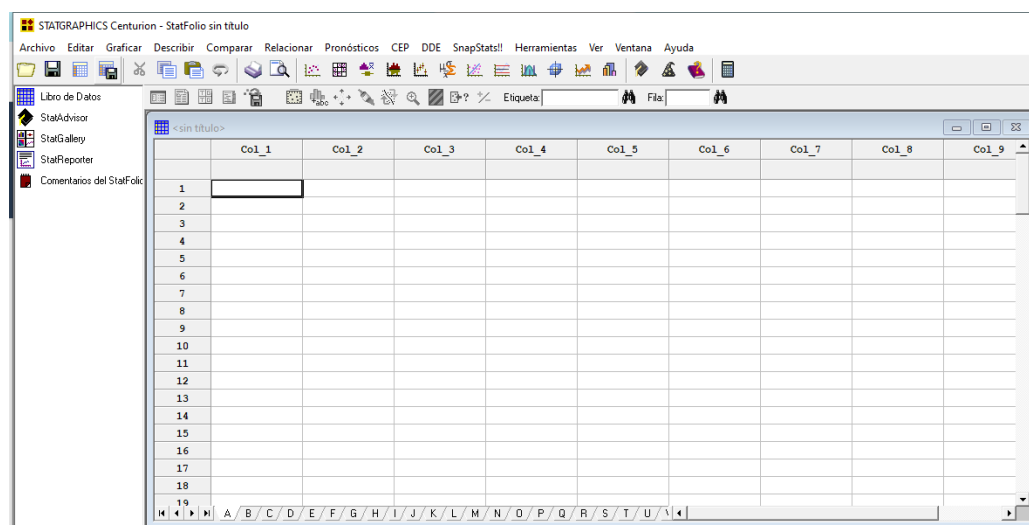
Es una herramienta estadística importante para el procesamiento y análisis de datos primarios mediante la combinación de una amplia gama de

procedimientos analíticos, con figuras que permiten un entorno integrado de análisis datos experimentales para el control de calidad del proceso.

Además, incluye funciones estadísticas avanzadas, para los rigurosos análisis de los profesionales estadísticos muy exigentes y experimentados, y al mismo tiempo ofrece una interface muy intuitiva, que tiene funciones de asistencia exclusivas, para proporciona la simplicidad suficiente que permite al analista inexperto realizar procedimientos complejos.

Para los ensayos experimentales en el laboratorio se usó una plantilla de diseño factorial, preparado preferentemente con el programa estadístico Statgraphics Centurión, con la finalidad de seleccionar a los factores más significativos del proceso de investigación, figuras 9.

Figura 9 Escritorio principal del Statgraphics Centurión



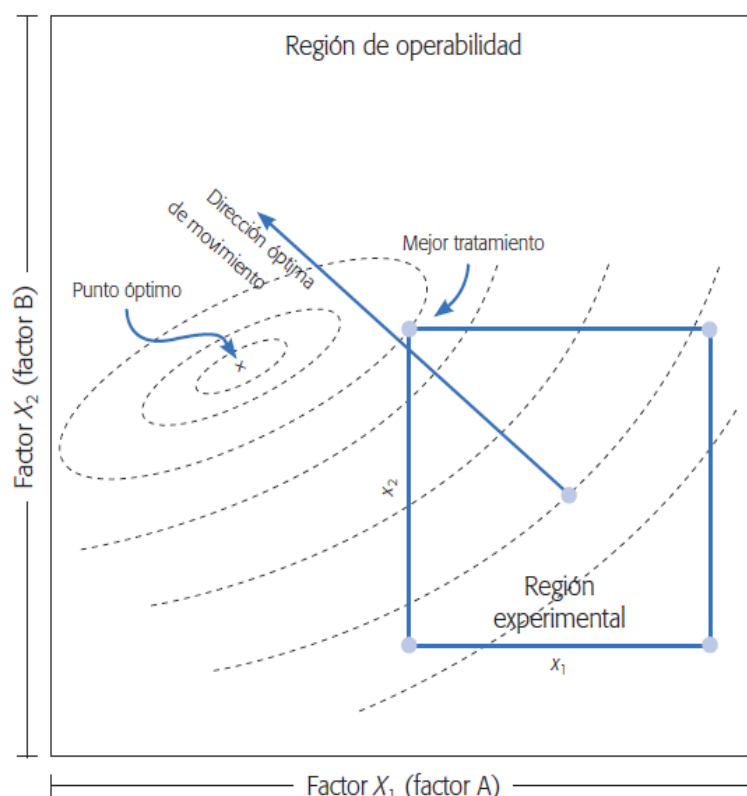
Optimización de respuesta múltiple.

En todos los experimentos es importante evaluar más de una variable de salida para cada unidad o ensayo experimental, entonces la optimización del proceso de respuesta múltiple implica determinar un punto en la región experimental, en el cual las variables de respuestas presentan algunas

características deseadas, particularmente próximas a un valor específico y con varianza pequeña (Cabrera Castro, 2024, p. 62)

En figura 10 se representa el “verdadero comportamiento” de la respuesta, el cual tiene un punto óptimo localizado en el centro de la elipse más pequeña, que por cierto está fuera de la región experimental actual. La superficie representada en la figura se puede imaginar como una montaña y la región experimental se ubica a un costado de la cima.

Figura 10 Mejor tratamiento y punto óptimo, región experimental y región operabilidad



Nota: extraído de Gutiérrez Pulido & De La Vara Salazar, 2008, p. 388)

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Para la presente investigación, la población está representado por las toneladas de minerales de oro y plata que los pequeños mineros traen, para su procesamiento, siendo el promedio mensual de 9000 toneladas métricas.

3.5.2. Muestreo.

“El muestreo es el proceso de seleccionar un conjunto de individuos de una población con el fin de estudiarlos y poder caracterizar el total de la población” (Ochoa, 2015; citado por Parra Velasco, 2017, p. 2).

El **muestreo no probabilístico** se emplea cuando es difícil obtener la muestra por el método de muestreo probabilístico, este método es una técnica de muestreo que no realiza la selección de los elementos de la población al azar, sino que se basan en el juicio personal del investigador para realizar la selección de los elementos que pertenecerán a la muestra (Parra Velasco, 2017, p. 19)

El tipo de muestreo que se usó en la presente tesis fue el muestreo **no probabilístico**, llamada muestreos dirigidos, usando muestreo por conveniencia, que solamente depende del criterio del investigador, que puede ser de carácter económico, tiempo u otra razón y no en criterios estadísticos.

Por los conceptos señalados, en el presente caso se realizó mediante el muestreo no probabilístico, tomando en cuenta criterios fundamentados de muestreo en ingeniería, de tal manera represente a toda la población en estudio.

3.5.3. Muestra.

Para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectaron datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de

la población; al final del tratamiento experimental de las muestras, los resultados deben ser generalizados o inferidos a toda la población (Fernandez Collado & Baptista Lucio, 2014, p. 173).

Preparación de la muestra

Es la etapa de muestreo; en el caso de minerales polimetálicos; no metálicos y de oro y plata; en esta etapa se incluye la división o cuarteo de la muestra preparada mecánicamente es decir está estrechamente relación con el tamaño de partícula para liberar a los minerales valiosos. Los métodos recomendados para el cuarteo fueron: cono y cuarteo; uso de riffles, palas o división por incrementos; estos equipos o métodos usados no debe contaminar ni perder material.

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

Mientras la técnica se refiere a la ejecución o utilización de los instrumentos para la obtención de datos cuantitativos; el método se refiere a una serie de procedimientos destinados a la recolección, procesamiento y análisis de datos, los cuales, se encuentra la selección de las técnicas y el diseño de los instrumentos de investigación.

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

“El método no basta, se requieren procedimientos que lo hagan operativo, éste es el papel de las técnicas e instrumentos que permiten la parte operativa: el control, registro, transformación o manipulación de una parcela específica de la realidad” (Baena Paz, 2017, pp. 67-68)

La técnica cumple un papel muy importante en el desarrollo de la investigación experimental, por lo tanto, las técnicas es la manera de recorrer el

camino señalado o direccionado por el método; aporta instrumentos para la recolección de datos primarios.

- Revisión documental
- Etapas experimentales
- Fichas de observación
- Técnica de la entrevista
- Cuestionarios.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Los **instrumentos** son los apoyos que se tienen para que las técnicas cumplan su propósito, en el caso del cazador sería tu equipo, las armas, inclusive botiquín o provisiones (Baena Paz, 2017, p. 68).

Los instrumentos de investigación son los recursos que el investigador utiliza para abordar problemas y fenómenos para obtener información de los procesos, manejo de equipos y procedimientos de trabajo

En el presente caso, los equipos para la investigación fueron seleccionados después de haber realizado la evaluación preliminar o el diagnóstico, se seleccionó los instrumentos que fueron usados durante la investigación aplicada, éstos son los siguientes:

- Balanza digital
- Juego de mallas
- Agitador Rotap
- Pulverizador
- Cuarteador
- Tanque o vasos de lixiviación.
- Inyector de oxígeno (Compresor - soplador)

- Vaso para la solución de NaCN
- Vaso para la solución de NaOH
- Agitador magnético
- Densímetro para pulpa
- Fiolas
- Probetas graduadas
- Espátula
- Vasos de precipitación
- Filtros
- Termómetro
- Cronómetro
- Vasos para la solución rica en oro.

3.6.3. Insumos (reactivos).

Los insumos para el tratamiento de los minerales de oro mediante la lixiviación son:

- Agua
- NaCN
- CaO

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

3.7.1. Selección de los instrumentos de investigación.

La selección de los instrumentos de investigación se realizó en función a los factores cuidadosamente seleccionados mediante la información documental y mediante la investigación preliminar para el tratamiento del oro mediante lixiviación en tanques, fundamentalmente son:

- Balanza digital

- Agitador magnético
- Densímetro para pulpa
- Termómetro
- Potenciómetro
- Cronómetro
- Además, ver ítem 3.6.2.

3.7.2. Validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

Validación:

“Cuando los resultados que se obtienen se deben solamente a la variable independiente, se dice que tienen **validez interna**; cuando se pueden generalizar los resultados con respecto a otras situaciones se llama: **validez externa**” (López Bautista & González Ramírez, 2014, . 16).

El instrumento tiene validez cuando cumple la función de medir los factores de un proceso de investigación experimental.

Desde el punto de vista de la validación de instrumentos en el enfoque cuantitativo corresponde a la evaluación de sus propiedades métricas del instrumento de medición, mediante: análisis factorial exploratorio (investigación preliminar) y análisis factorial confirmatorio, en esta parte de debe señalar que, después de los resultados finales se realiza corridas experimentales de confirmación, por lo tanto, los factores experimentales son medidos por los mismos instrumentos.

Confiabilidad:

La confiabilidad del instrumento de investigación en ciencias naturales es el grado de exactitud de medida cuantas veces sea necesario, por lo tanto, las medidas repetitivas aplicadas en las mismas condiciones el resultado es el mismo

o exactas que las anteriores medidas realizadas; significa que el instrumento es altamente válido.

Por lo tanto, para procesos de investigación científica experimentales en el laboratorio los instrumentos de medición deben ser certificados, para que, la investigación sea de calidad con resultados altamente satisfactorios.

En el presente caso de investigación, los instrumentos son continuamente son validados para ser confiables.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Técnicas de procesamiento de datos

“El investigador debe procesar los datos almacenados en un archivo permanente; una de las formas es usando un programa informático específico, obteniendo tablas y gráficos para su posterior lectura” (Monge Álvarez, 2011, p. 173)

Habiendo cumplido con la recolección de datos primarios en mediante los diseños experimentales fraccionados y diseño central compuesto, se rellena la tabla creado y guardado en archivo permanente en el paquete estadístico, Statgraphics Centurión u otro paquete, en seguida se realiza el procesamiento de los datos, significa que el investigador debe procesar la información en el mismo archivo; obteniendo tablas y figuras para su posterior lectura para el análisis o interpretación respectivas.

3.8.2. Técnicas de análisis de datos

“En la actualidad, el análisis cuantitativo de los datos se lleva a cabo *por computadora u ordenador*; ya casi nadie lo hace de forma manual ni aplicando fórmulas, en especial si hay un volumen considerable de datos” (Hernández Sampiere y otros, 2014, p. 305).

En el presente caso, los análisis de los datos cuantitativos se realizó mediante el programas estadístico Statgraphics Centurion, como resultado se llegó obtener tablas y figuras, los cuales fueron interpretados los efectos de los factores experimentales y sus interacciones; tomando las informaciones bibliográficas relacionados al tema de investigación, para obtener resultados y conclusiones objetivas

3.9. Tratamiento Estadístico.

Cienfuegos Velasco y otros (2022) manifiesta: “Desde la investigación científica cuantitativa y cualitativa con tratamiento estadístico se consideran no excluyentes y desde su planeación y claramente definido el problema de estudio se recomienda definir los factores experimentales, escalas, tipo de tesis, técnicas y pruebas estadísticas” (Pág. 27).

En la investigación desarrollado, para el tratamiento estadístico de los datos primarios como consecuencia de las corridas experimentales; se utilizó el programa estadístico denominado Statgraphis Centurión.

En principio el título del proyecto de tesis debe ser mostrado la información necesaria para el tratamiento de los datos. En la investigación que sfue desarrollada para el tratamiento estadístico de los datos primarios como resultado de las corridas experimentales; se utilizará el programa estadístico denominado Statgraphis Centurión; con los datos encontratdos experimentalmente, se realizó cuatro (04) fases de tratamiento:

- a. Entrada:** Los factores experimentales fueron introducidos por el proyectista en la plantilla grabada del programa, en seguida los datos experimentales primarios (resultados) fueron digitados en la plantilla, en seguida se salvó o grabó en el ordenador.

- b. Proceso:** El proyectista o tesista realizará el procesamiento de los datos primarios; para el acopio de información.
- c. Salida:** El proyectista o tesista obtendrá como consecuencia del procesamiento de los datos primarios diversas figuras y tablas.
- d. Interpretación:** Con el concurso de los aportes teóricos y científicos alcanzados por el tesista; se realizaron los análisis o interpretaciones de las figuras y tablas, para finalmente demostrar las hipótesis conceptuales; de trabajo y estadístico.
- e. Hipótesis:** Mediante los análisis paramétrico estadísticos: Análisis de varianza; regresiones de primer orden y segundo orden; pruebas t y otros; se hicieron las pruebas de hipótesis.

3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica

La ética se considera como una ciencia práctica y normativa que estudia el comportamiento de los hombres, el tesista debe saber que su responsabilidad es mayor que la del ciudadano común y corriente, por el conocimiento adquirido su función no se reduce simplemente al buen ejemplo, sino a la acción responsable dentro de la verdad.

Habitualmente, se tiene la idea, que mentir es incorrecto, aunque la mayoría de las personas mienten en algunas ocasiones de una forma que es congruente con su ética personal.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.

Habiendo realizado los análisis o interpretaciones de los resultados experimentales con diferentes Blending, mallas; tiempo de lixiviación y otros factores experimentales; se llegó obtener mejores resultados en la tabla 18, con una recuperación de Au del y de Ag del 90,82% y 48,69% respectivamente; en consecuencia, se decidió realizar la optimización del proceso con la finalidad de mejorar las recuperaciones.

4.1.1. Muestreo del mineral.

El muestreo no probabilístico se emplea cuando es difícil obtener la muestra por el método de muestreo probabilístico; este método es una técnica que no realiza de selección de los elementos al azar, sino que se basan en el juicio personal del investigador para poder realizar la selección de los elementos que pertenecerán a la muestra; en esta técnica no todos los elementos de la población cuentan con las mismas probabilidades de ser seleccionados para la muestra (Parra Velasco, 2017, p.18).

Los muestreos de los lotes para la conformación de los diferentes blending y posterior preparación mecánica del mineral, ver figuras 11; 12; 13; 14 y 15.

Figura 11 Lotes para la conformación del Blending



Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Verificación de los lotes que conformarán el Blending



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Muestreo de los lotes para la preparación del Blending



Fuente: Elaboración propia

Figura 14 Muestreo de los lotes para la conformación del Blending



Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Las muestras en bolsas de polietileno para la preparación del *Blending*.



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Preparación del mineral.

El mineral de acopio se trituró en dos etapas: En la primera etapa se usó la trituradora de quijadas, en continuación se usó el molino de rodillos; para los análisis químicos, el mineral fue homogenizado, cuarteado y se preparó las muestras para extraer una muestra de 4 kg, para realizar la molienda en un molino de bolas por 15 minutos en lotes de 1 kg. Acto seguido se muestreó el mineral para extraer muestras para los respectivos análisis de caracterización para los ensayos preliminares, con la finalidad de determinar los factores más significativos del proceso de lixiviación, ver figura 16.

Figura 16 Mezclado y pulverizado de las muestras



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Preparación del Blending

Figura 17 Homogenización de los lotes (conformación del blending)



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Análisis granulométrico

MOLINO 5 X 6 (PRIMARIO)

FEED FRESH DEL MOLINO 5`X6`						
Malla	Micrones	Peso gr.	% en Peso	% Retenido	% Acumulado Pasante	
+ 1/2	12700	307.53	6.19	6.19	93.81	10224.45
+ 4	4750	2204.30	44.36	50.54	49.46	
+ 6	3360	508.51	10.23	60.78	39.22	
+ 12	1680	609.78	12.27	73.05	26.95	
+ 18	1000	327.43	6.59	79.63	20.37	
+ 25	707	169.57	3.41	83.05	16.95	
+ 45	355	265.86	5.35	88.40	11.60	
+ 60	250	81.89	1.65	90.04	9.96	
+ 100	150	113.42	2.28	92.33	7.67	
+ 140	106	53.39	1.07	93.40	6.60	
+ 200	75	41.77	0.84	94.24	5.76	
+ 270	53	39.11	0.79	95.03	4.97	
+ 325	45	5.91	0.12	95.15	4.85	
+ 400	38	8.78	0.18	95.32	4.68	
- 400		232.38	4.68	100.00	0.00	
		4969.63	100.00			
		F80	10224.45			

DESCARGA DEL MOLINO 5'X6'						
Malla	Micrones	Peso gr.	% en Peso	% Retenido	% Acumulado Pasante	
45	355	47.33	6.65	6.65	93.35	213.65
60	250	46.29	6.50	13.14	86.86	
100	150	134.35	18.86	32.01	67.99	
140	106	181.40	25.47	57.47	42.53	
200	75	102.39	14.38	71.85	28.15	
270	53	132.01	18.53	90.38	9.62	
325	45	15.64	2.20	92.58	7.42	
400	38	37.93	5.33	97.91	2.09	
-400		14.92	2.09	100.00	0.00	
		712.26	100.00			
		P80	213.65			
Radio de Reducción		47.86				

MOLINO 6 X 10 (PRIMARIO)

FEED FRESH DEL MOLINO 6`X10`						
Malla	Micrones	Peso gr.	% en Peso	% Retenido	% Acumulado Pasante	
+ 1/2	12700	307.53	6.19	6.19	93.81	10224.45
+ 4	4750	2204.30	44.36	50.54	49.46	
+ 6	3360	508.51	10.23	60.78	39.22	
+ 12	1680	609.78	12.27	73.05	26.95	
+ 18	1000	327.43	6.59	79.63	20.37	
+ 25	707	169.57	3.41	83.05	16.95	
+ 45	355	265.86	5.35	88.40	11.60	
+ 60	250	81.89	1.65	90.04	9.96	
+ 100	150	113.42	2.28	92.33	7.67	
+ 140	106	53.39	1.07	93.40	6.60	
+ 200	75	41.77	0.84	94.24	5.76	
+ 270	53	39.11	0.79	95.03	4.97	
+ 325	45	5.91	0.12	95.15	4.85	
+ 400	38	8.78	0.18	95.32	4.68	
- 400		232.38	4.68	100.00	0.00	
		4969.63	100.00			
		F80	10224.45			

DESCARGA DEL MOLINO 6X10						
Malla	Micrones	Peso gr.	% en Peso	% Retenido	% Acumulado Pasante	
40	400				81.82	385.57
45	355	221.82	23.86	23.86	76.14	
60	250	120.60	12.97	36.83	63.17	
100	150	207.37	22.30	59.13	40.87	
140	106	145.02	15.60	74.73	25.27	
200	75	94.92	10.21	84.93	15.07	
270	53	68.21	7.34	92.27	7.73	
325	45	33.86	3.64	95.91	4.09	
400	38	27.98	3.01	98.92	1.08	
-400		10.04	1.08	100.00	0.00	
		929.82	100.00			
		P80	385.57			
Radio de Reducción		26.52				

4.1.5. Análisis de la ley de cabeza en Blending de oro y plata

Realizados la preparación mecánica, se preparó 04 muestras de Blending; y cumplidos con los análisis químicos de los Blending preparados, con la finalidad de obtener las leyes de cabeza de oro y plata lixiviables, los resultados ver tabla 4; estos resultaron sirvieron para realizar las pruebas experimentales mediante diseños experimentales fraccionados y diseño experimental estadístico (DEE).

Tabla 4 Ley de cabeza de oro y plata

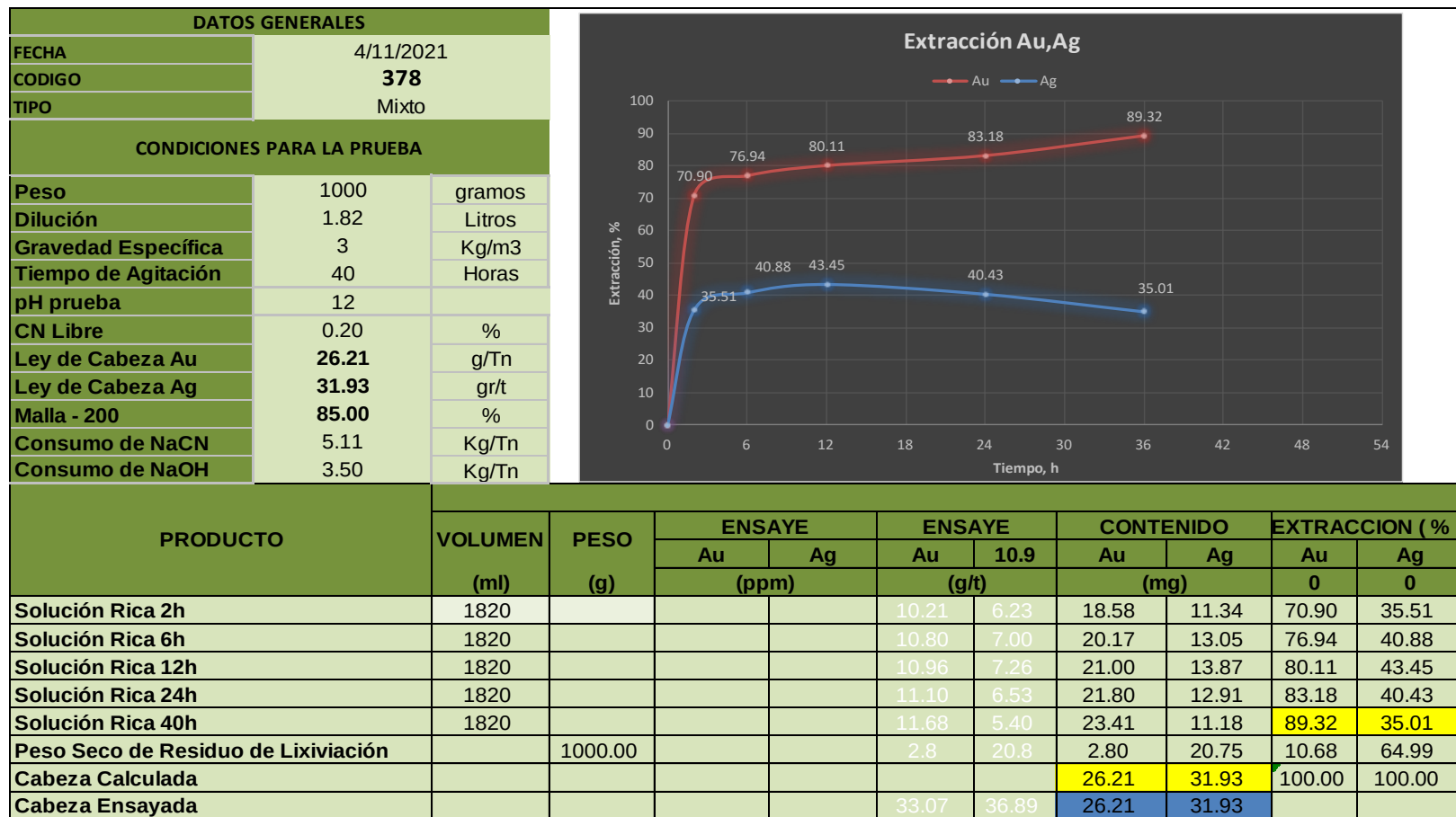
LEY DE CABEZA			
BLENDING	Au	Ag	UNIDAD
378	26.6	31.93	gr/T
379	32.81	38.09	gr/T
383	29.84	73.31	gr/T
384	40.13	78.95	gr/T
385	32.83	75.24	gr/T

Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Cinética de lixiviación del Blending 378; 379; 383; 384 y 385

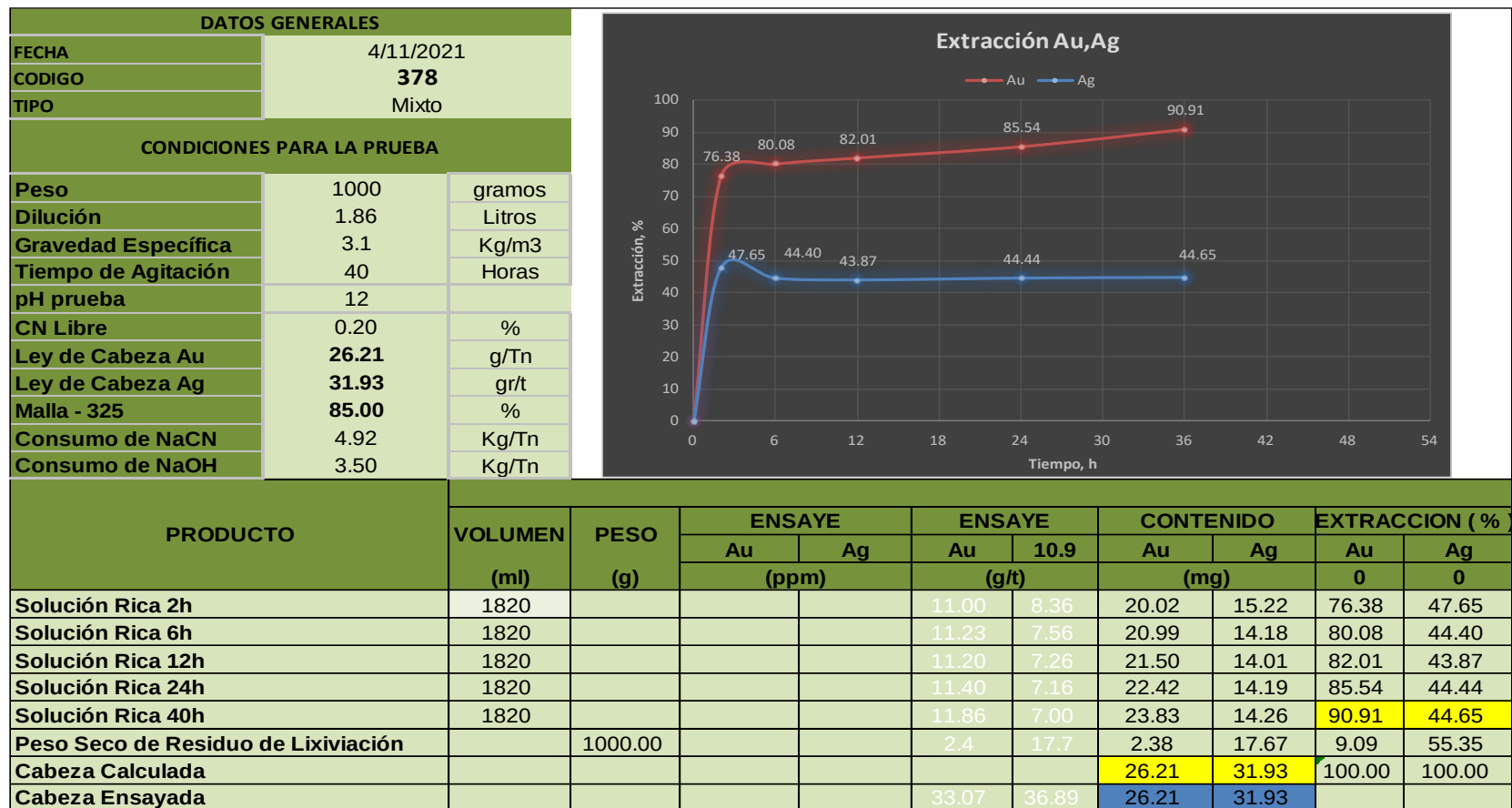
Habiendo realizado los ensayos experimentales sin diseño experimental con los blendings correspondientes con 40 y 80 horas de lixiviación, finalmente los resultados metalúrgicos con 40 horas de tiempo de lixiviación se tomaron en cuenta por haber obtenido mejores resultados en cuanto se refiere a las recuperaciones de oro y plata, ver tablas 5 – 21.

Tabla 5 Blending 378 - malla 200, 40 horas de lixiviación



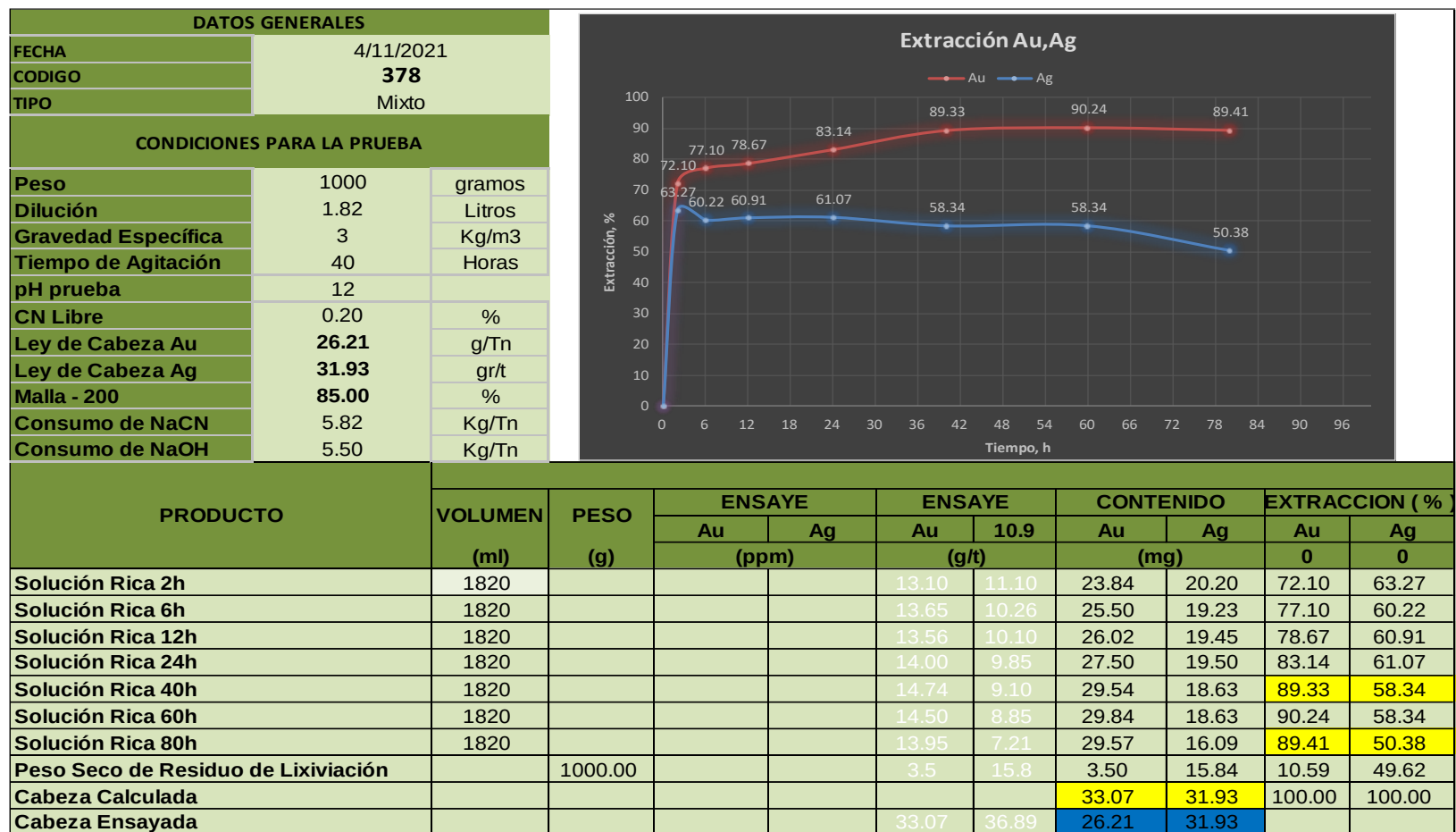
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Blending 378 – malla 325, 40 horas de lixiviación



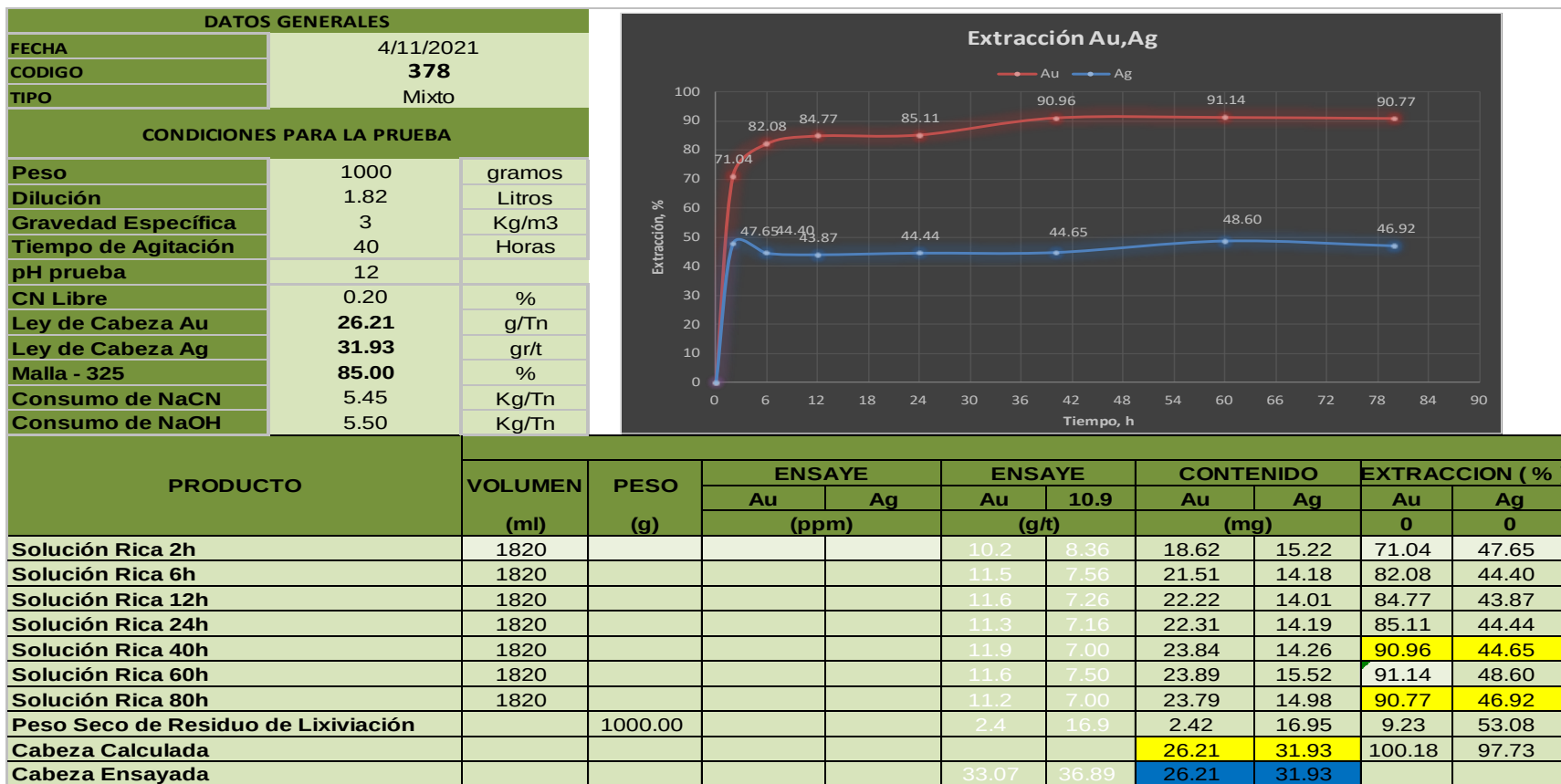
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Blending 378 – malla 200, 80 horas de lixiviación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Blending 380 – malla 325, 80 horas de lixiviación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Recuperación y consumo de reactivos, 40 horas

BLENDING 378 - 40 HORAS						
Ítem	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
1	BLIENDING 378	85% -M200	MIXTO	89.32	5.11	3.50
2	BLIENDING 378	85% -M200	MIXTO	88.36	5.11	3.50
3	BLIENDING 378	85% -M325	MIXTO	90.91	4.92	3.50
4	BLIENDING 378	85% -M325	MIXTO	91.03	4.92	3.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Recuperación y consumo de reactivos, 80 horas

BLENDING 378 - 80 HORAS						
Ítem	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
1	BLIENDING 378	85% -M200	MIXTO	89.41	5.82	5.50
2	BLIENDING 378	85% -M200	MIXTO	89.51	5.82	5.50
3	BLIENDING 378	85% -M325	MIXTO	90.77	6.55	5.50
4	BLIENDING 378	85% -M325	MIXTO	90.73	6.55	5.50

Fuente: Elaboración propia}

Tabla 11 Resumen de blending 379 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 40 horas de lixiviación

BLENDING 379 - 40 HORAS						
Ítem	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
1	BLIENDING 379	85% -M200	MIXTO	90.01	5.45	3.50
2	BLIENDING 379	85% -M200	MIXTO	90.09	5.45	3.50
3	BLIENDING 379	85% -M325	MIXTO	90.88	5.65	3.50
4	BLIENDING 379	85% -M325	MIXTO	90.89	5.65	3.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Resumen de blending 379 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 80 horas de lixiviación

BLENDING 379 - 80 HORAS						
Ítem	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
1	BLIENDING 379	85% -M200	MIXTO	90.29	6.00	6.50
2	BLIENDING 379	85% -M200	MIXTO	90.40	6.00	6.50
3	BLIENDING 379	85% -M325	MIXTO	90.73	6.19	6.50
4	BLIENDING 379	85% -M325	MIXTO	90.89	6.55	6.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Resumen de Blending 383 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 40 horas de lixiviación

BLENDING 383 - 40 HORAS						
Ítem	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
1	BLIENDING 383	85% -M200	MIXTO	89.29	5.11	3.50
2	BLIENDING 383	85% -M200	MIXTO	89.54	5.11	3.50
3	BLIENDING 383	85% -M325	MIXTO	90.02	5.28	3.50
4	BLIENDING 383	85% -M325	MIXTO	90.11	5.28	3.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Resumen de Blending 383 – malla 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 80 horas de lixiviación

BLENDING 383 - 80 HORAS						
Ítem	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
1	BLIENDING 383	85% -M200	MIXTO	89.77	6.55	6.50
2	BLIENDING 383	85% -M200	MIXTO	89.78	6.55	6.50
3	BLIENDING 383	85% -M325	MIXTO	90.77	6.18	6.50
4	BLIENDING 383	85% -M325	MIXTO	90.78	6.18	6.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Resumen de Blending 384 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 40 horas de lixiviación

BLENDING 384 - 40 HORAS						
Ítem	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
1	BLIENDING 384	85% -M200	MIXTO	89.33	5.82	4.50
2	BLIENDING 384	85% -M200	MIXTO	89.53	5.82	4.50
3	BLIENDING 384	85% -M325	MIXTO	90.54	6.37	4.50
4	BLIENDING 384	85% -M325	MIXTO	90.78	6.37	4.50

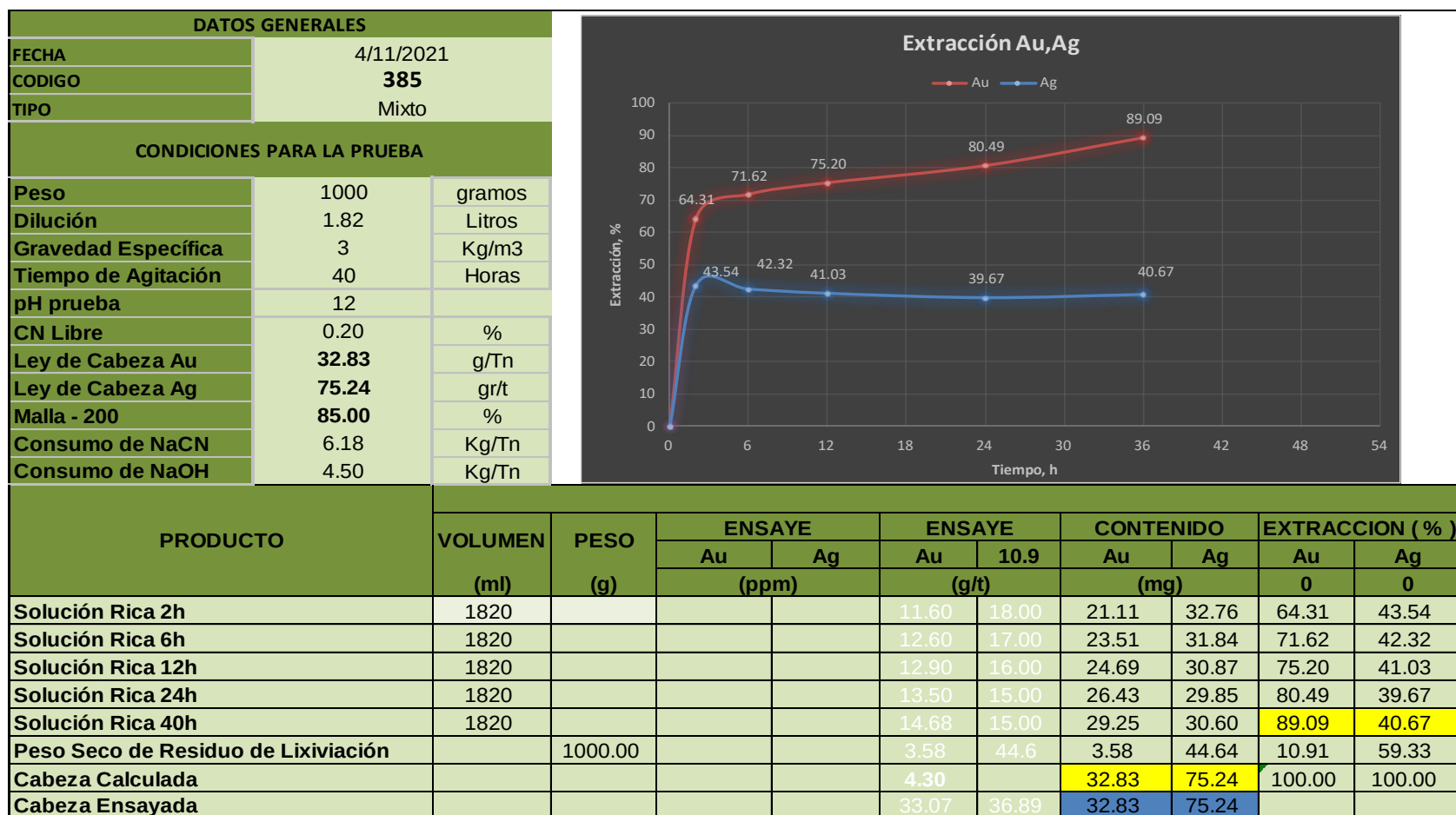
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Resumen de Blending 384 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 80 horas de lixiviación

BLENDING 384 - 80 HORAS						
Ítem	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
1	BLIENDING 384	85% -M200	MIXTO	90.39	7.46	6.50
2	BLIENDING 384	85% -M200	MIXTO	90.28	7.46	6.50
3	BLIENDING 384	85% -M325	MIXTO	90.37	6.55	5.50
4	BLIENDING 384	85% -M325	MIXTO	90.91	6.55	5.50

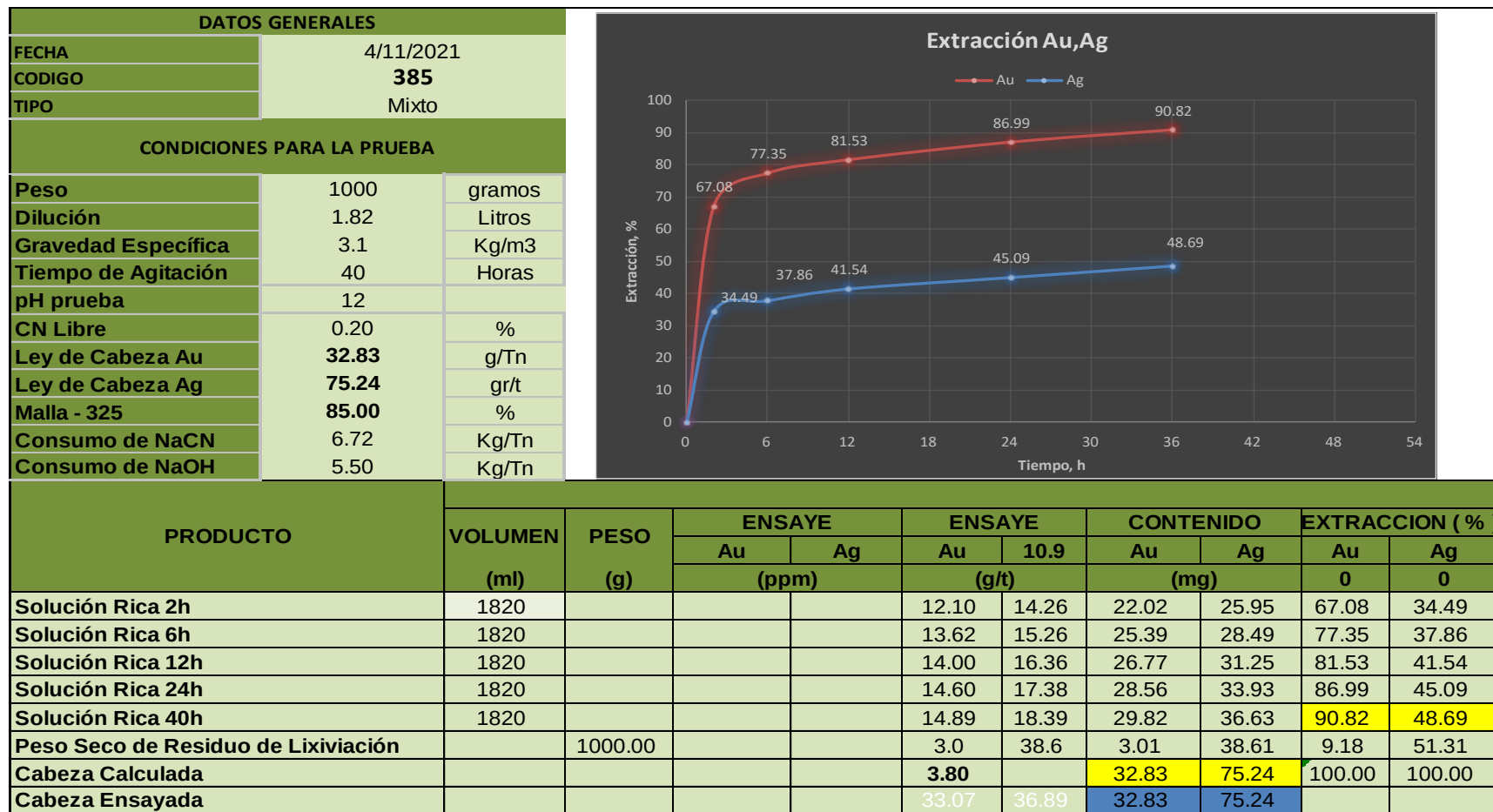
Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Blending 385 - malla 200, 40 horas



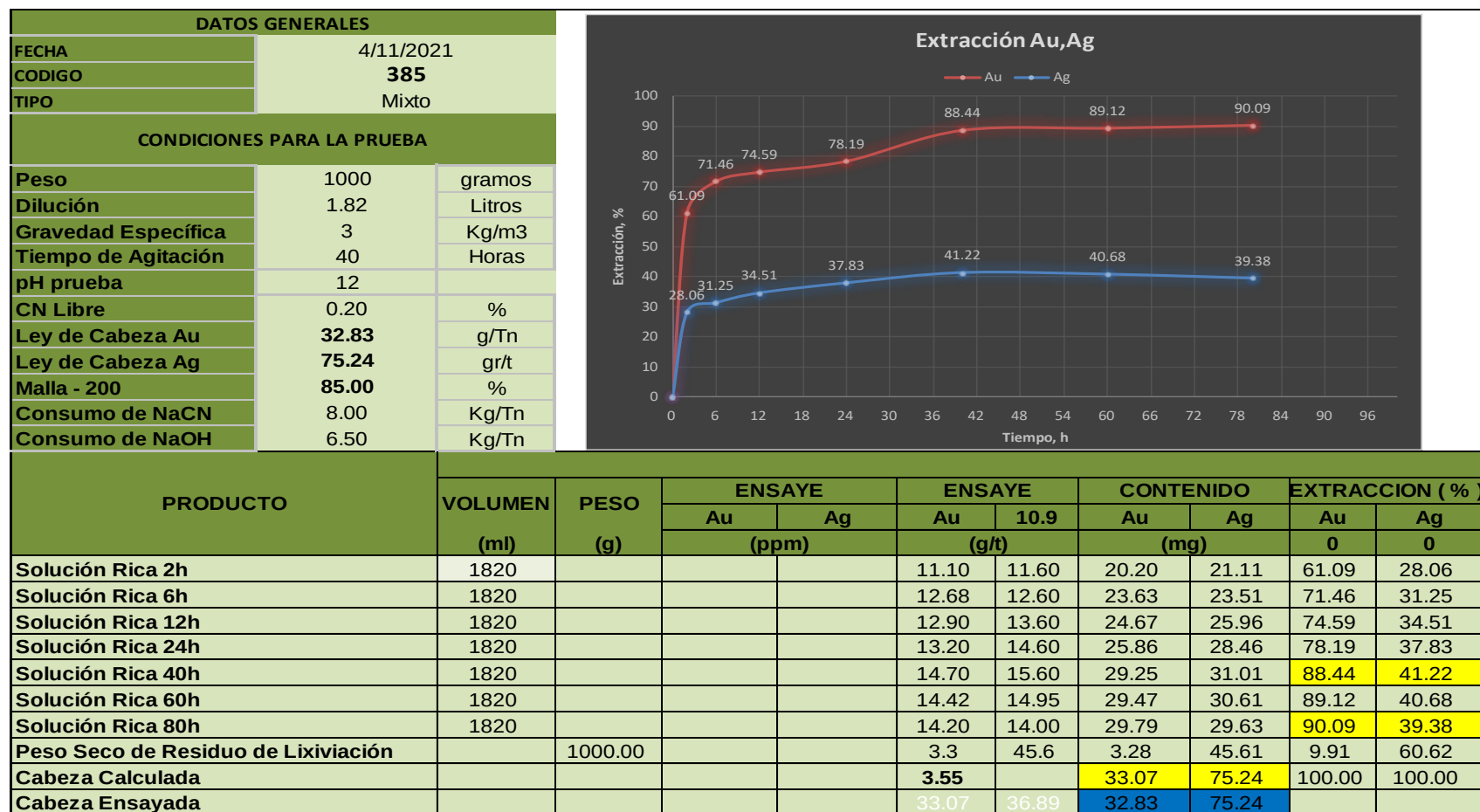
Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Blending 385 - malla 325, 40 horas



Fuente: Elaboración propia

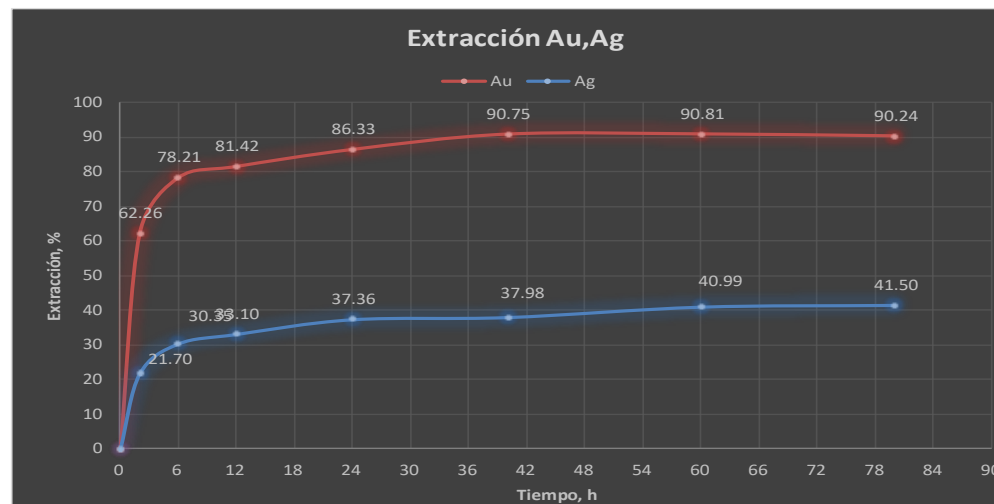
Tabla 19 Blending 385 - malla 200, 80 horas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Blending 385 - malla 325, 80 horas

DATOS GENERALES		
FECHA	4/11/2021	
CODIGO	385	
TIPO	Mixto	
CONDICIONES PARA LA PRUEBA		
Peso	1000	gramos
Dilución	1.82	Litros
Gravedad Específica	3	Kg/m3
Tiempo de Agitación	40	Horas
pH prueba	12	
CN Libre	0.20	%
Ley de Cabeza Au	32.83	g/Tn
Ley de Cabeza Ag	75.24	gr/t
Malla - 325	85.00	%
Consumo de NaCN	7.63	Kg/Tn
Consumo de NaOH	6.50	Kg/Tn



PRODUCTO	VOLUMEN (ml)	PESO (g)	ENSAYE		ENSAYE		CONTENIDO		EXTRACCION (%)	
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
			(ppm)		(g/t)		(mg)		0	0
Solución Rica 2h	1820				11.2	8.97	20.44	16.33	62.26	21.70
Solución Rica 6h	1820				13.8	12.30	25.68	22.83	78.21	30.35
Solución Rica 12h	1820				14.0	13.10	26.73	24.91	81.42	33.10
Solución Rica 24h	1820				14.5	14.50	28.34	28.11	86.33	37.36
Solución Rica 40h	1820				14.9	14.36	29.79	28.58	90.75	37.98
Solución Rica 60h	1820				14.5	15.21	29.81	30.84	90.81	40.99
Solución Rica 80h	1820				14.0	15.00	29.63	31.22	90.24	41.50
Peso Seco de Residuo de Lixiviación		1000.00			3.2	44.0	3.20	44.02	9.76	58.50
Cabeza Calculada					3.85		32.83	75.24	100.51	96.49
Cabeza Ensayada					33.07	36.89	32.83	75.24		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Resumen de Blending 385 – mallas 200 y 325; recuperación y consumo de reactivos, 40- 80 horas de lixiviación

BLENDING 385 - 40 Y 80 HORAS						
HORA	Código de	MALLA	Tipo de	Recuperación	Consumo de	Consumo de
	Muestra	%	Muestra	Au (%)	Cianuro (Kg/TM)	Soda (Kg/TM)
40 HORAS	BLIENDING 385	85% -M200	MIXTO	89.09	6.18	4.50
	BLIENDING 385	85% -M325	MIXTO	90.82	6.72	5.50
80 HORAS	BLIENDING 385	85% -M200	MIXTO	90.09	8.00	6.50
	BLIENDING 385	85% -M325	MIXTO	90.24	7.63	6.50

Fuente: Elaboración propia

Concluida con los análisis o interpretaciones respectivas a las tablas, se concluye que, se llegó obtener resultados muy importantes tales como: en el Blending 385; -325 malla y con tiempo de lixiviación máximo de 40, se obtiene recuperación de oro 90,82 y recuperación de plata 48,6; ver tabla 18. Con estos datos y otros determinados en los ensayos, se pasó a utilizar el diseño factorial fraccionado y finalmente diseño estadístico experimental, para optimizar las recuperaciones de los metales preciosos.

4.1.7. Preparación de la plantilla del diseño factorial fraccionado

Haciendo uso del Statgraphics Centurión se preparó la plantilla del diseño factorial fraccionado de dos niveles, con la finalidad de realizar la selección de los factores más significativos del proceso. Esta preparación se hizo con los datos primarios seleccionados mediante los ensayos preliminares y combinando con los datos secundarios seleccionados mediante los antecedentes del presente trabajo de investigación, ver tabla 22 los factores más significativos del proceso y ver tabla 23 la plantilla para los ensayos experimentales en el gabinete.

Tabla 22 Factores de lixiviación para los ensayos experimentales

Nº	Factores	Nivel bajo	Nivel alto	Unidades
experimentales				
1	Densidad de la pulpa	1250	1350	g/l
2	[NaCN]	300	500	ppm
3	pH	10	12	Unidades
4	Tiempo de lixiviación	34	40	hr

Fuente: Elaboración propia

- Molienda fue considerado como constante= -325 malla como en el blending 385

- El oxígeno fue considerado como constante, porque simplemente se insufló sin control, es recomendable insuflar 5 – 10 mg/l.
- La temperatura de lixiviación se consideró constante, porque se trabajó a la temperatura ambiente, delimitación espacial.
- Las muestras preparadas fueron utilizadas en cada corrida experimental fue de 500 g de mineral con Blending especificado.
- El proceso de lixiviación se comenzó en la molienda del mineral, porque se adicionan cianuro con la concentración definida de acuerdo a la tabla 23; soda caustica diluida; el cual indica un 60-70% de la cianuración y el 40-30% restante, fueron completas en la cianuración en los tanques de agitación continua, ésta se cumplió en función a la tabla 23.
- La adición en el molino del cianuro de sodio con soda caustica; es con la finalidad de evitar pérdidas de cianuro o neutralizar la formación de ácido cianhídrico. Posteriormente el control del pH de la pulpa se hizo en forma continua hasta la culminación del proceso de lixiviación en el orden señalado en la tabla 23.

Tabla 23 Plantilla aleatorizado para los ensayos experimentales

<sin título>							
	BLOQUE	Densidad pulpa	Concentración	pH	Tiempo	Recuperación Au	Recuperación Ag
		g/l	ppm	Unidades	hr	%	%
1	1	1350.0	300.0	12.0	34.0		
2	1	1250.0	300.0	12.0	40.0		
3	1	1250.0	300.0	10.0	34.0		
4	1	1350.0	500.0	10.0	34.0		
5	1	1250.0	500.0	12.0	34.0		
6	1	1250.0	500.0	10.0	40.0		
7	1	1350.0	500.0	12.0	40.0		
8	1	1350.0	300.0	10.0	40.0		
9	1	1300.0	400.0	11.0	37.0		
10	1	1300.0	400.0	11.0	37.0		
11							

Fuente: Elaboración propia

Después de haber cumplido con las corridas experimentales en el laboratorio en el orden establecido en la tabla 23, ver figura 18 y realizados todos los análisis químicos de las recuperaciones de oro y plata, ver resultados en la tabla 24:

Figura 18 Tanque dinámico para los ensayos experimentales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Resultados de los análisis químicos

Diseño selección de factores.sfx								
	BLOQUE	Densidad pulpa g/l	Concentración NaCN ppm	pH Unidades	Tiempo lixiviación hr	Recuperación Au %	Recuperación Ag %	
1	1	1350	300	12	34	75	28	
2	1	1250	300	12	40	62	24	
3	1	1250	300	10	34	50	21	
4	1	1350	500	10	34	51	21	
5	1	1250	500	12	34	65	24	
6	1	1250	500	10	40	52	22	
7	1	1350	500	12	40	70	25	
8	1	1350	300	10	40	52	22	
9	1	1300	400	11	37	80	30	
10	1	1300	400	11	37	80	30	
11								
12								
13								

Fuente: Elaboración propia

Nota: Recuperaciones de oro y plata mediante diseño factorial fraccionado. Fuente: Elaboración propia.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Presentación de resultados en función a la recuperación de oro

Después de realizar el procesamiento de datos primarios, se llegó a obtener como resultados una serie de tablas y figuras; las cuales deben ser analizadas o interpretadas los efectos de los factores y las interacciones de los mismos.

Tabla 25 Efectos estimados para la recuperación del oro

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Int. Confianza</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	63.7	+/- 11.4516	
A:Densidad pulpa	4.75	+/- 25.6066	1.0
B:Concentración NaCN	-0.25	+/- 25.6066	1.0
C:pH	16.75	+/- 25.6066	1.0
D:Tiempo lixiviación	-1.25	+/- 25.6066	1.0
AC	4.25	+/- 25.6066	1.0

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la tabla 25:

- Los signos de los factores concentración NaCN y tiempo de lixiviación son negativos, indican que se encuentran en su valor máximo o punto óptimo, son declarados como constantes durante el proceso.
- Los signos de los factores densidad pulpa y pH son positivos; indican que se encuentran en nivel mínimo, estos factores son significativos en el proceso, deben ser maximizados u optimizados.
- La interacción AC tiene signo positivo, significa que existe interacción entre los factores A y C; también son causantes de la variabilidad del proceso.
- Todas las afirmaciones son ratificadas en la figura 11.

Interpretación de la tabla 26 (ANOVA)

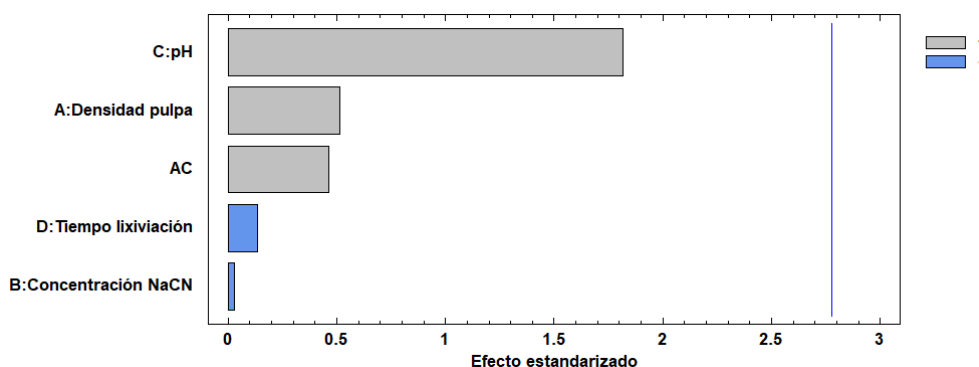
Los valores de la columna Valor-P son mayores al 5% de nivel de significancia prefijado, por lo tanto, el proceso debe ser maximizado o realizar la optimización del proceso.

Tabla 26 Análisis de varianza para la recuperación de oro

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Densidad pulpa	45.125	1	45.125	0.27	0.6337
B:Concentración NaCN	0.125	1	0.125	0.00	0.9797
C:pH	561.125	1	561.125	3.30	0.1435
D:Tiempo lixiviación	3.125	1	3.125	0.02	0.8987
AC	36.125	1	36.125	0.21	0.6689
Error total	680.475	4	170.119		
Total (corr.)	1326.1	9			

Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Diagrama de Pareto para la recuperación de oro



Fuente: Elaboración propia

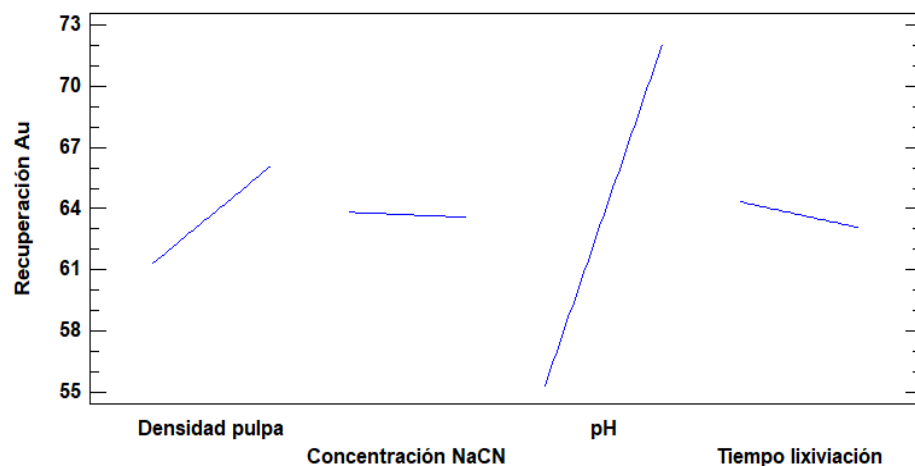
Análisis de las figuras 19 y 20:

- La pendiente de los factores Concentración NaCN y Tiempo de Lixiviación son negativos, significa que son constantes, porque tienen valores máximos o sea están en su punto óptimo respectivamente, por lo tanto, dichos factores son considerados como constantes durante el proceso. Cuando se

incrementa los valores de dichos factores, los resultados de recuperaciones disminuyen.

- La pendiente de la Densidad de la pulpa y pH son positivos; significa que están con su valor mínimo, entonces necesita maximizarlos para obtener resultados máximos de recuperación de oro y plata, además se nota claramente que el factor de mayor significancia en el proceso es el pH. Por lo tanto, son considerados como factores significativos durante el proceso.

Figura 20 Efectos principales para la recuperación de oro



Fuente: Elaboración propia

Modelo matemático de primer orden

Habiendo cumplido con la regresión estadística se obtiene la Tabla 29 y el modelo matemático de primer orden correspondiente.

Tabla 27 Coeficiente de regresión para recuperación de oro

Coeficiente	Estimado
constante	525.783
A:Densidad pulpa	-0.42
B:Concentración NaCN	-0.00125
C:pH	-46.875
D:Tiempo lixiviación	-0.208333
AC	0.0425

Fuente: Elaboración propia

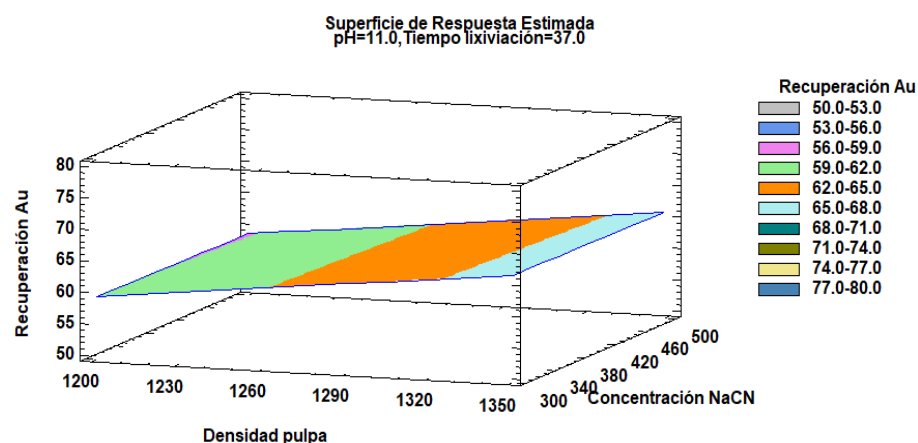
$$\text{Recuperación Au} = 525,783 - 0,42 * \text{Densidad pulpa} - 0,00125 * \text{Concentración NaCN} - 46,875 * \text{pH} - 0.208333 * \text{Tiempo lixiviación} + 0,0425 * \text{Densidad pulpa} * \text{pH}$$

Interpretación del modelo matemático de primer orden:

- La constante del modelo matemático, 525,783 es el promedio del vector respuesta, el valor positivo indica que se encuentra con su valor mínimo, entonces se debe maximizar hasta su valor óptimo, según la figura 20 el factor con mayor significancia es el pH por tener pendiente más pronunciada, seguido por el factor densidad de la pulpa.
- Los demás factores, son considerados como constantes, porque tienen pendiente negativa.
- La interacción AC no se considera por tener valor pequeño.

Figura de superficie respuesta: Ver figura 21.

Figura 21 Superficie respuesta de recuperación del oro



Fuente: Elaboración propia

Interpretación de la figura 21:

Esta figura representa al modelo matemático de primer orden del proceso de recuperación de oro y se ve que la superficie respuesta es un hiperplano, carece de términos de interacción y de términos cuadráticos. Por lo tanto, el modelo

matemático de primer orden es adecuado para pasar a un modelo de segundo orden.

Determinación de la respuesta optimizada para pasar a un modelo matemático de segundo orden para poder optimizar las recuperaciones de los metales preciosos, tema de investigación científica. Ver tabla 28.

Tabla 28 Maximización de la recuperación de oro

Valor óptimo = 77.325			
<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Densidad pulpa	1250.0	1350.0	1350.0
Concentración NaCN	300.0	500.0	300.0
pH	10.0	12.0	12.0
Tiempo lixiviación	34.0	40.0	34.0

Fuente: Elaboración propia

Analizada la tabla 28, surge la tabla 29 para el proceso de optimización de las recuperaciones de oro y plata mediante la lixiviación.

Tabla 29 Factores de optimización del proceso

Factores	Nivel (-)	Nivel (+)
pH: Unidades	11	12
Densidad pulpa: g/l	1300	1350

Fuente: Elaboración propia.

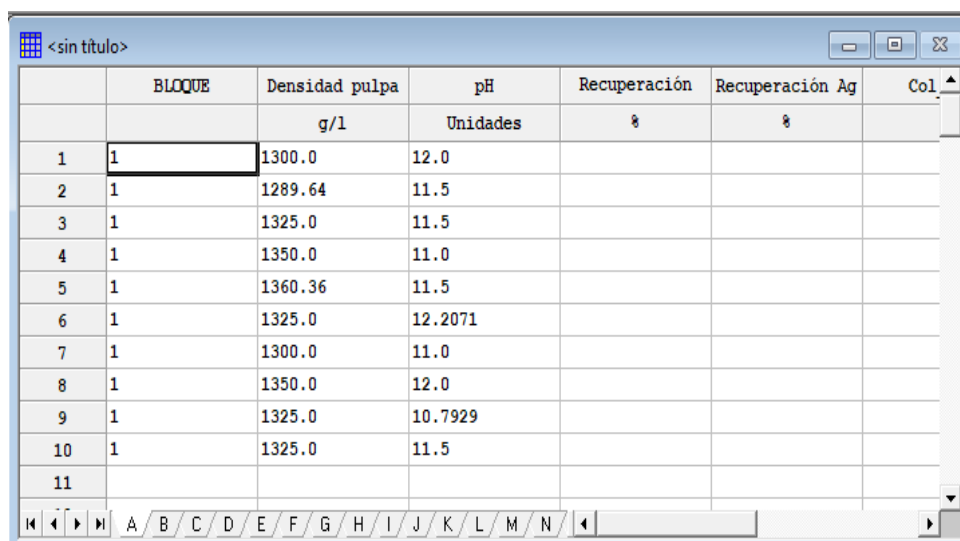
4.2.2. Presentación de resultados en función a la recuperación de plata.

El procesamiento estadístico y los análisis respectivos en función a la recuperación de plata, se realiza de modo semejante al procesamiento y las interpretaciones cumplidos como para el caso de la recuperación del oro.

4.2.3. Proceso de optimización de las recuperaciones

Modelo de plantilla para los ensayos de optimización para las recuperaciones de oro y plata; se realizó haciendo uso de la tabla 29, ver tabla 30.

Tabla 30 Plantilla para la optimización de recuperación de Au y Ag



	BLOQUE	Densidad pulpa g/l	pH Unidades	Recuperación %	Recuperación Ag %	Col.
1	1	1300.0	12.0			
2	1	1289.64	11.5			
3	1	1325.0	11.5			
4	1	1350.0	11.0			
5	1	1360.36	11.5			
6	1	1325.0	12.2071			
7	1	1300.0	11.0			
8	1	1350.0	12.0			
9	1	1325.0	10.7929			
10	1	1325.0	11.5			
11						

Fuente: Elaboración propia

Resultados de las pruebas de optimización de la recuperación de oro y plata.

Durante las corridas experimentales de optimización se mantuvieron con sus valores constantes a los siguientes factores:

- Malla, -325
- Concentración del cianuro de sodio, 300 ppm
- Oxígeno, 5 – 10 mg/l
- Tiempo de lixiviación 34 horas

Habiendo realizado los ensayos experimentales de optimización en función de la tabla 30 y en el mismo orden; ver figura 22 y realizados los análisis químicos respectivamente, los resultados obtenidos, se observa claramente en la tabla 31; tabla obtenida mediante captura de pantalla.

Figura 22 Ensayos experimentales de optimización de la recuperación de oro y plata



Fuente: Elaboración propia

Durante los ensayos experimentales en el orden señalado en la tabla 30, se realizó constantemente el tratamiento del oro solubilizado para recuperar oro metálico, se hicieron los plateos correspondientes, ver figuras 23; 24; 25 y 26

Figura 23 Plateo de los resultados finales



Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Plateo de los resultados finales



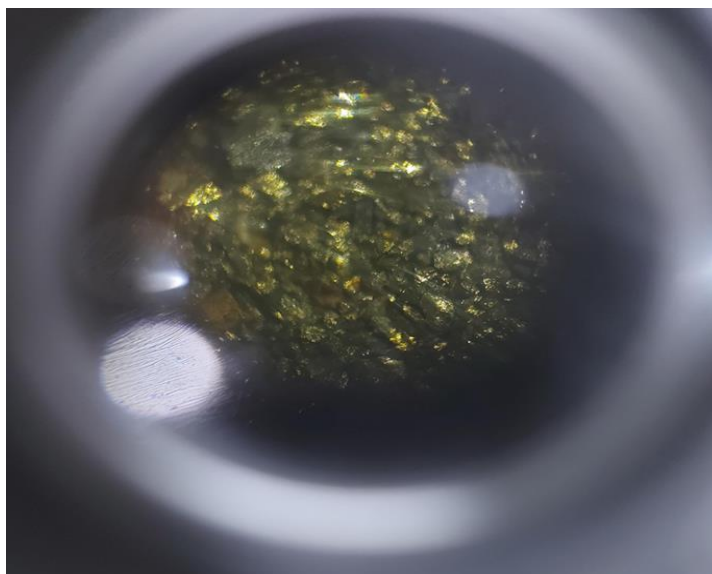
Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Vista al microscopio



Fuente: Elaboración propia

Figura 26 Resultado final vista al microscopio



Nota: Resultado de la precipitación con Zn “Merril-Crowe”, Fuente, elaboración propia

Análisis de la tabla 31 del proceso de optimización:

Tabla 31 Resultados de optimización del oro y plata.

Optimización recup oro.sfx					
	BLOQUE	Densidad pulpa	pH	Recuperación oro	Recuperación Ag
		g/l	Unidades	%	%
1	1	1300	12	90.1	40.20
2	1	1289.64	11.5	93	46.20
3	1	1325	11.5	93.4	49.80
4	1	1350	11	90.3	43.10
5	1	1360.36	11.5	90.6	46.20
6	1	1325	12.2071	88.4	38.00
7	1	1300	11	90	42.10
8	1	1350	12	87.1	40.30
9	1	1325	10.7929	89.2	40.00
10	1	1325	11.5	93.4	49.80
11					

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se ve claramente que los mejores resultados se llegaron obtener en los ensayos 3 y 10; siendo la recuperación de oro en el orden del 93,40% y recuperación de plata del 49,80%.

Habiendo cumplido con el procesamiento estadístico de los datos primarios obtenidos, se llegó a obtener las tablas 32; 33 y 34 y las figuras 27 y 28.

4.2.4. Procesamiento y análisis de la tabla 31 del proceso de optimización del oro.

Análisis de la tabla 32 del proceso de optimización del oro

- Los efectos de los factores densidad de pulpa y pH son negativos, por lo tanto, están en su punto óptimo con su valor máximo, dichos factores vienen a ser constantes con el valor máximo de su nivel.
- El signo de la interacción **densidad de pulpa y pH** es negativo, significa que no existe interacción entre los factores.
- El signo de las cuadraturas **AA** y **BB** son negativos, los cuales indican que ambas cuadraturas están con el valor máximo, significa que dichas cuadraturas son constantes en el proceso.
- Además, indica que el promedio de recuperación del oro es 93,3999%.

Tabla 32 Efectos estimados para la recuperación de oro

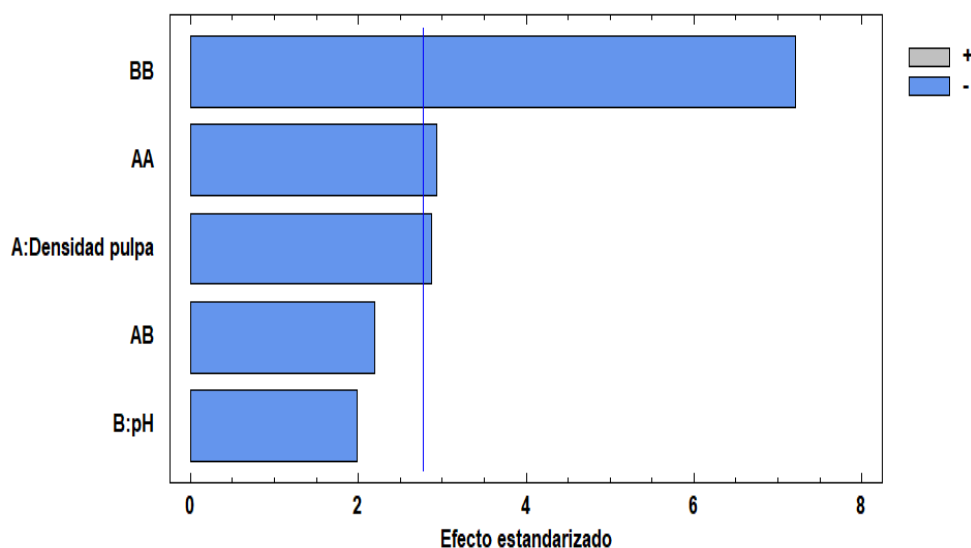
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Int. Confianza</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	93.3999	+/- 1.47461	
A:Densidad pulpa	-1.52344	+/- 1.47452	1.0
B:pH	-1.05785	+/- 1.47462	1.0
AA	-2.06186	+/- 1.95034	1.22506
AB	-1.65	+/- 2.08542	1.0
BB	-5.06263	+/- 1.95081	1.22506

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la figura 27 del proceso de optimización del oro

La figura 27 de optimización del proceso de recuperación del oro, ratifica el análisis realizado mediante la tabla 32.

Figura 27 Diagrama de Pareto estandarizada para la recuperación de oro



Fuente: Elaboración propia

Análisis de la tabla 33 (ANOVA) del proceso de optimización del oro

El análisis de la Tabla 33 de ANOVA se realizó observando solamente la primera y última columna. Si el valor de P-valor es menor que el nivel de significancia prefijada α , se concluye afirmando, cuanto más pequeño sea el valor de Valor-P, entonces el efecto del o de los factores experimentales deben ser considerados como constantes durante la continuación del proceso de optimización.

Tabla 33 Análisis de varianza para recuperación de oro

R-cuadrada = 94,518 por ciento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Densidad pulpa	4.64235	1	4.64235	8.23	0.0455
B:pH	2.23807	1	2.23807	3.97	0.1172
AA	4.86054	1	4.86054	8.62	0.0426
AB	2.7225	1	2.7225	4.83	0.0930
BB	29.2892	1	29.2892	51.92	0.0020
Error total	2.25666	4	0.564165		
Total (corr.)	41.165	9			

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87,6655 por ciento

Fuente: Elaboración propia

La densidad pulpa (A); las curvaturas AA y BB tienen el Valor-P- valores inferiores al 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0% de nivel de confianza. En consecuencia, se rechazan las hipótesis nulas (H_0), por lo que se concluye, que los parámetros mencionados son significativamente diferentes a cero. Por lo tanto, el **Valor-P** de magnitud tan pequeña para los 03 efectos, nos muestra que la conclusión es contundente y que prácticamente no se corre ningún riesgo de rechazar la hipótesis nula.

El factor pH y la interacción AB tiene Valor-P mayores al 5% de nivel de significancia para el 95% de nivel de confianza; en consecuencia, no se rechaza a la H_0 y se rechaza a la H_a . Significa que debemos continuar con la investigación con el propósito de mejorar en un porcentaje mayor la recuperación del oro.

El estadístico R-cuadrada indica que la variabilidad de la recuperación del oro es 94,518 %; en estos casos lo más conveniente es fijarse R-cuadrada ajustada, 87,6655%; indica aún falta realizar el proceso de investigación, por lo menos se debe llegar cerca al 100%.

La varianza del error, cuadrado medio = mean square = 0,564165 es menor a la unidad (1), indica que la variabilidad de los datos primarios es adecuada para el presente trabajo de investigación, esto significa que está dentro de la curva de Gauss, por lo tanto, se afirma que el trabajo está bien desarrollado y se puede reconfirmar dicho proceso cuantas veces sea; se puede continuar mejorando las respuestas hasta llegar al óptimo.

Análisis del modelo matemático de segundo orden para optimizar la recuperación del oro.

Modelo matemático de segundo orden para la recuperación de oro durante la optimización:

$$\text{Recuperación oro} = -5094.69 + 5,09968*\text{Densidad pulpa} + 319,273*\text{pH} - 0,00164949*\text{Densidad pulpa}^2 - 0,066*\text{Densidad pulpa}*\text{pH} - 10,1253*\text{pH}^2$$

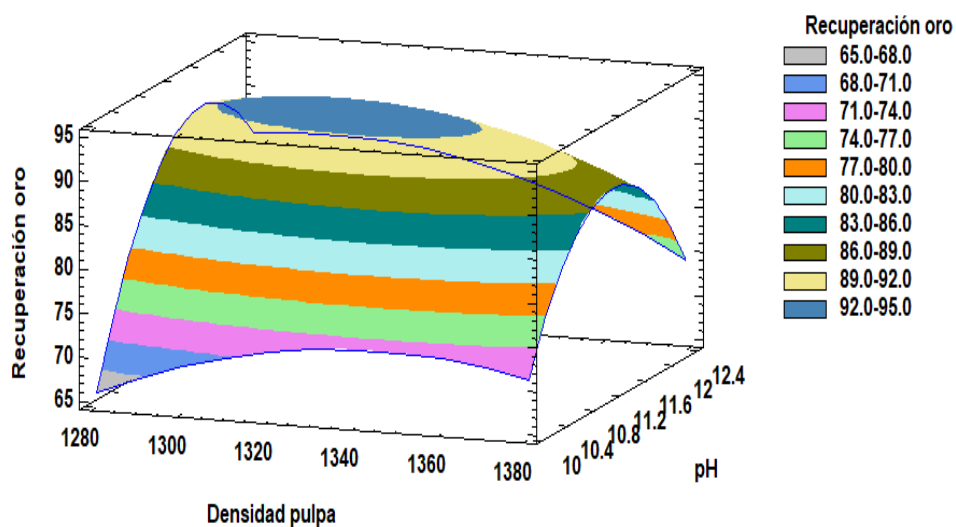
Tabla 34 Regresión para la recuperación de oro

<i>Coficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-5094.69
A:Densidad pulpa	5.09968
B:pH	319.273
AA	-0.00164949
AB	-0.066
BB	-10.1253

Fuente: Elaboración propia

- Si los valores de la densidad de pulpa y pH fueran cero, resulta negativo (-5094,69); significa que la recuperación del oro está en su valor máximo.
- Recuperación oro = -5094,69
- Los valores de los factores densidad de pulpa y pH son positivos, significa están en su valor mínimo, deben ser maximizados para mejorar la recuperación del oro.
- Los factores cuadráticos AA y BB tienen signos negativos con constantes diferentes, indica la figura es una elipse (hiperhelipsoide o hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio y estaremos ante una posibilidad de un máximo, ver figura 28.

Figura 28 Superficie de respuesta estimada para la recuperación de oro



Fuente: Elaboración propia

- Para poder maximizar la recuperación del oro, se debe controlar u optimizar fundamentalmente el factor pH de la pulpa; tal como indica la tabla 34.

Con la ayuda de la tabla 35 se realizar la maximización de la recuperación de oro en algunos más en comparación a la tabla 31.

Tabla 35 Maximización de la recuperación de ro

Valor óptimo = 93.5459

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Densidad pulpa	1289.64	1360.36	1316.23
pH	10.7929	12.2071	11.4762

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Procesamiento y análisis de la tabla 31 del proceso de optimización de plata.

Realizados el procesamiento de optimización de la tabla 31 en función a la recuperación de la plata, se obtienen las tablas 36; 37 y 38 y las figuras 29; 30 y 31.

Análisis de la tabla 35 del proceso de optimización de la plata

- El efecto del factor densidad de pulpa es positivo, por lo tanto, está con su valor mínimo, dicho factor viene a ser significativo del proceso, debe ser maximizado su valor o nivel para la optimización de la recuperación de plata.
- El efecto del factor pH es negativo, por lo tanto, está en su punto óptimo con su valor máximo, dicho factor viene a ser constante durante el proceso por tener valor máximo de su nivel
- El signo de la interacción densidad de pulpa y pH (AB) es negativo, significa que no existe interacción entre los factores.
- El signo de las cuadraturas AA y BB son negativos, los cuales indican que ambas cuadraturas están con el valor máximo, significa que dichas cuadraturas son constantes en el proceso.
- Además, indica que el promedio de recuperación de la plata es 49,7999%.

Tabla 36 Efectos estimados para la recuperación de plata

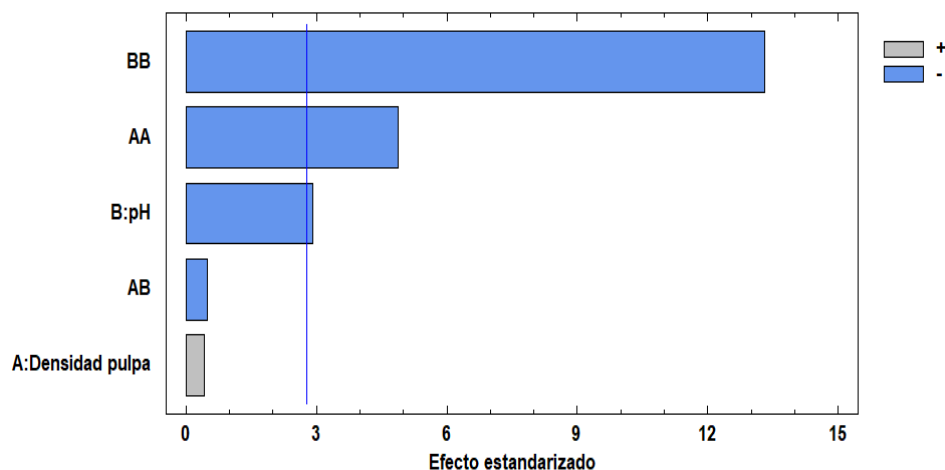
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Int. Confianza</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	49.7999	+/- 1.79732	
A:Densidad pulpa	0.274964	+/- 1.7972	1.0
B:pH	-1.88212	+/- 1.79733	1.0
AA	-4.18635	+/- 2.37716	1.22506
AB	-0.45	+/- 2.54179	1.0
BB	-11.3878	+/- 2.37773	1.22506

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la figura 29 del proceso de optimización del oro

La figura 29 de optimización del proceso de recuperación de la plata, ratifica el análisis realizado mediante la tabla 36.

Figura 29 Diagrama de Pareto estandarizada para la recuperación de plata



Fuente: Elaboración propia

Análisis de la tabla 37 (ANOVA) del proceso de optimización de recuperación de la plata

El análisis o interpretación de la tabla 37, se realiza de modo semejante al análisis realizado en la Tabla 33 de la optimización de la recuperación del oro (ANOVA).

Tabla 37 Análisis de varianza para recuperación de plata

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Densidad pulpa	0.15123	1	0.15123	0.18	0.6928
B:pH	7.08467	1	7.08467	8.45	0.0438
AA	20.0372	1	20.0372	23.91	0.0081
AB	0.2025	1	0.2025	0.24	0.6488
BB	148.196	1	148.196	176.82	0.0002
Error total	3.35243	4	0.838108		
Total (corr.)	159.661	9			

R-cuadrada = 97,9003 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 95,2756 por ciento

Fuente: Elaboración propia

El factor densidad (A) de la pulpa y la interacción AB tiene Valor-P mayores al 5% de nivel de significancia para el 95% de nivel de confianza; en consecuencia, se acepta a la H_0 y se rechaza a la H_a . Significa que debemos continuar con la investigación con el propósito de mejorar en un porcentaje mayor la recuperación de plata

El factor pH (B) y las curvaturas AA y BB tienen el Valor-P inferiores al 5% de nivel de significancia, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0% de nivel de confianza. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0), por lo que se concluye, que los parámetros mencionados son significativamente diferentes a cero. Por lo tanto, el Valor-P de magnitud tan pequeña para los 03 efectos, nos muestra que la conclusión es contundente y que prácticamente no se corre ningún riesgo de rechazar la hipótesis nula.

El estadístico R-cuadrada indica que la variabilidad de la recuperación del oro es 97,9003 %; en estos casos lo más conveniente es fijarse en R-cuadrada ajustada, 95,2756%, indica aún falta realizar el proceso de investigación, por lo menos se debe llegar cerca al 100%.

La varianza del error, cuadrado medio = mean square = 0,838108 es menor a la unidad (1), indica que la variabilidad de los datos primarios es adecuada para el presente trabajo de investigación, esto significa que está dentro de la curva de Gauss, por lo tanto, se afirma que el trabajo está bien desarrollado y se puede reconfirmar dicho proceso cuantas veces sea; se puede continuar mejorando las respuestas hasta llegar al óptimo.

Análisis del modelo matemático de segundo orden en la optimización para la recuperación de la plata.

Modelo matemático de segundo orden para la recuperación de plata durante la optimización:

$$\text{Recuperación Ag} = -9101,94 + 9,08757 \cdot \text{Densidad pulpa} + 545,809 \cdot \text{pH} - 0,00334908 \cdot \text{Densidad pulpa}^2 - 0,018 \cdot \text{Densidad pulpa} \cdot \text{pH} - 22,7757 \cdot \text{pH}^2$$

- Si los valores de la densidad de pulpa y pH fueran cero, resulta negativo (-9101,94); significa que la recuperación del oro está en su valor máximo.

$$\text{Recuperación oro} = -5094,69$$

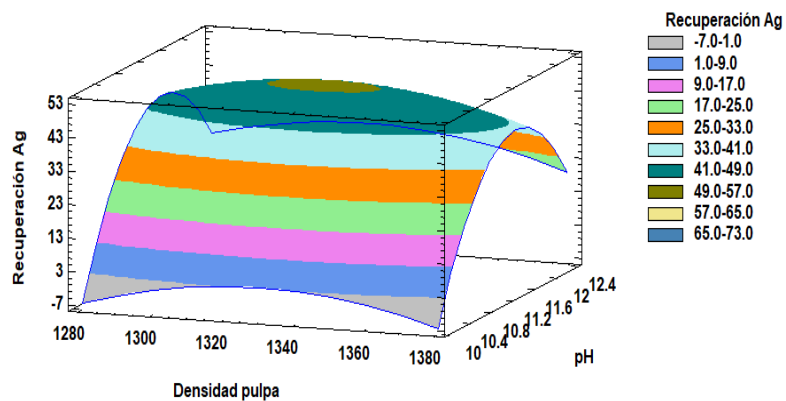
- Los valores de los factores densidad de pulpa y pH son positivos, significa están en su valor mínimo, deben ser maximizados para mejorar la recuperación del oro.
- La interacción AB y los factores cuadráticos AA y BB tienen signos negativos con constantes diferentes, indica la figura es una elipse (hiperhelipsoide o hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio y estaremos ante una posibilidad de un máximo, ver figura 30.
- Para poder maximizar la recuperación del oro, se debe controlar u optimizar fundamentalmente el factor pH de la pulpa; tal como indica la figura 31 y la tabla 38.

Tabla 38 Regresión estadística para la recuperación de plata

<i>Coficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-9101.94
A:Densidad pulpa	9.08757
B:pH	545.809
AA	-0.00334908
AB	-0.018
BB	-22.7757

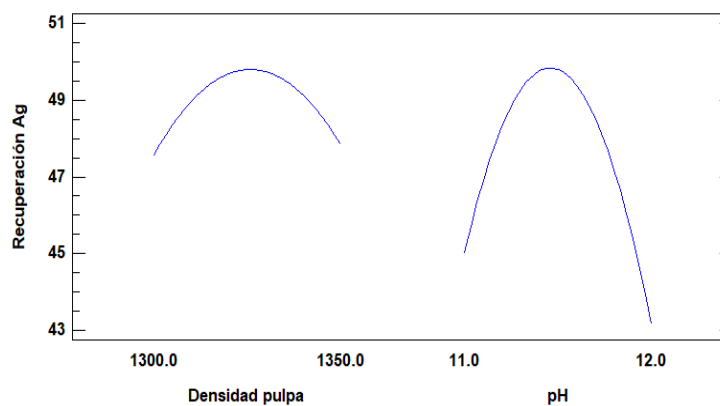
Fuente: Elaboración propia

Figura 30 Superficie de respuesta estimada para la recuperación de plata



Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Efectos principales para la recuperación de plata



Fuente: Elaboración propia

Valores de los factores más significativos para maximizar la recuperación de plata.

Tabla 39 Maximización de la recuperación de plata

Valor óptimo = 49.8417

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Densidad pulpa	1289.64	1360.36	1325.94
pH	10.7929	12.2071	11.4583

4.3. Prueba de Hipótesis

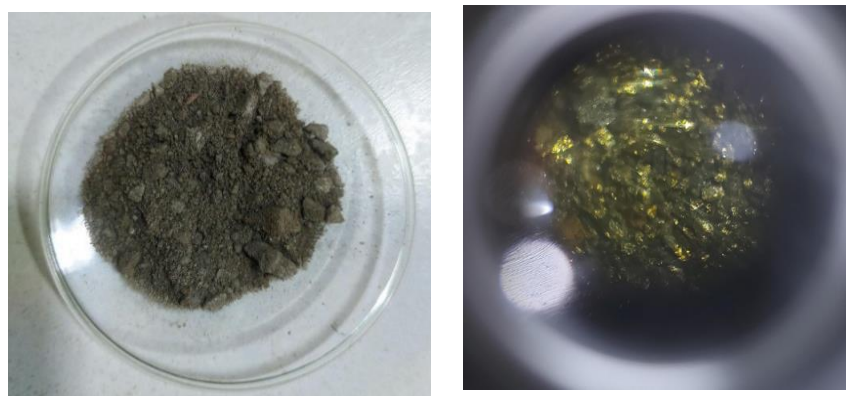
4.3.1. Hipótesis de trabajo.

La mejor demostración de la prueba de hipótesis de investigación experimental es mediante la hipótesis de trabajo.

Las hipótesis de trabajo son formuladas y demostradas mediante los factores o variables experimentales del proceso de investigación.

Habiendo cumplido con las hipótesis formuladas y controlados todos los factores experimentales durante los ensayos en el laboratorio, se llegó a obtener una recuperación de oro 93,4% y plata 49,80%; son ratificados por los modelos matemáticos de segundo orden; las figuras de optimización, etc. ver figura 32. En consecuencia, se rechaza a la H_0 .

Figura 32 Muestras antes y después del proceso de lixiviación del oro



Fuente: Autoría propia

4.3.2. Hipótesis estadística.

“La cantidad de **P-valor**, que corresponde al nivel de significación más pequeño posible que puede escogerse con el cual H_0 sería rechazada cuando se utiliza un procedimiento de prueba especificado por el conjunto de datos de la muestra dada” (Díaz Chávez & Rosado Vega, 2019, p. 139); ver condiciones de rechazo o no rechazo de la hipótesis nula:

Si $P\text{-valor} \leq 0,05 \rightarrow$ Rechazar H_0 al nivel preseleccionado α , es decir, difiere significativamente.

Si $P\text{-valor} \leq 0,05 \rightarrow$ No rechazar H_0 al nivel preseleccionado α , es decir, no difiere significativamente.

no difiere significativamente.

“Los procedimientos para llevar a cabo la prueba de hipótesis, conocida también como el ritual de la significancia estadística, son cinco y fueron planteados por Fisher”, son: plantear la hipótesis; establecer el nivel de significancia; elección del estadístico de prueba; saber leer al P-Valor y finalmente tomar la decisión estadística (Supo, 2014, p. 4).

a. Rechazo de la H_0 para la recuperación del oro.

Rechazar la H_0 conduce a la aceptación de la **hipótesis alternativa**, denotado como H_1 .

Haciendo uso del Statgraphics se realiza el procesamiento de los datos primarios procesados, resultando las tablas 40 y 41

Tabla 40 Resumen estadístico para recuperación de Au

Recuento	10
Promedio	90.55
Mediana	90.2
Moda	93.4
Varianza	4.57389
Desviación Estándar	2.13867
Coefficiente de Variación	2.36186%
Mínimo	87.1
Máximo	93.4
Rango	6.3
Sesgo Estandarizado	0.133241
Curtosis Estandarizada	-0.548579

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41 Tabla de frecuencia para recuperación de oro

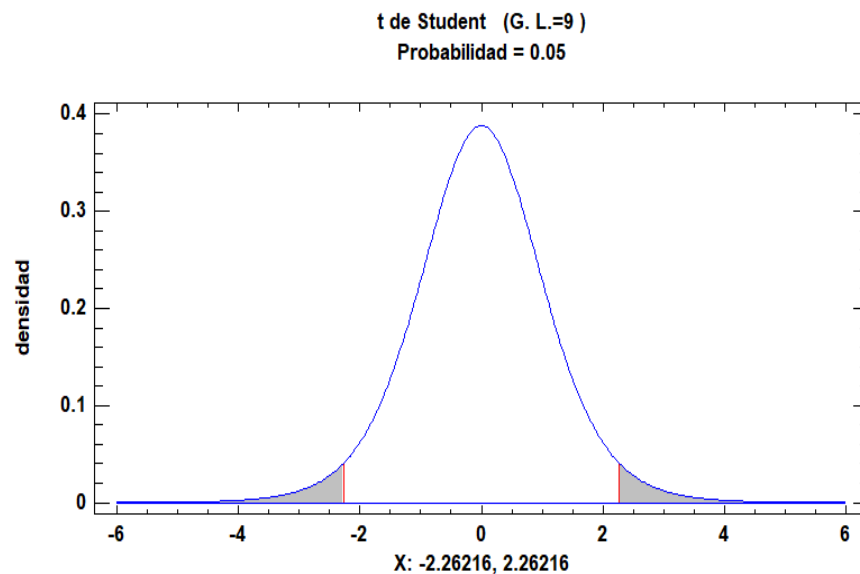
	Limite	Limite			Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Punto Medio	Frecuencia	Relativa	Acumulada	Rel. Acum.
	menor o igual	86.0		0	0.0000	0	0.0000
1	86.0	86.8	86.4	0	0.0000	0	0.0000
2	86.8	87.6	87.2	1	0.1000	1	0.1000
3	87.6	88.4	88.0	1	0.1000	2	0.2000
4	88.4	89.2	88.8	1	0.1000	3	0.3000
5	89.2	90.0	89.6	1	0.1000	4	0.4000
6	90.0	90.8	90.4	3	0.3000	7	0.7000
7	90.8	91.6	91.2	0	0.0000	7	0.7000
8	91.6	92.4	92.0	0	0.0000	7	0.7000
9	92.4	93.2	92.8	1	0.1000	8	0.8000
10	93.2	94.0	93.6	2	0.2000	10	1.0000
	mayor de	94.0		0	0.0000	10	1.0000

Media = 90.55 Desviación Estándar = 2.13867

Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de estas tablas se prepara la figura 33 de t de student para la recuperación del oro y plata, obteniendo la curva de Gauss, significa que los valores experimentales de la recuperación de oro y plata, se encuentran dentro de la campana de la curva de Gauss; en consecuencia, se rechaza a la hipótesis nula (H_0).

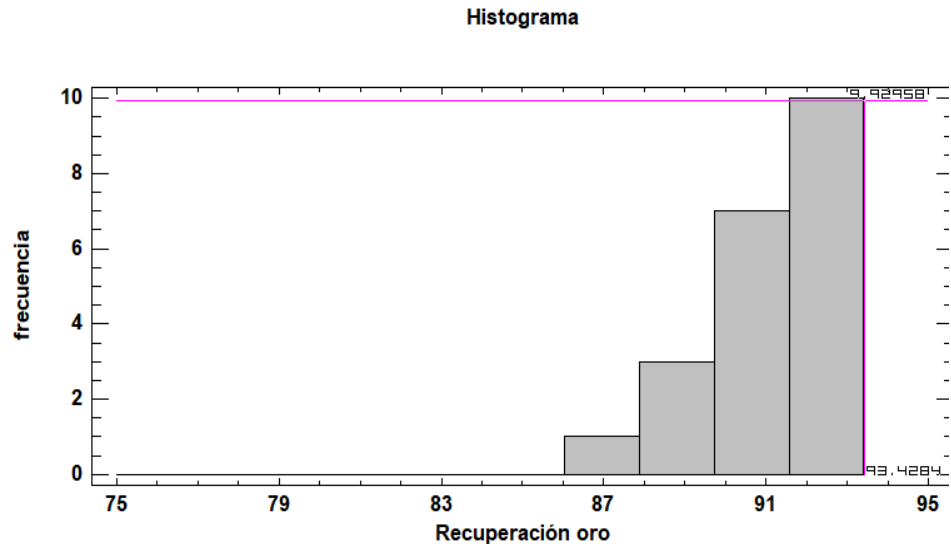
Figura 33 t de Student para la recuperación del oro y plata



Fuente: Elaboración propia

La otra forma de rechazar estadísticamente la hipótesis nula es mediante la figura 34; porque la clase que tiene mayor frecuencia es 93,40%, por lo tanto, se rechaza a la hipótesis nula (H_0).

Figura 34 Gráfico de frecuencias para la recuperación de oro



Fuente: Elaboración propia

b. Rechazo o aceptación de la H_0 mediante la tabla ANOVA.

Para rechazar o aceptar a la H_0 mediante el uso de las tablas ANOVA, en el presente caso se usa la tabla 33; como consecuencia de los ensayos experimentales de optimización para la recuperación del oro mediante el diseño compuesto central.

Estadísticamente los criterios de rechazo o aceptación de la hipótesis nula, se hacen uso de los siguientes criterios estadísticos:

- Si $P > \alpha$ Aceptamos H_0
- Si $P < \alpha$ Rechazamos H_0
- Cuando F calculado $>$ al F tabulado rechazamos a la H_0 ; en caso contrario se acepta a la H_0
- Cuando F calculado es mayor a P , rechazamos a la H_0 ; en caso contrario

se acepta a la H_0 .

En el presente caso, observando las dos últimas columnas de la tabla 33, los Valor-P de los factores; interacción y de las cuadraturas respectivamente, en la mayoría de los casos son menores a los valores de Razón-F, por lo tanto, se rechaza a la H_0 .

c. Prueba de hipótesis con otras distribuciones para la recuperación del oro.

Estos valores se ven en la tabla 40 de resúmenes estadísticos, que utiliza el programa para los cálculos del **t de student y chi cuadrado**.

Media Muestral = 90,55

Mediana Muestral = 90,2

Desviación Estándar de la Muestra = 2,13867

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 133,889

Valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Prueba chi-cuadrada

Hipótesis Nula: sigma = 1.0

Alternativa: no igual

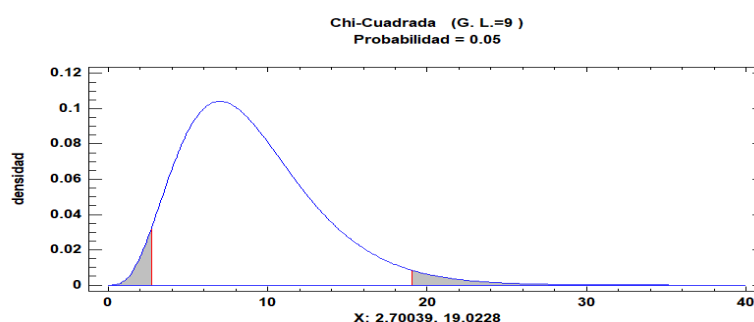
Chi-cuadrado calculado = 41,165

Valor-P = 0,00000933529

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

La prueba de chi-cuadrada evalúa la hipótesis nula de que la desviación estándar de recuperación oro es igual a 1,0 versus la hipótesis alterna de que la desviación estándar de recuperación oro es no igual a 1,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza. Ver figura 35.

Figura 35 Chi-Cuadrada de probabilidad estadística



Fuente: Elaboración propia

4.4. Discusión de resultados

Según Vilcapoma Juño, la recuperación máxima de oro es 90,49%; siendo los valores de los factores experimentales: Tamaño de la partícula 38 μm ; 35% de sólidos; concentración de cianuro de sodio 735,85 ppm; pH 10 y tiempo de lixiviación 24 horas; según Flores Mamani, la recuperación del oro es 91,67%, bajo las siguientes condiciones de operación: Tamaño de la partícula malla -200; 32,56% de sólidos; 0,14 a 0,08% de CN^- ; pH 10 y tiempo de lixiviación 72 horas. En el presente caso, para optimizar las recuperaciones se manipuló intencionalmente a los factores densidad de pulpa, 1325; pH de la pulpa 11,5; NaCN 300 ppm y tiempo de lixiviación 34 horas, logrando las recuperaciones máximas de oro 93,4% y plata 49,80%.

Por lo tanto, realizados la parte comparativa de los datos secundarios con los datos primarios o experimentales, se superó las recuperaciones de oro en 2,67%.

CONCLUSIONES

1. Analizado los resultados obtenidos mediante el diseño factorial fraccionado, se concluye que, los factores concentración del NaCN y tiempo de lixiviación son considerados como variables de entrada constantes y los factores densidad de la pulpa y pH de la pulpa son significativos del proceso de lixiviación, para mayor verificación ver figura 20; gran indicativo para pasar al proceso de optimización.
2. Realizados y analizados el proceso de optimización haciendo uso los factores más significativos del proceso: densidad y pH de la pulpa; se obtienen los mejores resultados de recuperación del oro en 93,4% y plata 49,80% en los ensayos 3 y 10, ver tabla 31.
3. Analizada la tabla 33, ANOVA de la recuperación del oro; fundamentalmente la última columna, Valor-P, el factor densidad de la pulpa y las curvaturas AA y BB cuyos valores son menores al 5% de nivel de significancia pre fijada, por lo tanto, se rechaza a la H_0 ; pero, el factor pH de la pulpa y la interacción AB tienen valores mayores al 5% de nivel de significancia, significa que la H_0 no es rechazada.
4. El cuadrado medio del ANOVA, tabla 33 y tabla 36 es 0,564165 y 0,838108 respectivamente; es menor a la unidad, significa que los valores de recuperación del oro y de plata se encuentran ubicados dentro de la Campana de Gauss, ver figura 32, por lo tanto, se rechaza a la H_0 .

RECOMENDACIONES

Continuar con el proceso de investigación científica con el propósito de realizar la optimización para aún mejorar las recuperaciones de oro y plata, tomando en cuenta fundamentalmente las propuestas de las tablas 35 y 39 propuesto por el paquete estadístico, Statgraphics Centurión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICO

- Aguilar Alvarado, B. D. (2021). *“Aplicación de pre-aireación en lixiviación con cianuro de sodio en el mineral de interés de la mina Cristhian David, Pasaje-El Oro [Tesis de Licenciatura, Universidad del Azuay]*. Repositorio Institucional.
- Alfaro Rodríguez,, C. H. (2012). *Metodología de investigación científica aplicado a la ingeniería*. Universidad Nacional del Callao.
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Cabrera Castro, J. d. (2024). *Optimización de variables de proceso para la reducción del tiempo de reproceso en el reactor tipo Batch, en la manufactura de adhesivos PU por medio de diseño experimental MSR [Tesis de Maestría, Centro de Innovación Aplicada a Tecnologías Competitivas]*. Repositorio Institucional.
- Carrero, E. (26 de Octubre de 2021). *TODOSOBRETESIS*. Obtenido de Delimitación del tema de tesis: <https://todosobretesis.com/delimitacion-del-tema-de-tesis-te-explicamos-como-hacerla/>
- Cervantes Garcés, J. M. (2018). *Diseño de un tanque agitador de 160 m*3 de capacidad para lixiviación de oro. Consorcio Minero Horizonte S.A. [Licenciatura, Universidad Nacional del Callao]*. Repositorio Institucional.
- Chaverri Chavez, D. (2017). Delimitación y justificación de problemas de investigación en ciencia sociales. *Revista de Ciencias Sociales*, 3(157), 185-193. <https://doi.org/10.15517/rsc.v0i157.32189>
- Cienfuego Velasco, M. d., García Manzano, P. J., & Gonzáles Pérez, C. (2022). Revista Iberoamericano de las ciencias sociales y humanísticas. *Lo cuantitativo y cualitativo desde un tratamiento estadístico*, 11(21), 32.
- Díaz Chávez, L. A., & Rosado Vega, J. R. (2019). *Tratamiento estadístico de datos con aplicaciones en R*. Universidad de la Guajira.

- Facultad de Medicina Humana. (2017). *Guía para elaborar plan, tesis y trabajo de investigación*. Universidad de San Martín de Porres.
- Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGrawHill Education.
- Flores Mamani, C. V. (2019). *Estudio del proceso de cianuración de minerales auríferos para la recuperación de oro en el Proyecto Oropesa, la Rinconada Puno [Tesis Licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano Puno]*. Repositorio Institucional.
- Galarza, E. Y., & Díaz Ochoa, M. L. (2020). *Guía Práctica de Investigación en Ingeniería: Apoyo a la Formación de Docentes y Estudiantes*. Colombia: Corporación Universitaria Minuto de Dios- UNIMINUTO.
- García Carrillo, M., Parga Torres, J. R., Moreno Casillas, H. A., & Paredes Soto, J. (2016). Determinación de los factores que influyen en la recuperación de Oro y Plata de soluciones del proceso de cianuración mediante Electrocoagulación, aplicando diseño de experimentos 23. *Revista de Energía Química y Física*, 3(8), 40-49.
- Guerra García de Alba, J. O. (2013). *Lixiviación de especies de oro de un mineral aurífero mediante cianuración [Tesis de Maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]*. Repositorio Institucional.
- Gutiérrez Pulido, H., & De La Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGrawHill.
- Hernández Sampieri, H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Isidro Perca, H. J. (2018). *Pruebas de cianuración en botellas y columnas para minerales mixtos auríferos en la Empresa Minera J.J. Inversiones Minera SAC en Abancay*

[Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann].

Repositorio Institucional, Tacna.

Jiménez Ramos, A., Gómez Sarduy, J. R., Puerta Fernández, J. F., & Jiménez Santana, Y. (2019). Diseño de experimento virtual para enfriamiento de tuberías. *Aplicación de la computación*, 40(3), 257-263.

Jorge Iván Londoño Escobar, J. M. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*. Instituto Colombiano de Geología y Minería.

Logsdon, M. J., Hagelstein, K., & Mudder, T. I. (s/f). *El Manejo del Cianuro en la Extracción de Oro*. Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente.

Londoño Escobar, J. I., Mojica Buitrago, J., Molano Mendoza, J. C., Cañón Romero, Y., Stella Mosquera, G., & Ruiz Solano, V. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas*. Instituto Colombiano de Geología de Minas.

López Bautista, E. A., & González Ramírez, B. H. (2014). *Diseño y análisis de experimentos*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

López Valverde, F. d. (2019). Influencia del blending del mineral, alteración de mineral y concentración de cianuro de sodio, en la velocidad de percolación y porcentaje de extracción de oro del mineral aurífero del proyecto Ayahuanca, tratado por lixiviación en pilas. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional de Huancavelica.

Meza Riquelme, M. (2008). *Guía para la elaboración de un trabajo de investigación*. Universidad Católica de Santa María.

Monge Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Universidad Sur Colombiana.

Parra Velasco, L. Y. (2017). *Muestreo Probabilístico y no probabilístico*. Universidad del Istmo.

- Parra Velasco, L. Y. (2017). *Muestreo Probabilístico y no Probabilístico [Informe; Universidad del Itsmo]*.
- Pizzorni, B. (2019). *Uso Responsable del Cianuro en la Pequeña Minería*. Better Gold Initiative.
- Ramirez Ocsso, L. A. (2015). *Biolixiviación del cobre en minerales sulfurados refractarios como proceso preliminar para la lixiviación del oro por cianuración [Licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]*. Repositorio Institucional.
- Ruiz Córdoba, J. A., López Cañas, C. A., Carmona Arango, M. E., & Bolívar García, W. H. (2019). Modelamiento estadístico y optimización del proceso de cianuración de un mineral aurífero. 28(53), 33-55. Obtenido de <https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n53.2019.9745>
- Sabino, C. A. (27 de Marzo de 2021). *Delimitación del problema de investigación*. Obtenido de Metodología de investigación, pautas para hacer tesis: <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/delimitacion-del-problema-de.html>
- Soto Contreras, D. A. (2017). *Evaluación del efecto blending en la recuperación de minerales de Cu-Mo con alto contenido de arcillas, en la etapa de flotación Rougher, y el efecto de reactivos en pruebas de laboratorio [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]*. Repositorio Institucional.
- Supo, J. (2014). *Cómo probar una hipótesis*. Bioestadístico EIRL.
- Tapara Velarde, R. (2018). *Evaluación técnica para la implementación del tratamiento de relaves mineros en tanque de agitación en el proyecto seis diamantes, la rinconada [Licenciatura, Universidad Nacional del Antiplano-Puno]*. Repositorio Institucional.

- Tarqui Perez, S. C. (2018). *Evaluación de la planta metalúrgica de Choquetoca mediante pruebas de lixiviación [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]*. Repositorio Institucional.
- Uceda Herrera, D. (2016). *Hidrometalurgia Química e Ingeniería*. Ediciones Gráficas EIRL.
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (2020). *Guía para el procedimiento de la elaboración de la tesis para la obtención del grado de magister o doctor*. Equipo Directivo e Investigación de la UPG.
- Valadéz Aguilar, C. (2021). *Extracción de oro por lixiviación de los relaves de un mineral de cobre de la Región de Tiquicheo, Michoacán [Maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]*. Repositorio Institucional.
- Vasquez Condori, J. R. (2021). *Evaluación de las principales variables del proceso de lixiviación y su influencia en la recuperación de oro*. Repositorio Institucional.
- Vilcapoma Juño, J. R. (2021). *Optimización de la recuperación y modelamiento de las variables operativas que afectan el circuito de lixiviación con cianuro de la planta de procesamiento de oro de Ares utilizando un modelo CCD [Tesis Licenciatura, UNCP]*. Repositorio Institucional, Huancayo.
- Yacuzzi, E., Martín, F., Marcelo Quiñonez, H., & Popoysky, M. J. (2004). *El diseño experimental y los métodos de Taguchi: Conceptos y aplicaciones en la industria farmacéutica*. Universidad del CEMA.

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1. Balanza digital
2. Agitador magnético
3. Densímetro para pulpa
4. Termómetro
5. Potenciómetro
6. Cronómetro
7. Además, ver ítem 3.6.2.

ANEXO 01

Acopio de los pequeños mineros



Acopio de los pequeños mineros



Acopio de los pequeños mineros



ANEXO 02

Muestreos de minerales



ANEXO 03

Instrumentos de investigación

Pesaje de muestras



Molino de Bon



Usando el cuarteador



Usando el pulverizador



Usando del Ro-Tap



Tanque de lixiviación



Microscopio o estereoscopio



Plateando



Titulando la solución filtrada



MATRIZ CONSISTENCIA:

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
Problema General ¿Cómo es la optimización de lixiviación dinámica en tanque de minerales sulfurados y oxidados para la recuperación del oro en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca-Paramonga – 2022?	Objetivo General Determinar y analizar la optimización de la lixiviación dinámica en tanque de minerales sulfurados y oxidados para la recuperación del oro en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca-Paramonga – 2022	Hipótesis General La optimización de lixiviación dinámica en tanque de minerales sulfurados y oxidados mejora la recuperación del oro en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca-Paramonga – 2022	Variable Independiente Optimización de Lixiviación Dinámica en Tanque de Minerales Sulfurados y Oxidados. Variable Dependiente Recuperación del Oro en la en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Paramonga – 2022.
Problema Específico 1 ¿De qué manera la densidad de pulpa influye en la recuperación del oro y plata?	Objetivo Específico 1 Demostrar que la densidad de pulpa influye en la recuperación del oro y plata.	Hipótesis Específico 1 La densidad de pulpa mejora la recuperación del oro y plata.	Variable Independiente Optimización de Lixiviación Dinámica en Tanque de Minerales Sulfurados y Oxidados. Variable Dependiente Recuperación del Oro en la en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Paramonga – 2022.
Problema Específico 2 ¿Cómo influye la concentración de cianuro de sodio en la recuperación del oro y plata?	Objetivo Específico 2 Determinar la influencia de la concentración del cianuro de sodio en la recuperación del oro y plata.	Hipótesis Específico 2 La concentración del cianuro de sodio mejora la recuperación del oro y plata	Variable Independiente Optimización de Lixiviación Dinámica en Tanque de Minerales Sulfurados y Oxidados. Variable Dependiente Recuperación del Oro en la en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Paramonga – 2022.
Problema Específico 3 ¿En qué medida el pH de la pulpa influye en la recuperación del oro y plata?	Objetivo Específico 3 Contrastar que el pH de la pulpa influye en la recuperación del oro y plata.	Hipótesis Específico 3 El pH de la pulpa influye directamente en la recuperación del oro y plata.	Variable Independiente

			Optimización de Lixiviación Dinámica en Tanque de Minerales Sulfurados y Oxidados. Variable Dependiente Recuperación del Oro en la en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Paramonga – 2022.
Problema Específico 4 ¿Qué efecto produce el tiempo de lixiviación en la recuperación del oro y plata?	Objetivo Específico 4 Hallar el efecto que produce el tiempo de lixiviación en la recuperación del oro y plata.	Hipótesis Específico 4 El tiempo de lixiviación es la encargada de mejorar la recuperación del oro y plata	Variable Independiente Optimización de Lixiviación Dinámica en Tanque de Minerales Sulfurados y Oxidados. Variable Dependiente Recuperación del Oro en la en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Paramonga – 2022.