UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACIÓN GEOMETALÚRGICA EN EL PROCESO DE CIANURACIÓN EN PILAS DE LIXIVIACIÓN DE MINERAL AURÍFERO EPITERMAL DE ALTA SULFURACIÓN DEL YACIMIENTO AYAHUANCA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

METALURGIA EXTRACTIVA DE ORO Y PLATA

PRESENTADO POR:

Bach. JUAN FREDY HUARECCALLO MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN:

INGENIERIA METALÚRGICA Y GEOMETALURGIA

MENCION: METALURGIA EXTRACTIVA DE ORO Y PLATA

HUANCAVELICA – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)

"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: ***Dr. ENRIQUEZ DONAIRES Amadeo, Dr. DE LA CRUZ CRUZADO Pedro Felix y Dr. RAMIREZ ROSALES Felisicimo German***
Asesor: MSc. DEDICACION MIGUEL Medina Champe

De conformidad al Reglamento único de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 330-2019-CU-UNH, ratificado con resolución N° 378-2019-CU-UNH.

El Candidato al ***GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA METALURGICA Y GEOMETALURGIA MENCION: METALURGIA EXTRACTIVA DE ORO Y PLATA***

Don, ***Juan Fredy HUARECCALLO MAMANI,*** *procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado* ***"INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACION GEOMETALURGICA EN EL PROCESO DE CIANURACION EN PILAS DE LIXIVIACION DE MINERAL AURIFERO EPITERMAL DE ALTA SULFURACION DEL YACIMIENTO AYAHUANCA."***

Luego, de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

Con el calificativo: *Aprobado* [X] *Desaprobado* [ ] *Por:* UNANIMIDAD

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los veinte cuatro días del mes de junio del año 2019.

Dr. ENRIQUEZ DONAIRES Amadeo
Presidente del Jurado.

Dr, DE LA CRUZ CRUZADO Pedro Felix
Secretario del Jurado

Dr. RAMIREZ ROSALES Felicisimo German
Vocal del Jurado

Asesor:

Mg. Dedicación Miguel, MEDINA CHAMPE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por permitir llegar a este momento especial en mi vida y darme fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi padre y la memoria de mi madre quienes me inculcaron educación con valores para mi desarrollo personal y profesional.

A mi esposa Julia e hijos Jhordan y Tatiana que son la inspiración e impulso para los retos de mi vida.

RESUMEN

La franja metalogénica del sur del Perú, que se extiende a lo largo de los andes Peruanos, presentan interesantes potenciales de yacimientos de Au-Ag, de formación epitermal de Alta sulfuración como los yacimientos Tukari, Pucamarca, Santa Rosa, Ayahuanca, Apumayo, Breapampa, Palla palla, Ancos, Huisamarca y otros.

El presente trabajo, caracteriza geometalúrgicamente el mineral del yacimiento Ayahuanca y relaciona la influencia en el proceso de cianuración de Au en pilas de lixiviación, clasificando en unidades geometalúrgica según el comportamiento metalúrgico de los distintos sectores del yacimiento. Proporcionando un modelo de bloques geometalúrgico con valor predictivo y reduciendo el impacto de la incertidumbre espacial.

Para el modelamiento de bloques de Alteración, litología, ley Au, densidad y resistencia de roca se utilizaron muestras de perforación diamantina y para los estudios de caracterización geometalúrgico se utilizó muestreo sistemático estratificado y se realizaron estudios petromineragráficos, microscopia electrónica, análisis mineralógico, difracción por rayos X, pruebas de cianuración flash, botellas, columnas medianas a tamaño de partícula de 2” y columnas grande a tamaño de partículas ROM de mineral.

Las características de mayor influencia que se relaciona con la extracción de Au son; la cianurabilidad Au, razón de riego, pH de mineral y ley mineral; la velocidad de percolación se relaciona con el P_{80}, partículas finas y % saturación; el tiempo de regado se relaciona con las especies mineralógicas como pirita, goethita y concentración de cianuro.

La prueba de hipótesis a un nivel de significancia de 0.05 y 95 % de certeza, determinó la relación existente entre de características geometalúrgica del mineral y el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

Palabra Clave: Geometalúrgia, yacimiento mineral, extracción, lixiviación en pilas.

ABSTRACT

The metallogenic strip of southern Peru, which extends along the Peruvian Andes, presents interesting potentials of Au-Ag deposits, of high sulfidation epithermal formation such as deposits Tukari, Pucamarca, Santa Rosa, Ayahuanca, Apumayo, Breapampa, Palla Palla, Ancos, Huisamarca and others.

The present work, characterizes geometallurgicaly the ore of the deposit Ayahuanca and relates the influence in the process of cyanidation of Au in heap leach, classifying in geometallurgicaly units according to the metallurgical behavior of the different sectors of the deposit. Providing a geometallurgical block model with predictive value and reducing the impact of spatial uncertainty.

For the modeling of blocks of Alteration, lithology, Au degree, density and rock resistance, samples of diamond drilling were used and for studies of geometallurgical characterization, stratified systematic sampling was used and petromineragics studies, electron microscopy, mineralogical analysis, diffraction by X-rays, flash cyanidation tests, bottles, medium-sized columns at 2 "particle size and large columns at the size of mineral ROM particles of ore were carried out.

The characteristics of greatest influence that is related to the extraction of Au are; Au cyanurability, irrigation ratio, ore pH and ore degree; the percolation rate is related to P_{80}, fine particles and % saturation; irrigation time is related to mineralogical species such as pyrite, goethite and cyanide concentration.

The test of hypotheses at a level of significance of 0.05 and 95% certainty, determined the existing relationship between the geometallurgical characteristics of the mineral and the cyanidation process in heap leaching of high sulphidation epithermal gold ore from the Ayahuanca deposit.

Keywords: Geometallurgy, mineral deposit, extraction, heap leaching.

ÍNDICE GENERAL

Portada i
Acta de Sustentación ii
Asesor: iii
DEDICATORIA iv
RESUMEN v
ABSTRACT vi
ÍNDICE GENERAL vii
INDICE DE CUADRO x
INDICE DE FIGURAS xii
INTRODUCCIÓN xiv

CAPÍTULO I
EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. 17
1.2.1 Formulación General 17
1.2.2 Formulación Específica. 17
1.3 OBJETIVOS. 17
1.3.1 Objetivo General. 17
1.3.2 Objetivo Específico. 17
1.4 JUSTIFICACIÓN. 18

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES. 19
2.2 BASES TEÓRICAS. 23
2.2.1 Marco Geológico. 23
2.2.2 Marco Metalúrgicos 31
2.2.3 Lixiviación en pilas (Heap Leaching). 36

2.2.4 Caracterización Geometalúrgica. 38
2.2.5 Modelo Geometalúrgico. 40
2.3 HIPÓTESIS. 41
2.3.1 Hipótesis General. 41
2.3.2 Hipótesis Específico. 42
2.4 DEFINICIONES. 42
2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES. 45
2.5.1 Variable Independiente. 45
2.5.2 Variable Dependiente. 45
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. 46

CAPÍTULO III
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN. 47
3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN. 47
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN. 47
3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN. 48
3.5 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO. 48
3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. 49
3.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS. 50
3.8 DESCRIPCION DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS. 50

CAPÍTULO IV
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS 51
4.1.1 Geología Regional. 52
4.1.2 Geología del yacimiento Ayahuanca. 56
4.1.3 La Geometalúrgia en el desarrollo del proyecto Ayahuanca. 63
4.1.4 Mapeo Geológico por dominio de Alteración hidrotermal. 79
4.1.5 Estudios Mineralógicos. 82

4.1.6 Resistencia de la roca del yacimiento Ayahuanca. 91
4.1.7 Prueba Metalúrgica. 93
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS. 112
4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS. 127

CONCLUSIONES. 130
RECOMENDACIONES 132
BIBLIOGRAFIA 133

ANEXOS 136
Anexo I: Matriz de consistencia. 137
Anexo II: Datos de control de las columnas de cianuración de 30” x 6 m 138
Anexo III: Panel fotográfico 141
Anexo IV: Validación de modelo empírico cinético 145

INDICE DE CUADRO

Cuadro Nro 1 Operación de Variable. 46
Cuadro Nro 2 Vía de acceso al Proyecto. 51
Cuadro Nro 3 Nomenclatura de especies minerales mencionadas en Petromineragráfico. 64
Cuadro Nro 4 Tamaño de partícula de oro y asociación. 78
Cuadro Nro 5 Posible secuencia paragenética del yacimiento Ayahuanca. 79
Cuadro Nro 6 Nomenclatura de especies minerales citados en mineralógico. 82
Cuadro Nro 7 Análisis mineralógico de muestra sílice granular compacta. 83
Cuadro Nro 8 Análisis mineralógico de muestra sílice masiva 84
Cuadro Nro 9 Análisis mineralógico de muestra sílice granular deleznable. 85
Cuadro Nro 10 Microscopía electrónica de muestra sílice granular compacta. 86
Cuadro Nro 11 Composición Química de minerales sílice granular compacta. 86
Cuadro Nro 12 Microscopía electrónica de muestra sílice masiva. 87
Cuadro Nro 13 Composición Química de minerales sílice masiva. 88
Cuadro Nro 14 Microscopía electrónica de muestra sílice granular deleznable. 89
Cuadro Nro 15 Composición Química de minerales sílice granular deleznable. ... 90
Cuadro Nro 16 Análisis mineralógico por difracción de rayos X.. 91
Cuadro Nro 17 Clasificación de rocas por su resistencia a compresión simple. 93
Cuadro Nro 18 Granulométricas de sílice granular compacta. 94
Cuadro Nro 19 Granulométricas de sílice masiva. 94
Cuadro Nro 20 Granulométricas de sílice granular deleznable. 94
Cuadro Nro 21 Condiciones para prueba flash. 95
Cuadro Nro 22 Resultados de prueba flash. 95
Cuadro Nro 23 Condiciones de prueba botella. 95
Cuadro Nro 24 Prueba botella a [NaCN] variable; sílice granular compacta. 96
Cuadro Nro 25 Prueba botella a [NaCN] variable; muestra sílice masiva. 96
Cuadro Nro 26 Prueba botella a [NaCN] variable; sílice granular deleznable. 96
Cuadro Nro 27 Parámetros y condiciones para pruebas en columna 12”x 1.3m. .. 97
Cuadro Nro 28 Resumen de extracción de columna 12”x 1.3m. 97
Cuadro Nro 29 Condiciones de operación de columna 30”x 6m; sílice granular compacta. 99
Cuadro Nro 30 Granulometría de cabeza ; sílice granular compacta. 99
Cuadro Nro 31 Extracción Au en columna 30”x 6m; sílice granular compacta .. 100
Cuadro Nro 32 Granulometría de ripio; sílice granular compacta. 101
Cuadro Nro 33 Balance de finos por malla; sílice granular compacta. 101
Cuadro Nro 34 Condiciones de operación en columna 30”x 6m; sílice masiva. ... 102
Cuadro Nro 35 Granulometría de cabeza; sílice masiva. 102
Cuadro Nro 36 Extracción de Au en columna 30” x 6m; sílice masiva. 103

Cuadro Nro 37 Granulometría de ripio; sílice masiva. 104
Cuadro Nro 38 Balance de finos por malla; sílice masiva. 104
Cuadro Nro 39 Condiciones de operación en columna 30"x 6m; sílice granular deleznable. 105
Cuadro Nro 40 Granulometría de cabeza; sílice granular deleznable. 105
Cuadro Nro 41 Extracción Au en columna 30"x 6m; sílice granular deleznable. 105
Cuadro Nro 42 Granulometría de ripio; sílice granular deleznable. 106
Cuadro Nro 43 Balance de finos por malla; muestra sílice granular deleznable. . 107
Cuadro Nro 44 Características físicas del mineral del yacimiento Ayahuanca. ... 107
Cuadro Nro 45 Resumen de tendencia de prueba de extracción de Au. 108
Cuadro Nro 46 Parámetros de prueba de cianuración a granulometría ROM. 109
Cuadro Nro 47 Análisis granulométrico valorado de muestras en estudio. 110
Cuadro Nro 48 Valores de constante de modelo empírico cinético de extracción. 112
Cuadro Nro 49 Clasificación por alteración hidrotermal yacimiento Ayahuanca. 116
Cuadro Nro 50 Especies mineralógicas en muestras por alteración hidrotermal 116
Cuadro Nro 51 Características Geometalúrgica por Alteración hidrotermal. 117
Cuadro Nro 52 Caracterización del modelamiento de bloque geometalúrgico. ... 124
Cuadro Nro 53 Caracterización geometalúrgica mineral Ayahuanca; Au en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación. 127
Cuadro Nro 54 Coeficiente de correlación lineal de Pearson (r). 128
Cuadro Nro 55 Índice de correlación según Sampieri, Robert (2010) 129

INDICE DE FIGURAS

Fig.Nro 1 Yacimientos epitermales (Hedenquist, 2000) 24
Fig.Nro 2 Esquema conceptual de depósitos epitermales de baja y alta sulfuración. (Camprubi, A.- Gonzales, E. 2003). 24
Fig.Nro 3 Esquema de alta y baja sulfuración (Hedenquist, 1987). 25
Fig.Nro 4 Modelo de dos etapas para la formación de mineral de alta sulfuración (Arribas, A. 1995). 26
Fig.Nro 5 Sección que muestra el cuerpo mineral de una alteración típica de alta sulfuración (Corbett, 1998). 27
Fig.Nro 6 Modelo de alteración y mineralización en sistema de alta sulfuración (Corbett- ProExplo, 2005) 31
Fig.Nro 7. Diagrama Eh/pH para el oro y el Auro-cianuro (E. Domic, 2001). 33
Fig.Nro 8 Ilustración Proceso de disolución del Oro (E. Domic, 2001). 33
Fig.Nro 9 Ilustración proceso de cianuración de Oro (Dpto. Metalurgia -minera Yanacocha, 2007). 36
Fig.Nro 10 Geometalúrgia: interrelación dinámica, estructural y secuencial (Canepa, C. 2009). 39
Fig.Nro 11 Disciplina y sus interacciones en la caracterización geometalúrgica (Alfaro, E. 2014). 40
Fig.Nro 12 Modelamiento geometalúrgico de bloques (Canchaya, S. 2017). 41
Fig.Nro 13 Ubicación general del Proyecto. 51
Fig.Nro 14 Mapa Metalogenético del sur del Perú (INGEMMET-Proyecto GR-13, 2008). 52
Fig.Nro 15 Mapa geológico mostrando basamento Eoceno cubiertas por depósitos volcánicos Mio-pliocenos (INGEMMET, 2014). 55
Fig.Nro 16 Plano Litológico Ayahuanca. 58
Fig.Nro 17 Plano Alteraciones Ayahuanca. 61
Fig.Nro 18 Ubicación de las muestras según dominio de Alteración hidrotermal. . 81
Fig.Nro 19 Tipos de geométricos de intercrecimientos entre minerales (Canchaya & Cardoso, 1977). 83
Fig.Nro 20 Modelo de bloques de resistencia a la compresión Uniaxial (UCS). 93
Fig.Nro 21 Cinética de lixiviación en columna 12”x 1.3m. 98
Fig.Nro 22 Extracción de Au y ley pregnant; sílice granular compacta. 100
Fig.Nro 23 Extracción de Au y ley pregnant; sílice masiva. 103
Fig.Nro 24 Extracción de Au y ley Pregnant; sílice granular deleznable. 106
Fig.Nro 25 Tendencia de extracción de Au. 108
Fig.Nro 26 Cinética de lixiviación de Au por percolación en columna 30” x 6 m . 109
Fig.Nro 27 Distribución de finos Au y pesos por fracción de malla. 110
Fig.Nro 28 Efecto de tamaño de partículas en la extracción de Au. 111

Fig.Nro 29 Modelo de cinética de extracción de Au a tamaño de mineral ROM. . 111
Fig.Nro 30 Plano de litología loca del yacimiento Ayahuanca. 113
Fig.Nro 31 Plano de alteración loca del yacimiento Ayahuanca. 113
Fig.Nro 32 Plano de cuerpo solido de Oro del yacimiento Ayahuanca. 114
Fig.Nro 33 Modelo de bloques Au; yacimiento Ayahuanca- vista-planta. 114
Fig.Nro 34 Modelo de bloques Au; yacimiento Ayahuanca-vista-lateral. 114
Fig.Nro 35 Modelo de bloques Au; yacimiento Ayahuanca, corte transversal. 115
Fig.Nro 36 Modelo de bloques de resistencia a la compresión simple Uniaxial yacimiento Ayahuanca. 115
Fig.Nro 37 Efecto de alteración hidrotermal en % extracción de Au. 118
Fig.Nro 38 Efecto de amares mineralógicos en % extracción de Au. 118
Fig.Nro 39 Efecto de razón riego en % extracción de Au. 119
Fig.Nro 40 Efecto de pH natural del mineral en % extracción de Au. 119
Fig.Nro 41 Efecto de Au cianurable en % extracción de Au. 119
Fig.Nro 42 Efecto de P_{80} en velocidad de percolación. 120
Fig.Nro 43 Efecto de partícula a malla -200 en velocidad de percolación. 120
Fig.Nro 44 Efecto % saturación en velocidad de percolación. 120
Fig.Nro 45 Efecto de especies mineralógicas en tiempo de lixiviado 121
Fig.Nro 46 Efecto de pirita en tiempo de lixiviado. 121
Fig.Nro 47 Efecto de goethita en tiempo de lixiviado 121
Fig.Nro 48 Efecto de ley de mineral en tiempo de lixiviado 122
Fig.Nro 49 Efecto de partículas pasante m-200 en la saturación 122
Fig.Nro 50 Efecto de pirita en consumo de cal. 122
Fig.Nro 51 Efecto de goethita en consumo de NaCN. 123
Fig.Nro 52 Efecto de [NaCN] en extracción de Au 123
Fig.Nro 53 Modelo de bloques geometalúrgico yacimiento Ayahuanca- planta. .. 125
Fig.Nro 54 Geometalúrgia del yacimiento Ayahuanca. 125
Fig.Nro 55 Modelo de bloques geometalúrgico Ayahuanca-vista lateral. 126
Fig.Nro 56 Modelo de bloques geometalúrgico Ayahuanca-oeste-este. 126
Fig.Nro 57 Modelo de bloques geometalúrgico Ayahuanca- sur-noreste. 126

INTRODUCCIÓN

Desde aproximadamente 1998, la evolución de la geometalúrgia empieza con minas grandes de Cobre de mayor tamaño, costo y tonelaje, proyectos fallidos por falta de estudios, desarrollo de software con cálculo de nivel de bloques, pruebas metalúrgicas de mayor confiabilidad, plantas metalúrgicas con equipos mayores sin optimizar por falta de control en su alimentación, nuevas tecnologías como QemSCAN, ICP, SMC, SPI, entre otros.

La industria minera del Perú en los últimos años se ubica entre los primeros productores de Plata, Zinc, Plomo y Oro, constituyendo uno de los pilares fundamentales de la economía Peruana, concentrando una cadena de actividades y procesos donde convergen diferentes áreas de ámbitos profesionales. La actividad minera viene constantemente implementando mecanismos en sus operaciones y procesos que regulan y disminuyen sus efectos negativos al medio ambiente y que permitan alcanzar el aprovechamiento máximo de los recursos naturales, tales como el proceso de lixiviación en pilas de Oro para minerales de baja ley, aplicado en diferentes empresas en el Perú (Yanacocha, Barrick, Aruntani, Comarsa y otros).

En todas las operaciones mineras Auríferas se realizan análisis químico sistemático y tradicional, careciendo de información como análisis mineralógico, textural y físico-mecánico que se realizan con equipos de alto rendimiento y rapidez, esta caracterización se le conoce como caracterización geometalúrgica que proporciona información básica de entrada que se emplea para planificar, monitorear y corregir y optimizar los procesos minero-metalúrgico, desde la roca que es sometido al proceso de extracción, terminando en barras dore (Au-Ag).

Un buen dominio y aplicación de la mineralogía de proceso es fundamental para integrar la geología y metalurgia, caracterizando el mineral y su influencia en las respuestas metalúrgicas constituyendo un modelo de bloques geometalúrgico utilizando herramientas como la geoestadístico para ubicar espacialmente los bloques, la termodinámica metalúrgica sustento teórico del proceso químico-metalúrgico, técnica de valorización del yacimiento para definir la viabilidad económica, planificación minera para orientar las conveniencias técnicas-económicas y

metodología de modelamiento geometalúrgico que permite definir bloque geometalúrgico que incluyan los atributos geológicas, mineralógicas y metalúrgicas en cada bloque.

El presente trabajo desarrolla la caracterización geometalúrgica del mineral cuyo objetivo es determinar la influencia de la caracterización geometalúrgica basados en los conceptos geológicos, metalúrgicos, mecanismos que gobiernan el proceso de cianuración en pilas del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca, formulando un modelo de bloques geometalúrgico con tres unidades (UGM) para predecir, simular, controlar y corregir, el proceso de cianuración y una planificación sostenible en las operaciones mineras, reduciendo riesgos y maximizando las operaciones minero-metalúrgicos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El concepto de proceso de lixiviación por pilas se empleó por primera vez en la extracción de cobre a mediados del siglo XVIII. En 1971 la empresa Carlin Gold Mining, utilizó el método de lixiviación para tratar minerales de baja ley, actualmente la cianuración en pilas de lixiviación es el proceso más usado en la extracción de minerales con oro diseminado y de baja Ley (Hisskey 1985). En 1994 por primera vez en el Perú; minera Yanacocha aplica esta tecnóloga en sus operaciones de lixiviación a minerales Auríferos de Alta sulfuración.

La geometalúrgia empieza con minas grande de cobre en los años de 1998, integrando disciplinas como; Geología, Geoestadística, Metalurgia Extractiva, Planeamiento minero y Evaluación Económica, con fines de optimizar y asegurar planes de producción futuras y reducir riegos de incertidumbre.

Como resultado de las exploraciones de minera Apumayo SAC, en el proyecto Ayahuanca ha encontrado recursos Auríferos, la mineralización se encuentra en rocas volcánicas del grupo Tacaza, las alteraciones encontradas son propias de yacimientos epitermal de alta sulfuración (sílice masiva, sílice granular, sílice alunita, sílice clay). Se realizan prueba metalúrgica de cianuración con muestras de perforación diamantina, para su factibilidad metalúrgica del yacimiento, identificándose el tipo de alteración dominante de sílice granular, donde se evalúa extracción de Au, consumo de reactivos, estas pruebas alcanzan a niveles de prueba flash, botella y columnas medianas (partículas menores a 2”) alcanzando una extracción Au de 88%.

Cuando inicia las operaciones de explotación minera, las pruebas de control de cianuración y extracción en pilas de lixiviación no alcanza la extracción planeada inicialmente en el proyecto, el proceso de cianuración en pilas es afectada por las características propias del mineral del yacimiento, se corre pruebas preliminares donde varia las respuestas metalúrgicas según su características del mineral, afectando la planificación sostenible de las operaciones minera-metalúrgicas iniciales.

A partir de lo expuesto surge nuestra motivación para desarrollar el presente trabajo de caracterización geometalúrgica del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca, el interés radica en poder reconocer, interpretar, clasificar y aplicar los conceptos geológicos y metalúrgicos en el yacimiento y planificar las operaciones del proceso de cianuración en pilas de lixiviación a cortos, mediano y largo plazo, generando un modelo de bloques geometalúrgico.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1 Formulación General.

¿Cómo Influye la caracterización geometalúrgica del mineral, en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca- Ayacucho 2018?

1.2.2 Formulación Específica.

¿Cuál es la característica geometalúrgica del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca?

¿Cómo es el comportamiento metalúrgico en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca?

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo General.

Determinar la influencia de la caracterización geometalúrgica del mineral, en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca-Ayacucho 2018

1.3.2 Objetivo Específico.

Determinar la característica geometalúrgica de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

Conocer el comportamiento metalúrgico en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

1.4 JUSTIFICACIÓN.

En la metalurgia extractivas de minerales Auríferos, en su mayoría de los casos es posible encontrar el Oro incluido o asociado a diferentes minerales dentro del yacimiento, esto nos lleva a estudios de caracterización del mineral con el fin de determinar las ocurrencias del Oro y su comportamiento frente a los procesos metalúrgicos, para seleccionar el proceso aplicable en el beneficio de extracción y recuperación de Oro.

La importancia del presente trabajo es describir detalladamente y organizada de la características geológicas y su respuesta metalúrgica, donde se aplica técnicas de evaluaciones mineralógicas asociadas a los procesos metalúrgicos, respuestas de las diversas variables metalúrgicas e introducción de esas respuestas a la definición de modelo de bloques geometalúrgico con valor predictivo y reduciendo el impacto de incertidumbre espacial, garantizando con datos confiables la planificación minera a corto y largo plazo.

La caracterización y posterior modelamiento de bloques geometalúrgico del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca, utiliza herramientas geoestadístico para ubicar los bloques, la geología describe las características del mineral y la termodinámica metalúrgica describe las respuestas metalúrgicas al proceso de cianuración de Au, esta información facilita conocer de forma más confiable el comportamiento del mineral del yacimiento Ayahuanca y poder planificar sosteniblemente las operaciones mineras metalúrgicas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.

En 2004 la Compañía North y MHC (Hochschid), realiza trabajos de exploración regional, identifican varios centros volcánicos con características favorables para hospedar depósitos epitermales de Au-Ag, como resultado en la zona Taihuire se encuentra mineralización en rocas volcánicas del grupo Tacaza y se denomina proyecto Ayahuanca, con una alteración propia de yacimiento epitermal de alta sulfuración.

En 2013 minera Apumayo realiza una agresiva campaña de perforación en proyecto Ayahuanca, con resultados de un cuerpo mineralizado en Au, se realiza estudios metalúrgicos con las muestras proporcionadas, en enero 2017 se inicia las operaciones minera- metalúrgicas con los parámetros iniciales del proyecto.

No existen estudios y/o trabajos de investigación que precede al trabajo propuesto, las referencias directas se tiene los informes geológicos y las pruebas metalúrgicas iniciales realizadas en la etapa de factibilidad económica del proyecto Ayahuanca, las referencias externas que tiene directamente o indirectamente con el estudio se menciona:

Takehara, Lucy (2004): en su investigación doctoral "Caracterizaçâo geometalúrgica dos principies minérios de ferro brasileiros- fraçâo sinter feed", Universidad de Federal do Rio Grande do Sul- Brasil- Programa de Pós-Graduaçâo em Geociencias.

Elige seis tipos de minerales de hierro geológico provenientes de diferentes minas de hierro brasileño, caracterizándolo según criterios geológicos con base en la composición mineralógica, química, textural, estructural, grado de elongación, tamaño, superficie de partículas, el estudio se realiza 19 mesclas, del 01 al 07 minerales como sub-fracción nucleantes, del 08 al 13 minerales como sub-fracción adherentes y del 14 al 19 como sub-fracciones intermedias, todas estas mesclas se sometieron a los procesos de micro aglomeración y clinkerización.

Concluye en su investigación que el criterio utilizado para la caracterización del mineral de hierro depende del enfoque a ser utilizado; cada área que utiliza el mineral

de hierro como materia prima, se caracteriza de acuerdo con sus necesidades básica, para su clasificación de calidad y facilidad de operación.

Los datos obtenidos mostraron algunos resultados positivos tanto del punto de vista geológico como metalúrgico. Las características geológicas presentadas por los diferentes minerales estudiadas influyen en el comportamiento de los minerales en los procesos de micro aglomeración y clinkerización, que a su vez influyen en los índices de calidad de los Clinker obtenidos.

Tremolada P. Julio (2011): en su investigación doctoral "Caracterización, influencia y tratamiento de arcillas en el proceso de Cianuración en Pilas", Universidad de Oviedo- España-Programa de Doctorado Minería, obras Civil y medio Ambiente.

El objetivo del su investigación fue evaluar las posibilidades de pasivación del efecto preg-robbing de diferentes tipos de arcilla asociados a minerales de Au y Ag en el proceso de lixiviación y minimizar el efecto de la reabsorción de la solución pregnant Oro-cianuro sobre arcillas en una pila de lixiviación.

Experimentalmente comprueba en los test de lixiviación por agitación que las arcillas presentan una alta capacidad de intercambio iónico en medio cianurada, también tiene la capacidad de adsorber los iones Oro y Plata de solución y asimilarlos a su matriz en 7.49% de Au y 80% Ag, en 96 horas, los test de velocidad de filtrabilidad, a diferentes porcentajes de arcilla, fueron verificado que las arcillas incrementan su volumen debido a sus propiedades hidrofílicas y a su actividad coloidal reduciendo la porosidad del mineral y el volumen de filtrado disminuye a medida que % de arcilla incrementa, esto implica la necesidad de tratar minerales con bajo contenido de arcilla a fin de no incrementar el ciclo de lixiviación en las pilas de procesamiento.

Cárdenas del Rio, Efraín (2015): en su trabajo de tesis de Maestría "Caracterización geoquímica de alteración hidrotermal en pórfidos cupríferos escondida" Universidad de Chile - Chile, Departamento de Geología.

El objetivo de su estudio es definir criterios y parámetros geoquímicos de caracterización mineral cuantitativa para su posterior uso en modelamiento espacial y plantea construir un modelo cuantitativo de alteraciones hidrotermales basado en datos geoquímicos, mineralógicos y mapeo de sondaje para ser utilizado en la predicción del comportamiento del mineral durante el procesamiento metalúrgico.

De su desarrollo de su trabajo concluye que la correlación entre la mineralogía, geoquímica y mapeo geológico permite identificar zonas de alteración hidrotermal. Una vez caracterizado cada zona, es posible definir zonas de alteración en función de la geoquímica, los datos geoquímicos se correlacionan con la presencia de los minerales solubles en agua regia como: biotita, clorita, óxido de hierro, sulfuros, sulfatos y carbonatos principalmente.

Gutiérrez B, Raúl (2014): en su trabajo" Mineralización y Caracterización geometalúrgica de los pórfidos Cu-Au de Pero-Chailhuagon, Minas Conga, Cajamarca", Universidad Nacional de Ingeniería- Perú-Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica

En el desarrollo de su trabajo, muestra las características geológicas y mineralógicas de los depósitos Perol y Chailhuagon, la característica geometalúrgica de los minerales de sulfuro secundario y primario de Cobre y la ocurrencia cuantitativa del tipo de arcilla, determinando los dominios del mineral distribuido espacialmente, donde el depósitos de pórfido de Cu-Au emplazados en rocas encajonadas, presentan cada uno al clásico zonamiento de alteración y mineralización prograda y retrograda respectivamente, así como características propias del control de mineralización.

La mineralización económica de Cu-Au, está asociada a la primera intrusión de los pórfidos principalmente en cada depósito a la alta densidad de stockwork de venillas de cuarzo, alteración potásica, filica y la diseminación de sulfuros como calcopirita, pirita, covelita, digenita y calcosita, las recuperaciones metalúrgicas en Chailhuagon varia de 94% a 97% para Cu y 81% a 87% para Au, en Perol de 77% a 94% para Cu y 61% a 86% para Au, estos resultados anticipan el tipo de mineral que alimenta a la planta de flotación y el tratamiento selectivo ajustando los parámetros del proceso, disminuyendo los riesgos en el flujo de procesamiento a lo largo de la vida de la mina.

Rodríguez R. Michael (2017): en su trabajo de "Modelo geometalúrgica de recuperación de cobre por dominios geológicos en Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi", Universidad de Concepción- Chile- Departamento de ingeniería Metalúrgica.

Por la variación que presentaba el modelo de recuperación de Cobre en la Compañía, ha incluido una nueva distribución por dominios geológicos, el modelo de recuperación geometalúrgico de Cu, se basó por UGM desde el yacimiento Rosario,

el cual está caracterizado geológicamente según su mineral, alteración y litología, el investigador incluye la variable dominio geológico, para lograr este objetivo genero una base de datos mediante el muestreo de los diferentes dominios geológicos presentes en el yacimiento Rosario, durante el periodo de 2016 a 2017 y realiza pruebas de análisis químico, molienda y flotación, obteniendo los parámetros químicos, granulométricos y recuperación de Cobre de cada muestra, los datos son procesados por métodos estadísticos obteniendo un modelo geometalúrgico por dominios, así mismo compara los dos modelos, encontrando que el promedio del error porcentual entre el modelo por UGM y la recuperación real es de 3.7% y el modelo geometalúrgico por dominio es de 1.09%, resultando el nuevo modelo con menor variabilidad con lo real.

Montoya L, Andrea (2014): en su trabajo de tesis maestría en ciencias de Geología "Mapeo Geometalúrgico y Modelo de Mina-Estudio de trituración: Estudio caso de la Colosa AMIRA P843A" Universidad de Tasmania-Australia.

La Colosa es un proyecto de mineral pórfido de Au de clase mundial, ubicada en Colombia, el análisis de factibilidad realiza por Anglo Gold Ashanti y proyecto AMAIRA P843A GeMIII, en el desarrollo del proyecto se aplica la geometalúrgia realizando pruebas de caracterización y modelamiento de bloques describiendo la ubicación espacial, de esta manera evalúa la rentabilidad y un diseño operativo minero-metalúrgico.

El objetivo de estudio es mapear la variabilidad de trituración del depósito de Colosa, 92 pozos de perforación diamantina son como base de muestras utilizadas, los cuales se realizaron pruebas de conminución los resultados se relacionan con datos geológicos donde se define los dominios con la cual se define el rendimiento y la viabilidad de trituración del depósito Colosa. En general la dureza de trituración se relaciona con las estructuras del depósito, se identificaron 07 dominios de dureza para la trituración y molienda y se determina como intermedias a duras en términos de trituración y molienda.

2.2 BASES TEÓRICAS.

En la metalurgia extractiva del Oro, es posible encontrar Oro nativo, incluido o asociado en diferentes minerales y en soluciones sólidas, la localización espacial del minera Aurífero son el resultado de proceso geológico que operaron bajo ciertos condiciones en el interior de la corteza terrestre. Esto nos lleva a determinar las características de yacimiento y su mineralización, con la finalidad de determinar las ocurrencias del Oro y su comportamiento frente procesos metalúrgicos.

Los yacimientos minerales son concentraciones naturales de uno o más minerales; surgen como consecuencia de varios procesos geológicos que han operado en un amplio rango de escenarios geológicos, dentro de un ambiente geológico especifico o varios ambientes relacionados entre sí y bajo condiciones similares de temperatura, presión, estructuras que favorecen el flujo de los fluidos mineralizados, disponibilidad de fuentes metalíferas y otros, un proceso particular o la combinación de varios procesos pueden originar concentraciones minerales de características similares.(Eckstrand, O - Sinclair, W. 1996).

2.2.1 Marco Geológico.

Depósito Epitermal.

El término epitermal se deriva de la clasificación propuesta en 1911 por Lindgren en un intento de sistematizar los depósitos minerales hidrotermales (Lindgren, 1911, Henley 1985) en su clasificación genética, define como “depósitos metalíferos formados cerca de la superficie por aguas termales en ascenso y conectados genéticamente con rocas ígneas” en un rango de temperatura de 50°C a 200°C y una profundidad de 1000 m para este depósito, sus deducciones se basaron en los límites de estabilidad de ciertos minerales, como adularias, similares con las texturas de vetas de los depósitos ”hot spring” (ambiente geotermal) y reconstrucciones geológicas.

Según las características químicas de los fluidos mineralizantes en el ambiente epitermal, se pueden clasificar como baja sulfuración (BS) y de alta sulfuración(AS), términos propuestos por Hedenquist (1987) y se refiere al estado de oxidación del azufre, en las de alta sulfuración el Azufre se presenta como S^{+4} en forma de SO_4(oxidado) y de baja sulfuración como S^{-2} en forma de H_2S(reducido), la mineralización epitermal de metales preciosos puede formarse a partir de fluidos

químicamente distintos los de baja sulfuración son reducidos y tiene un pH cercano a neutro (concentración de iones de hidrogeno) y los fluidos de alta sulfuración que son más oxidados y ácidos.

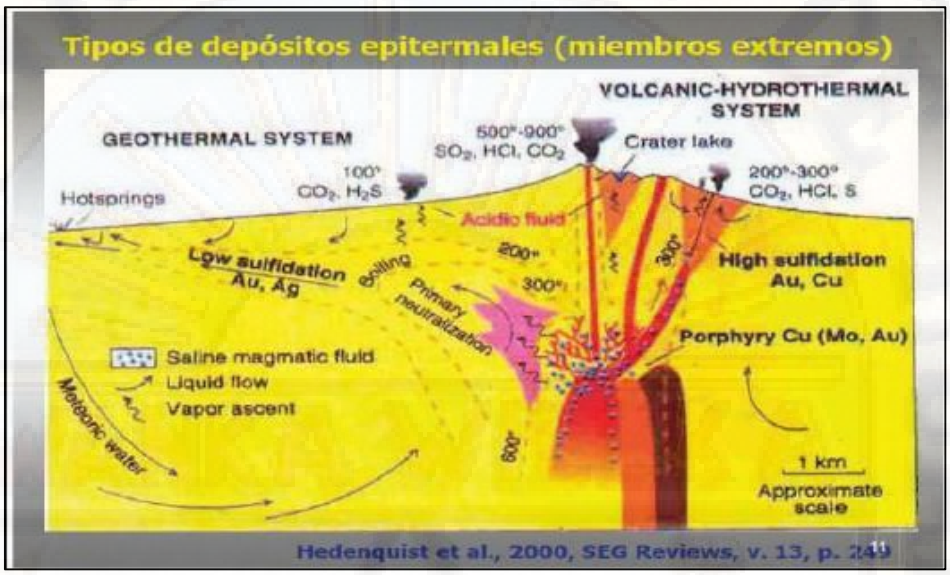


Fig.Nro 1 Yacimientos epitermales (Hedenquist, 2000)

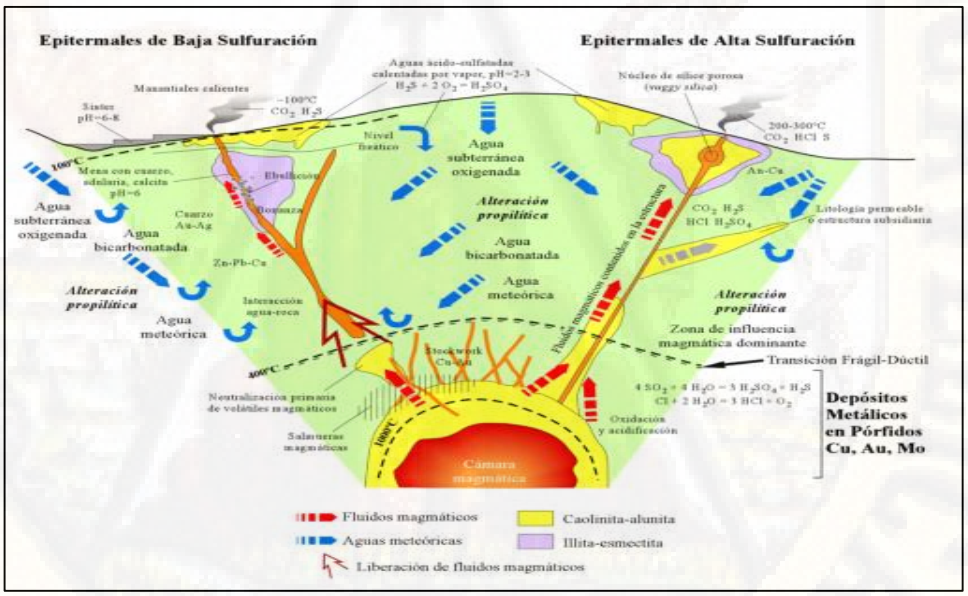


Fig.Nro 2 Esquema conceptual de depósitos epitermales de baja y alta sulfuración. (Camprubi, A.- Gonzales, E. 2003).

Ambos sistemas, aunque presentan diferentes características puede coexistir uno a lado del otro (Hedenquist y Lowenstem ,1994) y (Hedenquist, 2000). El ascenso de los fluidos en ambos ambientes BS y AS es a través de sistemas de fallas y fracturas (control estructura) o a través de estratos permeables, también susceptibles de ser

mineralizados (control estratigráfico). Los fluidos de BS regularmente dan origen a cuerpos de veta o series de vetas, zonas de stockwork o “sheeted veins”, en cambio los de AS con mayor temperatura y acidez alcanzan a penetrar en rocas encajonantes, dando origen a cuerpos mineralizados vetiformes y cuerpos irregulares diseminados, (Camprubi,2006).

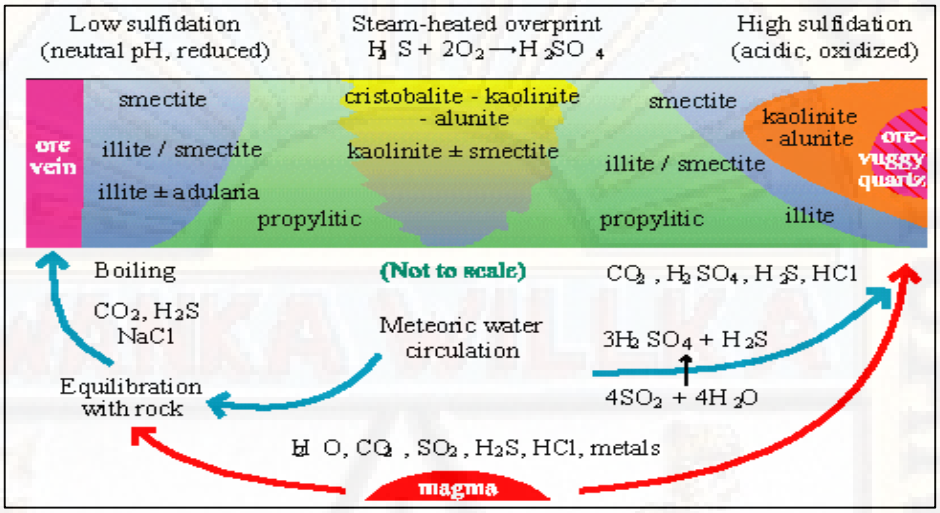


Fig.Nro 3 Esquema de alta y baja sulfuración (Hedenquist, 1987).

Depósitos Epitermales de Alta Sulfuración.

Berger y Henley (1989) propusieron el término de caolinita-alunita, en sustitución de ácido-sulfato para destacar los minerales de alteración característicos en esa nomenclatura. La denominación de alta sulfuración y baja sulfuración fue propuesto por Hedenquist (1987), se basó del estado de oxidación-reducción del azufre en los fluidos geotérmicos. Los depósitos de alta sulfuración o acido sulfato son formados a partir de soluciones acidas, intermedia a baja salinidad y fluidos oxidados (SO_4) como especie dominante, típico de fuentes termales acidas o próximas a volcanes. (Kousmanov, K. 2015).

La mineralización en este tipo de depósitos ocurre a partir de fluidos hidrotermales calientes y ácidos, a profundidades de 1 a 2 Km, la temperatura de los fluidos varia de 100°C a 320°C y pueden alcanzar la superficie como fumarolas (Giggenbach, 1992- Hedenquist,1995), Estos depósitos ocurren ampliamente en los arcos de volcanismo activo ocasionado generalmente por la placa tectónica en subducción, comúnmente se relaciona a volcanismo tipo tras arco (Back Arc) y se ubica en

posiciones intermedias entre intrusiones subvolcanicas y la superficie (Sillitoe,1991). Los sistemas de alta sulfuración y sus minerales de estado de sulfuración relativamente alta se asocian con fluidos ácidos y óxidos formados en un ambiente magmático-hidrotermal adyacente a los volcanes jóvenes. Los componentes reactivos del ambiente de alta sulfuración derivados de una fuente magmática oxidada ascienden a la superficie cercana con poco interacción agua-roca en profundidad, el vapor rico en HCl y SO_2 pueden ser adsorbidos por las agua subterráneas, resultante en un fluido caliente de 200°C a 300°C altamente acido de pH 0-2 y oxidado que reacciona y lixivia ampliamente la roca huésped en agua poco profundos (Hedenquist, 1994).

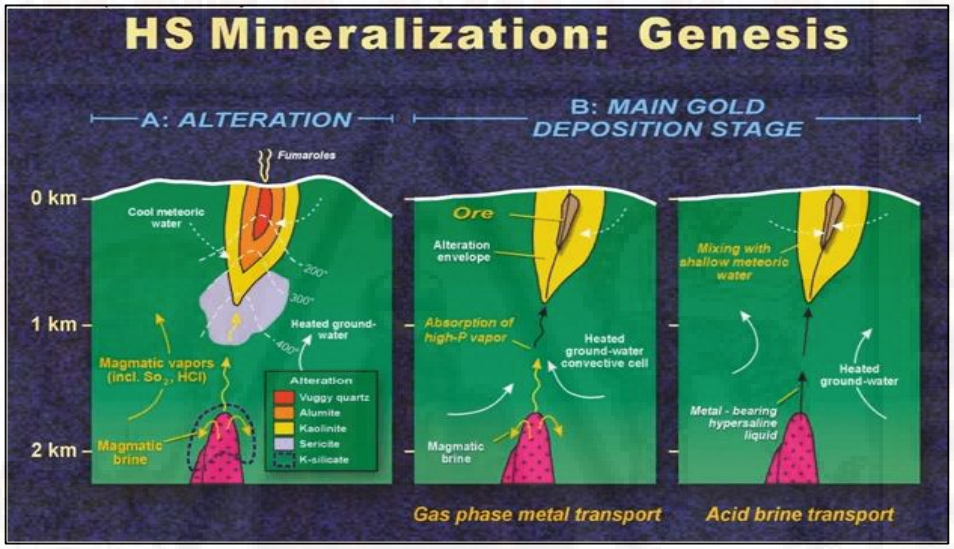


Fig.Nro 4 Modelo de dos etapas para la formación de mineral de alta sulfuración (Arribas, A. 1995).

Este tipo de depósitos presentan un estilo de deposición transicional entre la superficie y desgasificación del intrusivo superficial, en lugares asociados a depositas tipo pórfidos. El cuerpo del mineral generalmente está localizado muy próximo a ventanas volcánicas y son alojadas por conductos estructurales o litología permeable. Los minerales ganga característicos del estado de alta sulfuración son: alto contenido de pirita, enargita, luzonita, digenita, calcosita, famatinita, novelita; y una alteración argílica avanzada caracterizada por cuarzo, cuarzo residual ("vuggy"), alunita, pirofilita y caolinita/dickita (Arribas, 1995- Sillitoe, 1999).

Alteración Hidrotermal.

Es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental en términos químicos y termales, en presencia de agua caliente, vapor o gas. Ocurre este fenómeno atreves de la transformación de fases mineral, crecimiento de nuevos minerales, disolución de mineral y/o precipitación, reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circulo por la misma, aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria, su efecto es menor, debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido, la litología es menos relevante frente a la temperatura y el pH en la asociación mineralógico resultante de los procesos de alteración hidrotermal.

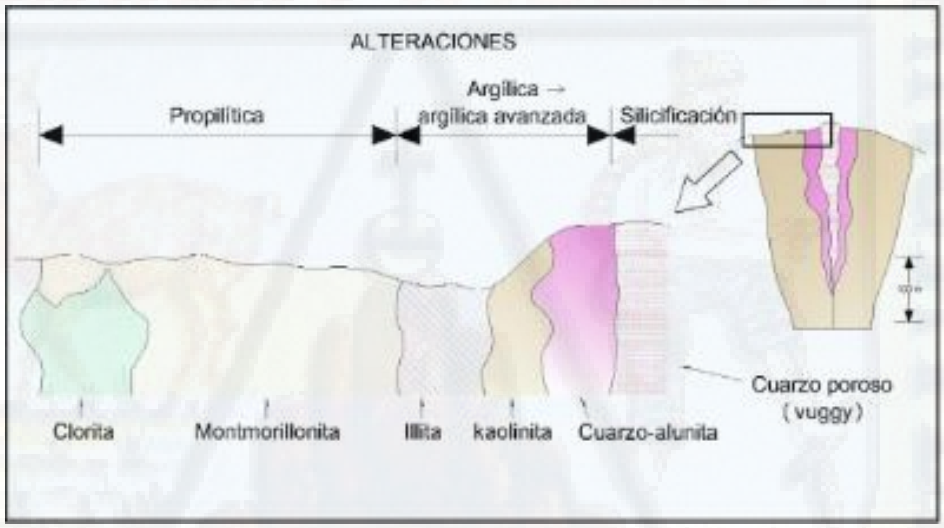


Fig.Nro 5 Sección que muestra el cuerpo mineral de una alteración típica de alta sulfuración (Corbett, 1998).

Los fluidos hipogeos ácidos son generados en el ambiente volcánico-hidrotermal, (Fig. Nro 4), lixivia la roca creando un núcleo residual comúnmente de sílice vuggy que recristaliza a cuarzo. Estas zonas silíceas tienen formas invariables del núcleo de halo de alteración argílica avanzada (Fig. Nro 5), y en el núcleo del fluido pueden servir como un acuífero de subsecuente núcleo de fluido (While, 1981).

La alteración hidrotermal sirve como guía del mineral para indicar el carácter de las soluciones asociadas de los minerales secundarios, La conversión de un ensamble de mineral primario a otra más estable, apropiado a las condiciones de temperatura, presión y composición de los fluidos hidrotermales, la alteración hidrotermal puede

ocurrir antes, durante o después de la deposición de los minerales metálicos (Petersen, U.1999).

Factores que controlan la alteración hidrotermal se menciona:

a. Temperatura: Diferencia de temperatura entre la roca y el fluido: a mayor temperatura el fluido; será mejor el efecto sobre la mineralización original.

b. Composición del Fluido: El grado de acidez no alcalinidad (pH), el estado de óxido–reducción (redox), la fugacidad del oxígeno; mientras más acido es el fluido, mayor será la lixiviación de mineral original.

c. Permeabilidad de Roca: La roca compacta o sin permeabilidad no es atacado por los fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración, sin embargo los fluidos pueden producir fracturas hidráulicas en las rocas o permeabilidad secundaria, otro factor que genera permeabilidad secundaria son los procesos tectónicos.

d. Duración de la interacción Agua /Roca: Mientras mayor volumen de agua caliente circulen por las rocas y por mayor tiempo; las modificaciones mineralógicas será más completas.

e. Composición de la Roca: La proporción de mineral es relevante para grados menos intensos de alteración, dado que los distintos minerales tiene distintas susceptibilidad a ser alterados pero en alteraciones intensas la mineralogía resultante es esencialmente independiente del tipo de roca original.

f. Presión: Este es un efecto indirecto, pero controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición de fluido, fracturamiento hidráulico (generación de brechas hidrotermales) y erupción o explosiones hidrotermales.

Ensambles de Alteración Hidrotermal.

Son grupos de minerales que se han formado contemporáneamente bajo condiciones de equilibrio termodinámico, son geoquímicamente significante porque pueden ser usados para determinar condiciones de formación, se diferencian de las asociaciones de mineral de alteración por que estas se forman en diferentes eventos, con variedad de condiciones termodinámicas, entre los principales se tiene:

a. Alunita- $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$. Fluidos con pH de 1-3.5, forman alunita en un amplio rango de temperaturas (Stoffregen, 1987), se presentan a temperaturas de 350°C a 400°C y corindón a 400°C a 450°C. Se han reconocido cuatro ambientes de formación

(Rye, 1993) en base a los datos isotópicos de S y O, las condiciones de formación de alunita pueden interferir por la cristalinidad, marco geológico y paragénesis mineralógico.

- ***Alunita de tipo Steam Heated***. Se desarrolla en ambientes superficiales debido a la oxidación de H_2S, el cual deriva de un sistema hidrotermal en ebullición, posiblemente la primera ebullición. Es usualmente de grano fino en cristales seudo cúbico y puede encontrarse hasta profundidades de 1 a 1.5 Km.

- ***Alunita Supérgena***. Se desarrolla a partir del ácido sulfúrico originado mediante la oxidación de sulfuros, presentan hábitos seudo circular, pobremente cristalizado, generalmente se encuentra asociadas a otros minerales supérenos como hematita y jarosita, puede encontrarse a profundidades variables.

- ***Alunita Magmática***. Se deriva de fluidos magmaticos, forma cristales euhedrales a subhedrales, rellena fracturas, se encuentra en brechas hidrotermales como matriz o cemento, se relaciona con la mineralización.

-***Alunita de Veta/Brecha Magmática***. Se deriva de fluidos ricos volátiles los cuales ascienden desde una masa fundida en cristales y se presenta en vetas y brechas, en este ambiente se puede formar cristales prismáticos radiales.

b. Pirofilita – $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$. Se origina en las partes profundas de los sistemas de alta sulfuración o en las transiciones de estos hacia los pórfidos a temperatura de 200°C a 250°C, en un rango de pH de 2,5 a 4, coexisten con alunita a pH de 3.5.

c. Sílice. Mineral estable en fluidos de pH<1 (Stofferegen, 1987), la sílice opalina, cristobalita y tridimita ocurren en la parte superficial de un sistema hidrotermal, típicamente a temperatura menores a 100°C, el cuarzo está presente a temperaturas mayores a 100°C, pero se puede formar sílice amorfa de un fluido a 200°C, si este se enfría rápidamente, la calcedonio se forma generalmente a temperatura de 100°C a 200°C.

d. **Alunita-Dickita**. Mineral que se forma en rango de pH de 3.5 a 4.5 y temperaturas de 200°C a 250°C (Stoffregen, 1987), es característico en las zonas de alteración argílica avanzada a lithocap.

e. Kaolinita- $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Mineral que se aprecia a pH moderadamente ácido pH 4, la holloysita (kaolinita hidratada), se presenta principalmente como producto de alteración supérgena, la kaolinita se forma a profundidades someras en condiciones de

baja temperatura 150°C a 220°C (Stoffregen, 1987).

f. Dickita- $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Mineral que se forma en rango de pH 3.5 a 4.5 y temperatura de 200°C (Stoffregen, 1987).

g. Illita. El fluido con pH de 4 a 6, denominan minerales del grupo de illita, coexisten con kaolinita y dickita en pH de 4 a 5 (Sotffegen, 1987), a bajas temperaturas se presenta esmectita 100°C a 150°C, illita mas esmectita a 100°C a 200°C, illita 200°C a 250°C y muscovita a mayores de 250°C.

Alteraciones Hidrotermales en depósitos de Alta Sulfuración.

a. Alteración Silícea: Alteración que se presenta generalmente en la primera etapa de la formación de un sistema de alta sulfuración, se caracteriza por la interacción de fluido hidrotermal acido pH 1-2, con la roca caja (fig. Nro 6, color amarillo), obteniendo las siguientes alteraciones:

- Sílice Granular: Se forma encima de la paleotabla de agua por condensación de H_2S y pH < 2, por disminución de la temperatura se convierte en deleznable de baja densidad y aspecto granular.

- Sílice Vuggy: Se forma dentro de la paleotabla de agua, por condensación de SO_2, con pH < 2, durante el descenso de la temperatura en rocas saturadas con H_2O, esta sílice se obtiene debido a la lixiviación de los componentes primarios de la roca (feldespatos)

- Sílice Masiva: Rocas permeables que tiene la capacidad de almacenar agua o fluidos piroclásticos, por la mescla de fluidos hidrotermales con pH bajo producen la sílice masiva por procesos de lixiviación y reemplazamiento de sílice.

- Sílice Calcedónica: Aparece como fluidización hidrotermal asociado a sílice masiva, muchos autores consideran que es una transición de sílice opalina a sílice masiva (Arrivas, 2005)

b. Alteración Argilica Avanzada: Se forma alrededor de la alteración sílice, manifiesta ensambles de alunita + natroalunita + pirofilita + dickita + kaolonita + zunyita + diáspara. Se forman en pH de 1 a 3.5 (color verde turquesa, fig. Nro 6), esta alteración puede ser coetánea con la mineralización (Deyell, 2005). Los fluidos ácidos que causan alteración argílica avanzada son de tres tipos: Hipóginos, Steam Heated y Supérgenos (Sillitoe, 1993).

- **Alteración Argílica:** Varia en dos rangos de pH, de acuerdo a los ensambles que presenta, en las arcillas como kaolinita, dickita, halloysita, el pH varia de 4 a 5, en las arcillas como illita, esmectita, illita, esmectita, montmorillonita, en pH de 4.5 a 6.

- **Alteración Propilítica:** Se forma en la parte distal del sistema debido a que las soluciones acidas que originan la alteración sílica van neutralizándose al interactuar con la roca caja, por tal razón el pH en que se forman los ensambles de alteración propilítica, clorita + epidota + carbonatos, varían de pH 5.5 a 6.5 (fig. Nro 6, color verde).

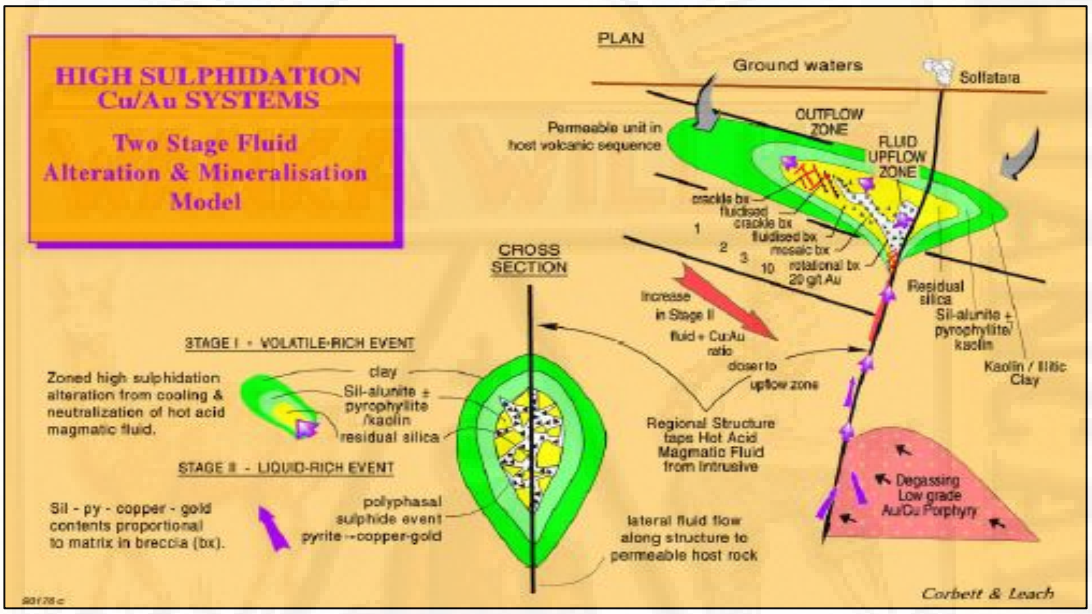


Fig.Nro 6 Modelo de alteración y mineralización en sistema de alta sulfuración (Corbett-ProExplo, 2005)

Es importante distinguir los términos de alteración silícea y silicificación, la alteración silícea se produce por la lixiviación acida, mientras la silicificación es ocasionado por la introducción de sílice en las rocas, ambos procesos se manifiestan en los depósitos o yacimientos de alta sulfuración, en la mayoría de los depósitos de alta sulfuración la principal etapa de mineralización de Oro ocurre durante la silicificación parcial o total de la alteración sílica.

2.2.2 Marco Metalúrgicos.

Principios termodinámicos y cinéticos de la cianuración del Oro.

Para comprobar los mecanismos fisicoquímicos de la lixiviación del Oro y la Plata, es

necesario recurrir a una revisión de sus principales propiedades termodinámicas y en particular de sus estado estables y meta-estables, representados clásicamente en los diagramas de Pourbaix, que relacionan el potencial de óxido – reducción (Eh) del metal con el pH del medio.

Para el oro se tiene:

$Au^{+} + e \longrightarrow Au^{o}$ $\quad e_{th} = 1.83 - 0.0591 \log[Au^{+}]$

$Au^{3+} + 3e \longrightarrow Au^{o}$ $\quad e_{th} = 1.52 - 0.0197 \log[Au^{3+}]$

$Au(OH)_3 + 3H^{+} + 3e \longrightarrow Au^{o} + 3H_2$ $\quad e_{th} = 1.457 - 0.0591pH$

$AuO_2 + H_2O + H^{+} + e \longrightarrow Au(OH)_3$ $\quad e_{th} = 2.630 - 0.0591pH$

Para la zona de estable del agua se tiene:

$2H_2O + 2e \longrightarrow 2OH^{-} + H_2$ $\quad e_{th} = 0.0591 - 0.0295 \log P.H_2$

$O_2 + 4H^{-} + 4e \longrightarrow 2H_2O$ $\quad e_{th} = 1.228 - 0.0591\ pH + 0.0147 \log P.O_2$

Se agrega NaCN al agua se obtiene la siguiente relación de equilibrio

$$\log[CN^{-}] = \log[NaCN]_{total} - \log\{1 + 10^{(pH-9.4)}\} + pH-9.4$$

Esta relación se usará para construir diagrama $Au\text{-}CN^{-}$ - H_2O

La reacción que sucede al reaccionar el Oro con los iones CN^{-} , se da en la siguiente ecuación:

$Au^{+} + 2CN^{-} \longrightarrow AuCN_2^{-}$ $\quad P.CN = 19 + 0.5\log [Au^{+}]/ [Au (CN)_2]$

$AuCN^{2-} + e \longrightarrow Au^{o} + 2CN^{-}$ $\quad e_{th} = -0.96 - 0.12 \log [CN^{-}]$

Además, considerando la siguiente reacción:

$CNO^{-} + 2H^{+} + 2e \longrightarrow CN^{-} + H_2O$ $\quad e_{th}=-0.144-0.06\ pH+0.03 \log(CNO^{-}/CN^{-})$

La Fig. Nro 7, muestra que compuestos como $Au(OH)_3$, AuO_2, $HAuO_3^{2-,}$ el ión Au^{+3} requieren elevados potenciales redox (superiores a la descomposición del oxígeno) para formarse, la lixiviación del Oro metálico es difícil a causa de su gran estabilidad.

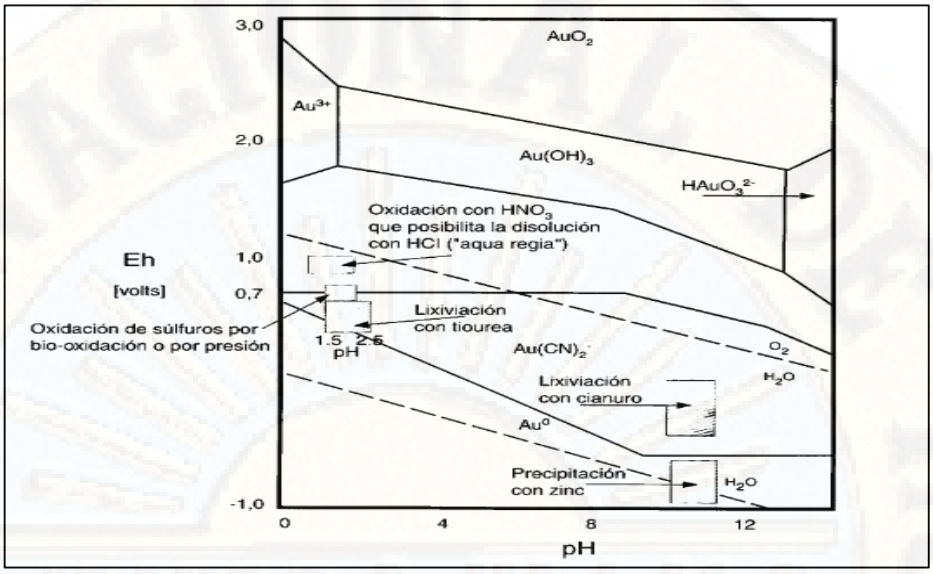


Fig.Nro 7. Diagrama Eh/pH para el oro y el Auro-cianuro (E. Domic, 2001).

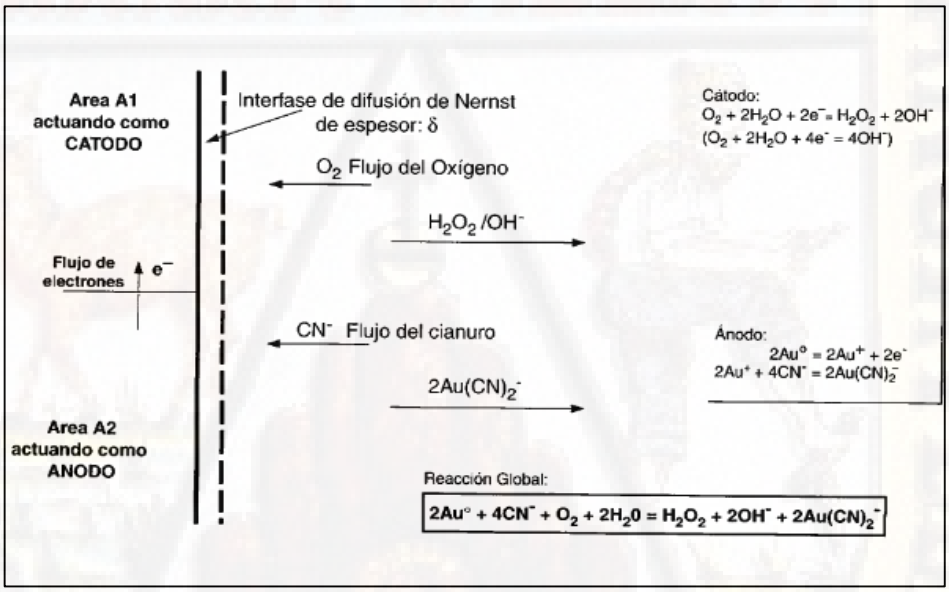


Fig.Nro 8 Ilustración Proceso de disolución del Oro (E. Domic, 2001).

Solubilidad de Oro en soluciones de cianuro.

Hay muchas teorías que tratan de explicar los mecanismos de disolución de Oro en soluciones de cianuro, pero las más aceptadas son las siguientes:

a. Teoría de Elsner's (1846). Es el primero en reconocer que el oxígeno es necesario para la disolución de Oro en soluciones de cianuro:

$$4Au + 8NaCN + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4NaAu(CN)_2 + 4NaOH$$

b. Teoría de Janin (1882, 1892). No acepta el hecho de que el oxígeno es esencial para la disolución y está convencido de que el hidrógeno está involucrado durante el proceso de acuerdo a la reacción siguiente:

$$2Au + 4NaCN + 2H_2O \longrightarrow 2NaAu(CN)_2 + 2NaOH + H_2$$

c. Teoría de Bodlander (1896). Sugiere que la disolución del Oro tiene lugar en dos etapas de acuerdo a las reacciones siguientes:

$$2Au + 4NaCN + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2NaAu(CN)_2 + 2NaOH + H_2O$$

$$H_2O_2 + 2Au + 4NaCN \longrightarrow 2NaAu(CN)_2 + 2NaOH$$

Como se puede observar que Bodlander propone la presencia de un producto intermedio que es el peróxido de hidrogeno, la reacción total de estas dos etapas es la reacción de Elsner's.

d. Teoría del Cianógeno, Christy (1896). Sugiere que el oxígeno necesario para la disolución del cianuro, libera gas cianógeno y considero que este gas es el agente lixiviante del oro:

$$\frac{1}{2}O_2 + 2NaCN + H_2O \longrightarrow (CN)_2 + 2NaOH$$

$$2Au + 2NaCN + (CN)_2 \longrightarrow 2NaAu(CN)_2$$

e. Teoría del Cianato (CNO^-), MacArthur (1905). Sugiere que si el oxígeno es necesario para la disolución, el oxígeno oxidaría al cianuro a cianato y que este era el agente lixiviante del Oro. Esta teoría es refutada por Green (1913), quien demostró que el cianato no tiene ninguna acción sobre el Oro.

Termodinámicamente Barsky determinó la energía libre de formación de los complejos iónicos aurocianuro, con estos datos calculo los cambios de energía libre de varias reacciones sugeridas. Estos cálculos favorecieron la teoría de Elsner's y Bodlander, en el caso de la teoría de Janin se refuto termodinámicamente.

f.- Teoría de la Corrosión, Boonstra (1943). Es el primero en reconocer que la disolución de Oro en soluciones de cianuro es similar a un proceso de corrosión metálica, en que el oxígeno disuelto en la solución es reducida a peróxido de hidrógeno

e ion hidroxilo, este postulado a la teoría de Badlander podría dividir en los siguientes pasos:

Reducción Catódica:

$$O_2 + 2H_2O + 2e \longrightarrow H_2O_2 + 2OH^-$$

$$H_2O_2 + 2e \longrightarrow 2OH^-$$

Oxidación Anódica:

$$Au^o \longrightarrow Au^+ + e$$

$$Au^+ + CN^- \longrightarrow AuCN$$

$$AuCN + CN^- \longrightarrow Au(CN)_2^-$$

Este postulado es posteriormente demostrado experimentalmente por Thompson (1947), quien demostró este hecho utilizando para ello pequeñas esferas de Oro.

g. F. Habashi (1966-67), demostró que el proceso de disolución de Oro en soluciones de cianuro es de naturaleza electroquímica de acuerdo a la reacción total siguiente:

$$2Au + 4NaCN + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2NaAu(CN)_2 + 2NaOH + H_2O_2$$

Síntesis del proceso de cianuración.

Se menciona:

a. La velocidad de disolución del Oro involucra reacciones heterogéneas que tiene lugar en la interface sólido-liquido.

b. Las reacciones en la superficie son de naturaleza electroquímica.

c. La cinética puede ser controlada tanto por la concentración de oxigeno como por la concentración de cianuro en la superficie del Oro.

d. El proceso de disolución es un proceso controlado por la difusión, donde la relación cianuro a oxigeno es más importante.

e. La presencia de impurezas puede llevar a la perdida de reactivos, sea de cianuro, oxigeno o de ambos la formación de una película que pasiva a la superficie del Oro.

f. Por el contrario en algunos casos determinadas impurezas pueden provocar una activación de la superficie de esta forma aumenta la velocidad de extracción del Oro.

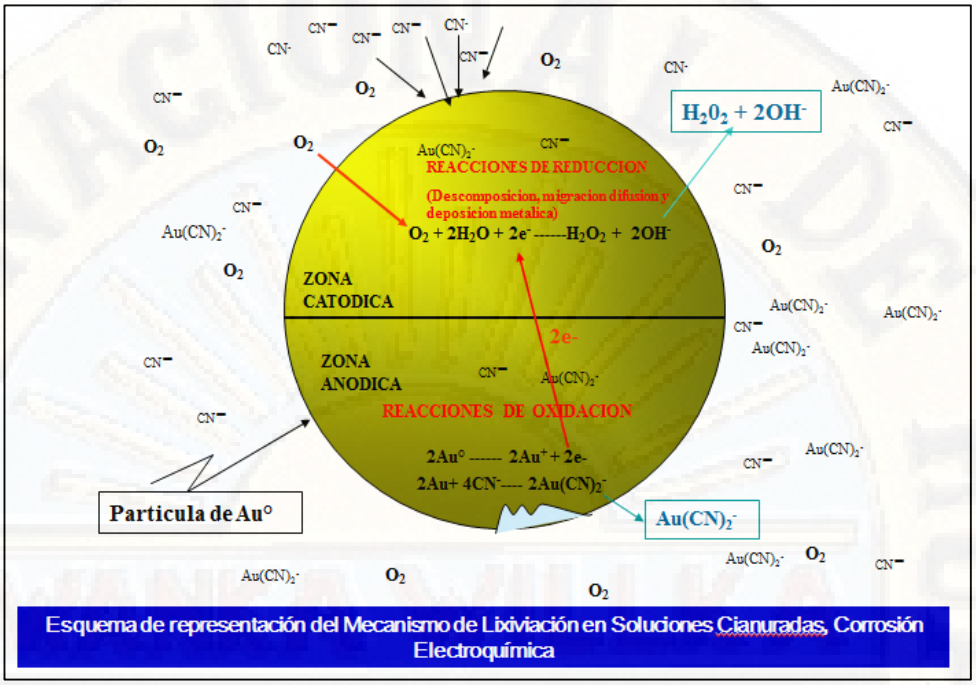


Fig.Nro 9 Ilustración proceso de cianuración de Oro (Dpto. Metalurgia -minera Yanacocha, 2007).

2.2.3 Lixiviación en pilas (Heap Leaching).

La lixiviación en pilas es un método de bajo costo, que se adecua para el tratamiento de minerales de baja ley, que no justifican los altos costos de la molienda y la lixiviación por agitación. Los minerales pueden tratarse en tamaño directo de mina o de material triturado, con un tamaño óptimo determinado mediante una comparación entre la extracción del Oro y los costos de trituración. Los requerimientos de manipulación del mineral también pueden jugar un papel importante en la optimización del tamaño de la partícula para la lixiviación en pilas, las partículas de mayor tamaño pueden ser difíciles de transportar con sistemas de transporte, este es un factor importante en situaciones donde el transporte representa un costo mayor.

Los procesos se aplicaron por primera vez a una escala comercial en 1971 en Carlin mine (Nevada) y se basó en el trabajo de desarrollo del U.S. Bureau of Mines en Salt Lake City a finales de 1960 y en Carlin Site, desde aproximadamente 1968. En Carlin, se ubicaba el mineral triturado (nominalmente <18mm) en las pilas, a una velocidad de cerca de 350 tpd durante los seis meses más cálidos del año. Se obtuvo una extracción del Oro de aproximadamente 65% con consumos de cianuro y cal de 0.05 y 0.50 kg/t, respectivamente. Hoy en día, las pilas del mineral triturado y las

operaciones de lixiviación directas de mina; operan casi en todo el mundo, se procesan grandes cantidades de toneladas de mineral (>200 000 tpd en algunos casos) a grandes altitudes y en climas severos.

El Termino "Heap Leaching" es un término usado para describir el proceso hidrometalúrgico de remoción de metales contenidos en minerales de baja ley, mediante el paso de una solución a un ratio relativamente bajo a través de una pila o rumas de mineral, la solución conocida como lixiviante, es químicamente formulada para reaccionar con el mineral a un nivel microscopio con el fin de disolver los metales valiosos.

Factores influyentes en la velocidad de disolución del Oro en minerales Auríferos en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación.

El proceso de cianuración en pilas de lixiviación (Heap Leaching) está gobernado por una serie de factores tanto físicos como químicos que afectan la máxima extracción posible del metal valioso, se puede mencionar las siguientes:

a. Tamaño de grano del mineral: La fragmentación del mineral en algunos casos es determinante en el proceso de lixiviación en pilas, a tamaños menores de grano se aumenta la superficie del contacto entre el mineral y la solución cianurada, favoreciendo la velocidad de disolución por difusión del Oro, para alcanzar tamaños menores se utiliza operaciones de trituración que se debe evaluar la factibilidad económica viable.

La cinética del proceso de cianuración del Oro está controlada por la difusión de la solución cianurada y saturada con oxígeno, a través de la porosidad e intersticios del mineral por donde fluye la solución cianurada, este fenómeno denomina percolación.

b. Presencia de arcilla: En los procesos de lixiviación en pilas es importante tener un lecho de mineral que permita la percolación de la solución cianurada uniformemente a través del lecho del mineral, para obtener las velocidades de percolación se debe evaluar la presencia de arcilla para evitar la formación de encharcamiento o anegamiento en la superficie de la pila y consecuentemente la restricción del contacto de la solución cianurada en el mineral del lecho.

c. Flujo de riego: Es un factor predomínate en la extracción de Oro en pilas de lixiviación, donde existe dos tipos de riego de mineral, riego por goteo y riego por

aspersión, en cada sistema se lleva el control por modulo, para alcanzar la razón de riego de mineral en pilas es directamente afectado por cantidad de finos existentes y la percolabilidad del mineral, la razón de riego conlleva a determinar el tiempo o ciclo de regado del mineral en la pila de lixiviación.

d. Alcalinidad de la solución cianurada: Está relacionado directamente con el pH de la solución, el mineral debe estar libre de compuestos que formen ácidos con la solución cianurada como resultantes de la descomposición de los diferentes minerales y libre de cianicidas o sustancia que destruyen el cianuro o interfieren con la reacción básica de la cianuración de Oro, tales como los sulfuros parcialmente oxidados de fierro (pirrotita) de Cobre y Arsénico.

e. Elementos nocivos al proceso de cianuración: Se menciona la presencia de carbonaceos y contenido orgánico presentes en el mineral a tratar estos elementos por la presencia de carbono forman el efecto Pre-robbing (adsorción del Oro de la solución cianurada).

f. Concentración de cianuro de sodio: La concentración ideal del cianuro en la solución lixiviante será tal, que al emplearse un determinado tiempo o ciclo de lixiviación se evitara la disolución de los contenidos de Plata que acompañan al mineral, así como los otros elementos presentes como los minerales de Fierro, Cobre, Arsénico, Zinc y otros. La concentración de cianuro está determinada también por el contenido del Oro presente en el mineral, para determinar el tiempo o ciclo de lixiviación y alcanzar la máxima extracción del Oro.

g. Recuperación Metalúrgica: Factor importante en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación, se puede resumir como el Oro total existente en el mineral y el Oro soluble en una solución alcalina y diluida de cianuro de sodio, este factor también está afectado por la composición mineralógica del mineral que pueda presentar mineral carbonaceo, orgánicos y arcillosos.

2.2.4 Caracterización Geometalúrgica.

Geometalúrgica.

La geometalúrgia es una disciplina que integra a la ciencia extractivas de mineral, permite identificar y clasificar a los minerales según su comportamiento frente a determinados procesos metalúrgicos. Se consigue con ello planificar y dirigir más

eficientemente los procesos de valorización de un recurso mineral y su explotación (Canepa, C. 2009). Esta disciplina empieza con minas grandes de Cobre en los años 1998 a 2002, juntamente con nuevas minas de mayor tamaño, falla de proyectos por falta de estudios adicionales, geólogos y mineros desarrollan software con cálculos a nivel de bloques, bajo costo de pruebas metalúrgicas, exigencia de mayor confiabilidad en los procesos, plantas metalúrgicas con equipos mayores que no son optimizados por falta de control en la alimentación, nuevas tecnologías como QemSCAN, ICP, SMC, SPI y otros.

La geometalúrgia se ocupa de maximizar el valor de los recursos minerales, mientras se reduce los riesgos técnicos operativos asociados al procesamiento del mineral, para lograr este objetivo busca caracterizar y modelar la variable espacial de las variables del yacimiento que está relacionado con el desempeño metalúrgico, como resultado se obtiene un modelo espacial de las variables geometalúrgico que provee una base útil para sustentar la planificación minera y el diseño óptimo de los procesos metalúrgicos (Dunham-Vann, 2007).

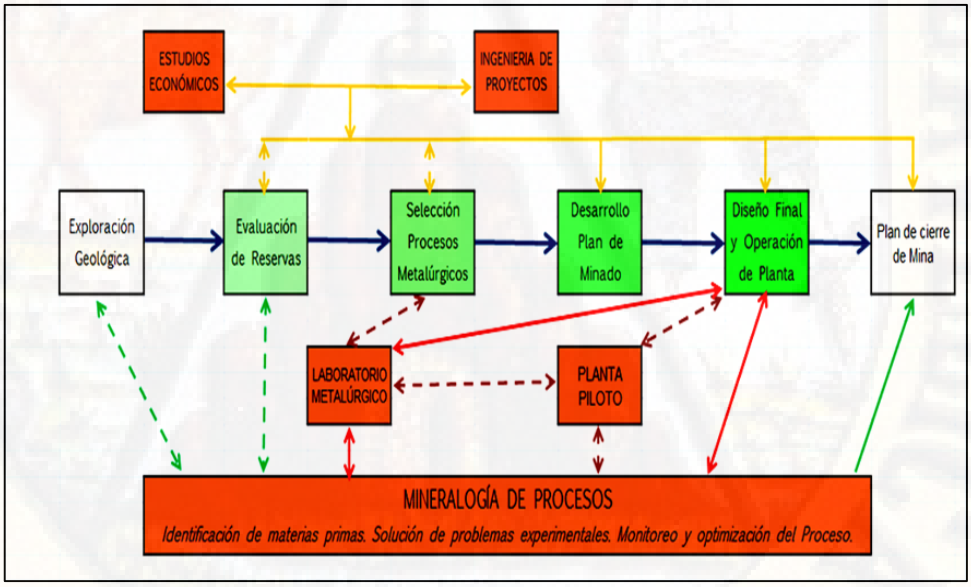


Fig.Nro 10 Geometalúrgia: interrelación dinámica, estructural y secuencial (Canepa, C. 2009).

La caracterización geometalúrgica clasifica los minerales dentro de un yacimiento según su comportamiento frente a un proceso metalúrgico donde incluye las variables menos tradicionales: contenido mineralógico, grado de liberación del mineral, tipos de reacción que ofrece a procesos de extracción, consumo de reactivos, recuperación

metalúrgica, percolabilidad, fragmentación, saturación; todo ello con la finalidad de asociar un tratamiento correspondiente esperado para obtener el mayor extracción del mineral valioso. La geometalúrgia como elemento básico, combina la información geológica y metalúrgica para crear un modelo de carácter predictivo de base espacial para la planta de procesamiento de minerales que utilizará en la etapa de producción (Lamberg, P. 2011).

En la etapa de estudio de factibilidad de un yacimiento minero, una correcta caracterización y un modelamiento geometalúrgico proporciona elementos valiosos para establecer el proceso metalúrgico para el mineral, de esta manera se reduce los riesgos asociados al desarrollo de nuevas ampliaciones y/o modificaciones. En la etapa de proceso metalúrgico, la geometalúrgia permite mejorar la comunicación entre el geólogo, planificadores mineros y metalurgistas, para comprender el valor del depósito, con esto se reduce el riego e incertidumbre del control de la ley, minado y el % de extracción del mineral valioso.

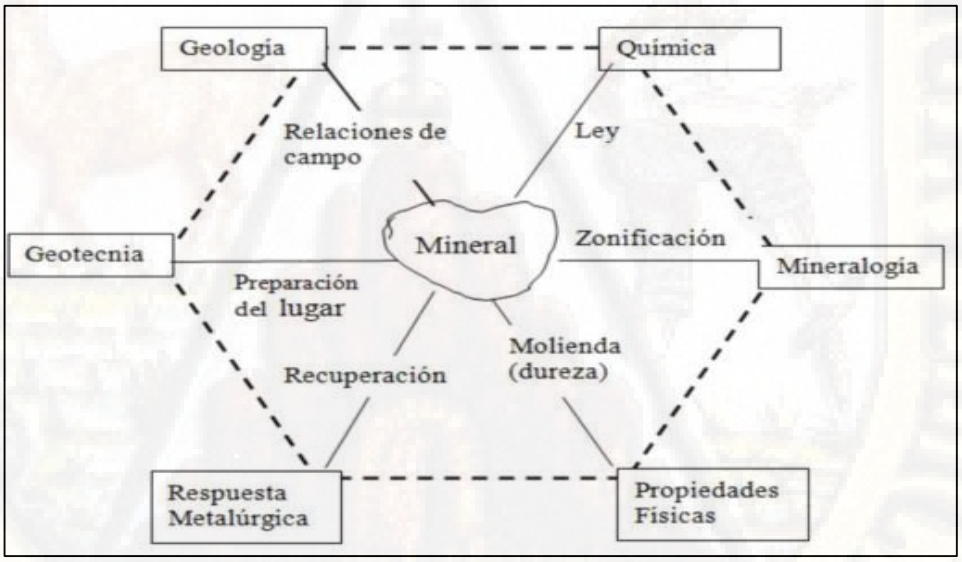


Fig.Nro 11 Disciplina y sus interacciones en la caracterización geometalúrgica (Alfaro, E. 2014).

2.2.5 Modelo Geometalúrgico.

El modelo geometalúrgica asocia las características metalúrgicas con el mineral y sus características litológicas, donde debe conducir a la creación de una matriz que incluya la geología, mineralogía y condiciones de extracción de mina y parámetros metalúrgicos que se utilizan en el planeamiento minero y diseño de procesos. (Alfaro, E. 2013).

Un programa geometalúrgico corresponde a una serie de procedimientos mediante el cual se construye e implementa un modelo geometalúrgico (Deutsch, 2013). El modelo de bloque geometalúrgico introduce técnicas de evaluación mineralógica asociadas a los procesos metalúrgico, respuesta de las diversas variables metalúrgicas e introduce en la definición de bloque geometalúrgico, en este modelo se caracteriza sus diversas propiedades, tanto geológicas como metalúrgicas, ello permite tener el registro completo del yacimiento de modo que el rendimiento metalúrgico y su valor económico queden determinado antes de que el mineral ingrese al proceso metalúrgico.

Fig.Nro 12 Modelamiento geometalúrgico de bloques (Canchaya, S. 2017).

El modelo geometalúrgico debe conducir a la creación de una nueva matriz que incluya la geología, mineralogía, condiciones de extracción de mina y parámetros metalúrgicos que se utilizaran en el planeamiento mineros y el diseño de las operaciones y procesos unitarios.

2.3 HIPÓTESIS.

2.3.1 Hipótesis General.

La caracterización geometalúrgica del mineral influye significativamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca-Ayacucho 2018

2.3.2 Hipótesis Específico.

La característica mineralógica, física y química del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca influye directamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación.

El comportamiento metalúrgico es la respuesta del mineral al proceso de cianuración en pilas de lixiviación del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

Formulación de las hipótesis estadísticas:

Ho: La caracterización geometalúrgica del mineral no influye significativamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca-Ayacucho 2018

Ha: La caracterización geometalúrgica del mineral influye significativamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca-Ayacucho 2018

2.4 DEFINICIONES.

Alteración Hidrotermal: Respuesta mineralógica textural y química de las rocas a cambios fisicoquímicos y termodinámicos de los fluidos hidrotermales (Maksaev, V. 2001). La alteración hidrotermal es un tipo de metamorfismo que involucra la re-cristalización de la roca a un nuevo mineral más estable bajo las condiciones hidrotermales, las características distintivas de la alteración hidrotermal es la importancia del fluido hidrotermal en trasferir constituyentes y calor, también involucra la circulación de volúmenes grandes de fluidos calientes atravesando la roca permeable debido a la presencia de fisuras o poros interconectados.

La alteración hidrotermal sirve como guía del mineral para indicar el carácter de las soluciones asociadas de los minerales secundarios, La conversión de un ensamble de mineral primario a otra más estable, apropiado a las condiciones de temperatura, presión y composición de los fluidos hidrotermales, la alteración hidrotermal puede ocurrir antes, durante o después de la deposición de los minerales metálicos (Petersen, U.1999).

Cianuración de Oro: Proceso de MacArthr-Forrest, técnica metalúrgica aplicada para

la extracción de Oro del mineral de baja calidad, que busca convertir el Oro insoluble en agua a aniones metálicos complejos de aurocianuros solubles en agua, mediante el proceso denominado lixiviación.(Habashi, F.1967).

El principio básico de la cianuración de Oro y Plata es que la solución alcalina débil tiene una acción directa disolvente preferencial sobre el Oro y la Plata contenidos en el mineral, la reacción enunciada por Elsher 1846 es la siguiente:

$$4Au + 8NaCN + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4NaAu(CN)_2 + 4NaOH$$

La química involucrada en la disolución de Oro y Plata en el proceso de cianuración en pilas es la misma aplicada en los procesos de cianuración por agitación.

Lixiviación: Proceso en que los valores metálicos contenidos en un mineral son transferidos selectivamente y completamente, tanto como sea posible, del estado sólido al líquido, dejando la ganga en la forma sólida para la separación subsecuente. El líquido que lixivia es normalmente una solución acuosa de un reactivo que reacciona con facilidad con el mineral pero no con la ganga. Es una solución acuosa que contiene disuelto algún reactivo químico o especie capaz de reaccionar con el mineral útil a fin de solubilizarlo (Lovera, D. 1999).

La lixiviación es tratar una sustancia compleja, como un mineral con disolvente adecuada para separar las partes solubles de las insolubles, de este proceso se distingue distintos métodos de operación que se eligen según factores técnico y económico en el análisis de un proyecto, de las que se pueden distinguir; ley de la especie de interés a recuperar, caracterización mineralógicas y geológicas, comportamiento metalúrgico, costo de operación, capital y otros.

Mineralización: Proceso mediante el cual los minerales son introducidos a la roca, dando como resultado la formación de yacimiento minerales de rendimiento económico (Dávila, J. 2011).

La mineralización se refiere a depósito de mineral económicamente importante en la formación de cuerpo de mena o filones por varios procesos. (Embrey, P. 1987).

Resistencia a la compresión Uniaxial (UCS). La resistencia a la compresión uniaxial es una propiedad mecánica de falla de las rocas y numéricamente nos indica la dureza y la fuerza máxima que soporta antes de su fractura. (Acevedo A, David 2009).

La (UCS) se refiere al esfuerzo máximo en la dirección de un solo eje axial que puede soportar una roca antes de romperse. Este ensayo permite determinar a nivel de laboratorio el valor de la resistencia uniaxial no confinada de la roca o resistencia a la compresión simple (UCS) y su constante elástico. La resistencia a la compresión uniaxial es inversamente proporcional a la porosidad, ya que cuando un esfuerzo de sobrecarga aumenta, la roca se vuelve más compacta y resistente a la fractura.

Solución Solida: El soluto puede incorporarse dentro de la estructura cristalina del disolvente bien mediante sustitución, reemplazando cada átomo del disolvente por un átomo del soluto y formara una solución solida sustituible, también de forma intersticial, encajándose los átomos de soluto dentro del espacio que existe entre los átomos del disolvente. Ambos tipos de solución solida afectan a las propiedades del material ya que distorsionan, aun sea poco la estructura cristalina y perturban la homogeneidad física y eléctrica del material. (Callister, W. 2006).

Una solución solida es una estructura mineral en la cual las posiciones atómicas especificas están ocupadas en proporciones variables por dos o más elementos químicos, sin embargo el mineral como sustancia pura es un hecho excepcional, en su mayoría los minerales presentan una variación amplia en su composición química y esta variación es el resultado de la sustitución de una determinada estructura de un ion o grupo de iones, por otro ion o grupo iónico.

Los factores principales que determinan la proporción de la solución sólida que tiene lugar en una estructura cristalina son, el tamaño relativo de los iones o átomos, la carga de los iones que intervienen en la sustitución y la temperatura a la cual tiene lugar la sustitución.

Yacimiento Mineral: Concentración local de una o más sustancias minerales útiles y de rendimiento económico, incluye por lo tanto a los minerales propiamente dichos como a sustancias naturales, así como también a los fósiles (carbón, petróleo, etc) (Dávila J. 2011).

Los yacimientos minerales son concentraciones naturales de uno o más minerales, surgen como consecuencia de varios procesos geológicos que han operado en un amplio rango de escenarios geológicos. Dentro de un ambiente geológico especifico o en varios ambientes relacionados entre sí y bajo condiciones similares de

temperatura, presión, estructuras que favorecen el flujo de los fluidos mineralizados, disponibilidad de la fuente metalífera, etc., un proceso particular o la combinación de varios procesos pueden originar concentraciones minerales de características similares.

Los yacimientos minerales son procesos que llevan a la diferenciación de un a magma o la formación de una roca sedimentaria o metamórfica implica en ocasiones transformaciones profundas química-mineralógica. Es durante el curso de estos procesos que algunos elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente, muy por encima de sus valores "anómalos" para un tipo determinado de roca, dando origen concentraciones anómalas que se denomina yacimientos minerales.

2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.

2.5.1 Variable Independiente.

Características geometalúrgica de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

2.5.2 Variable Dependiente.

Proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Cuadro Nro 1 Operación de Variable.

Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Sub Dimensión	Indicador
Independiente Características geometalúrgica de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca	La geometalúrgia es una disciplina que integra a geología, metalurgia y operaciones mineras que permite identificar y clasificar a los minerales según su comportamiento frente a un procesos metalúrgicos y las distribución de estos parámetros a lo largo del yacimiento usando técnicas geoestadístico aceptadas para soportar el proceso de modelamiento geometalúrgico.	Caracterización mineralógica.	- Alteración de yacimiento - Litología del yacimiento - Especies mineralógicas	- Clasificación de Alteración - Clasificación de Litología - % de especies mineralógicos.
		Caracterización físico-química	- Dureza del mineral - Saturación del mineral. - Fragmentación de mineral. - Contenido de Oro	- Resistencia Uniaxial de roca - % de Saturación del mineral - Análisis de P_{80} - Ley Mineral
		Caracterización metalúrgicas	- Cianuración de mineral. - Consumo de reactivos	- Concentración de NaCN. - Tamaño de partícula mineral - % Extracción máxima de Au. - Razón de riego (Liquido/Solido) - Consumo de CaO - Consumo de NaCN.
Dependientes Proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.	Carl Wilhelm (1783), descubre que el Cianuro podía disuelve el Oro, así nace una nueva tecnología, los fundamentos que gobiernan el mecanismo de la reacción de la cianuración, permiten fijar las condiciones y parámetros de proceso de cianuración.	Proceso de Cianuración por percolación en pilas de lixiviación.	- Lixiviación de mineral por percolación. - Consumo de Cal - Consumo de Cianuro de sodio.	- % Extracción Au - Tiempo de cianuración - Velocidad de percolación. - Ratio Cal (kg/t). - Ratio NaCN(kg/t)

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Aplicada:

La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo, esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose de los enlaces entre la teoría y el producto.

La investigación aplicada tiene por objetivo la generación de conocimientos con aplicación directa y a mediano plazo en la sociedad o en el sector productivo. Este tipo de estudio presenta un gran valor agregado para la utilización del conocimiento que proviene de la investigación básica.

3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

a. Nivel Descriptivo Correlacional: debido a que se recolecta y evalúa diversos aspectos, dimensiones o componentes en la caracterización geometalúrgica y se establecer el grado de relación o asociación no causal existente entre las variables de caracterización geometalúrgico y proceso de cianuración en pilas de lixiviación del mineral del yacimiento Ayahuanca.

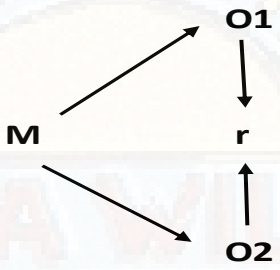
b. Nivel explicativo: está dirigido a responder la causa de los eventos por qué sucede un fenómeno y en qué condiciones se da este y por qué las variables están relacionadas.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

Método Científico Experimental: Utiliza como proceso lógico la inducción y la deducción, consiste en realizar actividades con la finalidad de comprobar, demostrar ciertos fenómenos hechos o principios en forma natural o artificial de tal forma que permita establecer experiencias para formular hipótesis que permitan a través del proceso científico conducir a generaciones científicas, que puedan verificar en hechos concretos.

3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Diseño Descriptiva-Correlacional: busca encontrar el grado de relación entre las variables de caracterización geometalúrgica y proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.



Donde:

O1 = Características geometalúrgica de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca

O2 = Proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

M = Muestra

r = Relación entre las dos variables

3.5 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.

a. Población: Pertenece al ámbito espacial del proyecto Ayahuanca con titularidad de la concesión minera Ayahuanca 476 y Ayahuanca 477 con una extensión del yacimiento Aurífero epitermal de alta sulfuración de 20 hectáreas.

b. Muestra: Se utiliza por la población no homogénea un muestreo estratificado, el procedimiento consiste en dividir la población en estratos y seleccionar una muestra simple o sistemática dentro de cada uno; con el fin de obtener su respectiva representatividad.

Para determinar la cantidad de muestra se utiliza el método de Richard Czeczott, que considera con base estadística para calcular la constante K, que está relacionado a su

vez con el coeficiente de variación del yacimiento, tomando en consideración en la ecuación el tamaño máximo de partículas del mineral.

$$Q = D^2.K$$

Donde.

Q = Cantidad de muestra en Kg

D^2 = Diámetro de partículas de mineral mm

K = Constante que depende del yacimiento

Para nuestros estudios se considera como tamaño máximo de partícula de mineral Aurífero de 6", y el valor de K de 0.8 para sílice granular compacto; 0.7 para sílice masiva y 0.6 para sílice granular deleznable.

c. Muestreo: Probabilístico por las características de la investigación.

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

a. Compilación de información: Se realiza una compilación y evaluación de información básica e inicial de: Mapas, cartografiado geológico a escala distrital y local, planos e informes geológicos, donde se detalla el cuerpo mineralizado, alteración, litología e informe de factibilidad metalúrgica del yacimiento Ayahuanca.

b. Trabajo de Laboratorio: Los trabajo de laboratorio de carácter experimental se realizan en las instalaciones de Laboratorio Químico y Metalúrgico de minera Apumayo SAC, para la caracterización física se realiza pruebas de velocidad de percolación, % saturación, densidad aparente, P_{80}, % de partículas finas y resistencia uniaxial, el análisis químico de muestras sólidas y liquidas generadas en la investigación es analizada por contenido metálico, acidez del mineral, concentración de cianuro de sodio y pH de la solución lixiviante.

- Menor escala: (muestra a malla -200) se realiza pruebas flash y botellas a muestras de perforación diamantina, muestras iniciales de prueba a mayor escala, muestras especiales y especifico, para determinar extracción Au, consumo de reactivos de cianuro de sodio y cal, concentración de cianuro optimo, alcalinidad del medio.

- Mayor escala: (muestra ROM) se realiza pruebas de columnas grandes a muestras seleccionadas según dominio de alteración del mineral del yacimiento, para determinar % extracción Au a granulometría ROM, consumo de reactivos, velocidad

de percolación, tiempo de regado, taza de riego, relación liquido/solido.

Los estudios mineralógicos y petrográficos, estudio de microscopia electrónica análisis mineralógico de grado de liberación, análisis mineralógico por difracción de rayos X y análisis por ICP- multielementos, se realizarán en laboratorios externos FA Ingenieros SAC.

c. Trabajo en gabinete: Con la información recolectada en campo y de laboratorio se procederá a organizar y procesar toda la data para la elaboración de folios y secciones que nos permita proseguir con el estudio llegando a elaborar una base de datos de características del mineral y su respuesta metalúrgicas que conllevará a realizar un modelamiento geometalúrgico de todo el yacimiento Ayahuanca.

3.7 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

La información recolectada es procesada y analizada con programa geoestadístico que faciliten la interpretación de datos, el software minero Minesight 3D, es utilizada para el modelamiento geológico de alteración, cuerpo mineralizado, litología y el modelo geometalúrgico del yacimiento Ayahuanca.

El procesamiento y análisis de datos estadísticos; se utilizó la estadística inferencial en la prueba de contraste de hipótesis Chi cuadrado y la correlación de Pearson entre las dimensiones de las variables independientes y dependientes, para este análisis se utilizó el software estadístico Statgraphics Centurion.

El software matemático Curve Expert se utilizó para el ajuste matemático del modelamiento empírico de cinética de extracción de Au en el proceso de cianuración por percolación del mineral en estudio.

3.8 DESCRIPCION DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Para contrastar la hipótesis se realiza mediante la prueba de chi cuadrado de independencia, que comprueba afirmaciones acerca de las funciones de probabilidad de las variables y la relación existente entre caracterización geometalúrgica del mineral y el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca-Ayacucho 2018

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Ubicación y accesibilidad.

El proyecto se ubica en el departamento de Ayacucho, Provincia de Lucanas, distrito de Chavina - Sancos, en las concesiones Mineras Ayahuanca 476, Ayahuanca 477 y Mairim entre las coordenadas Este 61,500, Norte 8 244,600 y Este 616,250, Norte 8 343,00 UTM (WGS84, zona 18 S) con altitud que varía de 3950 m.s.n.m a 4250 m.s.n.m. y una extensión de 1,800 Has.

Cuadro Nro 2 Vía de acceso al Proyecto.

RUTA	DISTANCIA	TIPO DE VIA
Lima-Nazca	455 Km	Asfaltada
Nazca-Puquio	151 Km	Asfaltada
Puquio-Desvió Sancos	48 Km	Asfaltada
Desvió Sancos-Proyecto	7 Km	Afirmada
TOTAL	**661 Km**	

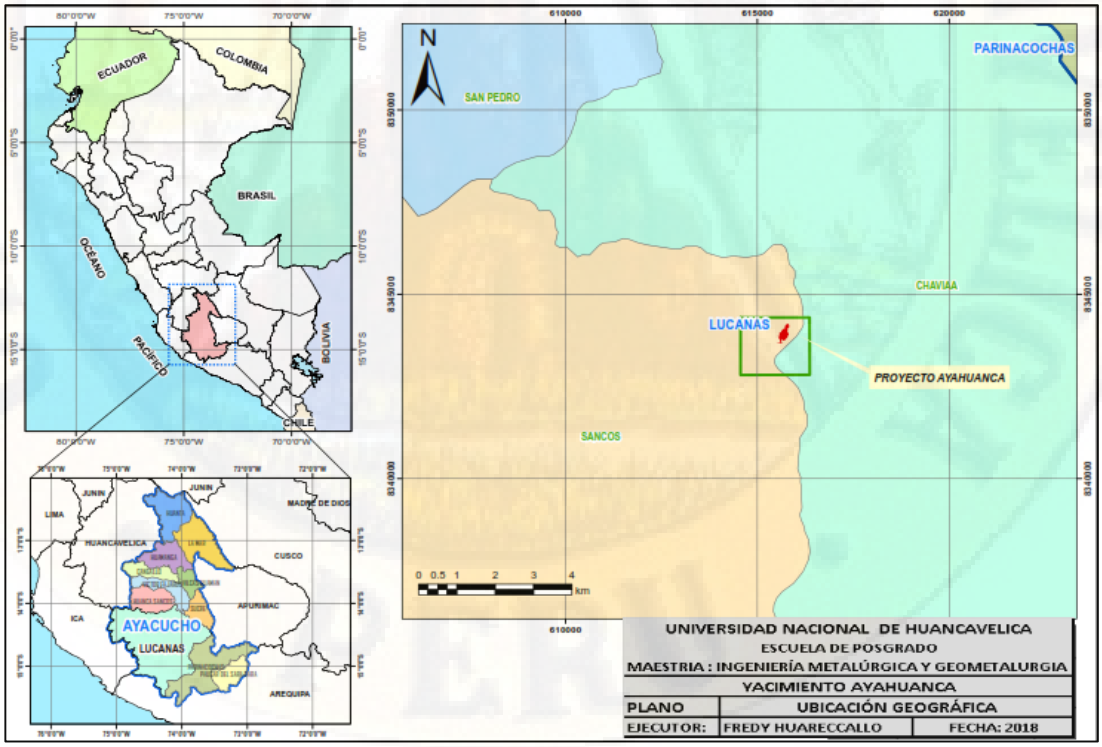
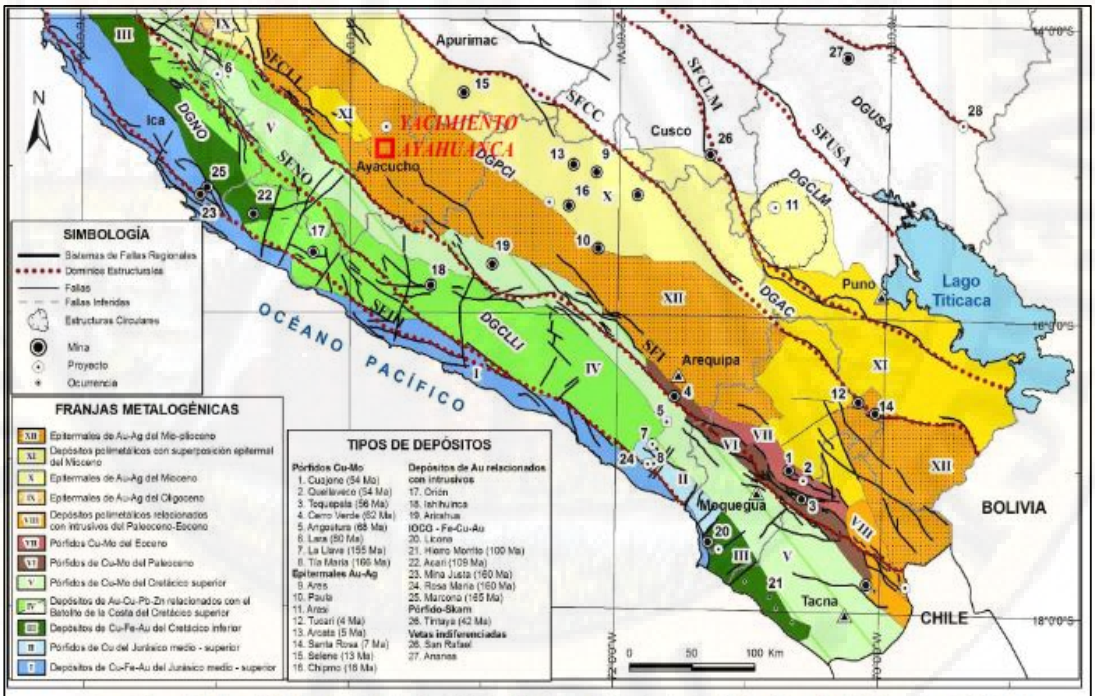


Fig.Nro 13 Ubicación general del Proyecto.

4.1.1 Geología Regional.

El Yacimiento Ayahuanca, se encuentra en la franja metalogenética epitermal Au-Ag del Mio-Plioceno, que se extiende a lo largo de los andes Peruanos, está controlada por los sistemas de fallas regionales Chincha-Lluta, Incapuquio, Condoroma y Caylloma. La mineralización se encuentra en rocas volcánicas de grupo Tacasa y Barroso, están controladas por fallas de E-O (centro efusivo e hidrotermales) que corresponde a yacimientos epitermales de Au de alta sulfuración como Tukari, Santa Rosa (7.16 y 4.64 Ma), Breapapma, Palla Palla, Carhuarazo y Minasnioc, depósito epitermales de Ag como Cacachara, Pavico y los Proyectos Masocruz y Baños del Indio, la edad de mineralización de esta franja se encuentra entre los 7 y 1.5 Ma., lo que indica presencia de vulcanismo reciente con mineralización reciente, que no supera el millón de onzas de Au en sistemas epitermales.

Ayahuanca se encuentra emplazados en rocas volcánicas neógenas mayormente de composición andesítica, pertenecientes al grupo Tacaza, que se extiende en dirección Nor Oeste-Sur Este a lo largo de 20 Km, que infrayacen en discordancia angular al grupo Barroso.



Mapa metalogenético del sur del Perú entre las latitudes 14 - 18°30'S. SFIII: Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo. SFNO: Sistema de Fallas Nazca-Ocoña. SFCLL: Sistema de Fallas Cincha-LLuta. SFI: Sistema de Fallas Icapuquio. SFCC: Sistema de Fallas Caylloma-Condoroma. SFCLM: Sistema de Fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo. SFUSA: Sistema de Fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri. DGNO: Dominio Geotectónico Nazca-Ocoña, DGCLLI: Dominio Geotectónico Cincha-LLuta-Ilo, DGPCI: Dominio Geotectónico Puquio-Caylloma-Incapuquio, DGAC: Dominio Geotectónico Abancay-Condoroma, DGCLM: Dominio Geotectónico Cusco-Lagunillas-Mañazo y DGUSA: Dominio Geotectónico Urcos-Sicuani-Ayaviri.

Fig.Nro 14 Mapa Metalogenético del sur del Perú (INGEMMET-Proyecto GR-13, 2008).

a. Formación Para.

Al sur del yacimiento Ayahuanca, se ha determinado la presencia de rocas sedimentarias que se intercalan con niveles de piroclásticos, esta secuencia está constituido por areniscas volcánicas de grano fino color blanquecino y verde claro que se intercalan con areniscas conglomerados, también se encontró niveles de lapillis blanquecina y cenizas que intervienen con niveles de lucita y limonitas, se estima un grosor de 1000 metros.

No se observa la base de esta unidad, está en contacto fallado con la formación Murco (cretáceo), infrayace en discordancia angular al grupo Tacaza (Mioceno), se le asigna una edad comprendida en el Oligoceno, se correlaciona con la parte del grupo Puno y con loa formación Quemillone.

b. Formación Murco.

Esta formación aflora hacia el Sur Este del yacimiento, se caracteriza por su matiz rojizo y se destaca fácilmente por estar limitada entre las cuarcitas blancas de la formación Hualhuani y las calizas grises de la formación Arcurquina, su grosor máximo es de 300 m. En general está compuesto por arenisca gris verdosa de grano grueso, con estratificación gradada y laminación cruzada, cuya polaridad indica que los estratos están en posiciones normales y que las corrientes que los originaron venían de Nor Oeste.

Además, la unidad se ha depositado en condiciones oxidantes (aeróbicas), en una época donde ha existido poca estabilidad tectónica y el levantamiento fue rápido, es características de estas faces de la naturaleza altamente feldespáticas de los sedimentos, se caracteriza por su color rojo y la ausencia de caliza.

c. Formación Arcurquina.

En ninguna de las afloraciones de esta formación se ha encontrado fósiles, la edad ha sido asignada de acuerdo a la posición estratigráfica, como descansa sobre la formación Hualhuani del neocomiano superior e infrayace a la formación Arcurquina del Albiano, se le asigna una edad neocomiano superior Aptiano. Se le correlaciona con las formaciones Huancané de Puno, Farrat y Goyllarisquizga del Norte del Perú

d. Formación Huaylillas.

Aflora en gran extensión en el sector Nor Oeste, del yacimiento Ayahuanca, en los lugares de Apacheta y Pulpito, litológicamente está constituidos por secuencias de

tobas ignimbriticas y toba retrabajadas con una deformación moderada que lo diferencia del grupo Nazca, esta unidad es equivalente en el tiempo al grupo Nazca.

e. Grupo Tacaza.

Terminología empleada en el sur del Perú para una secuencia volcánica-sedimentaria, que sobreyacen en discordancia angular sobre la secuencia pre-neógenas y paleógenas, esta unidad es de mucha importancia, ya que en ella se han emplazado numerosos yacimientos mineros, por lo que es conocidos como un metalotécto, albergando mineralización polimetálicas y Au-Ag, en la región afloran ampliamente hacia el Norte y Sur del Área del estudio

Litologicamente está compuesto por tobas de color blanco intercaladas con paquetes de areniscas tobácea gris clara, con un espesor de 2 a 50 cm., luego conglomerados con rodados de andesita marrón y verde con un diámetro que llega hasta 20 cm. y finalmente andesita gris verdosa a marrón, porfirítica y microbrechosa, así mismo se tiene abundancia arcilla y sílex, formados por alteración de roca volcánica ácida.

f. Grupo Barroso.

Palacios y Klinck (1993), define al grupo Barroso como una secuencia volcánica y volcanoclástica de post grupo Sillapaca y pre-última glaciación pleistocénica, con un rango estratigráfico que va del neógeno-plioceno al pleistocéno que data de 9.5 a 0.6 Ma, para el Barrosos antiguo y 1.0 a 0.2 Ma para el Barroso reciente pre-glaciación pleistocénica, se diferencia dos miembros volcánicos Barroso inferior y volcánico Barroso superior, cuyo afloramiento más notables se exponen en la parte central y Noreste del área del estudio.

El volcánico Barrosos Inferior, corresponde a la primeras pulsaciones y está constituido por una alteración de derrames de andesita y piroclástico; los primeros corresponde a una andesita y traquiandesita y los segundos a brechas y aglomerados volcánico, es pertinente mencionar que existe un predominio de los derrames sobre los preclásicos, en su mayoría estas rocas se encuentra alterados producto del fluido hidrotermal.

El volcánico Barroso Superior, está constituido por una secuencia de rocas piroclásticas, cuya sección inferior está constituida por intercalaciones de bancos gruesos de tobas soldadas de aspecto masivo y cavidades vacuolares con pómez, granos angulares de cuarzo, biotita, plagioclasas y vidrios volcánicos, la roca presentan

gris violácea en superficie fresca esta unidad geológica se observa al Noreste del yacimiento Ayahuanca

Centros Volcánicos y depósitos minerales regionales.

La existencia de las zonas de alteración y ocurrencias minerales rodea a los centros de emisión; por lo cual la actividad magmática hidrotermal es evidente.

Los centros volcánicos Yancore y Apumayo son afectados por los sistemas de fallas y hospedan a los depósitos minerales Paccha-Andrea y Ayahuanca-Grace-Apumayo (Au-Ag), respectivamente. Los depósitos minerales en la zona presentan características por tener flujos piroclásticos alterados, cortados por cuerpos de brecha Este-Oeste y Norte 120°, cuyo clasto presenta ensambles sílice - alunita y sílice vuggy, la mineralización consiste en Au y Ag diseminados en brechas, siendo la mina Apumayo en operación con mineral de Au–Ag.

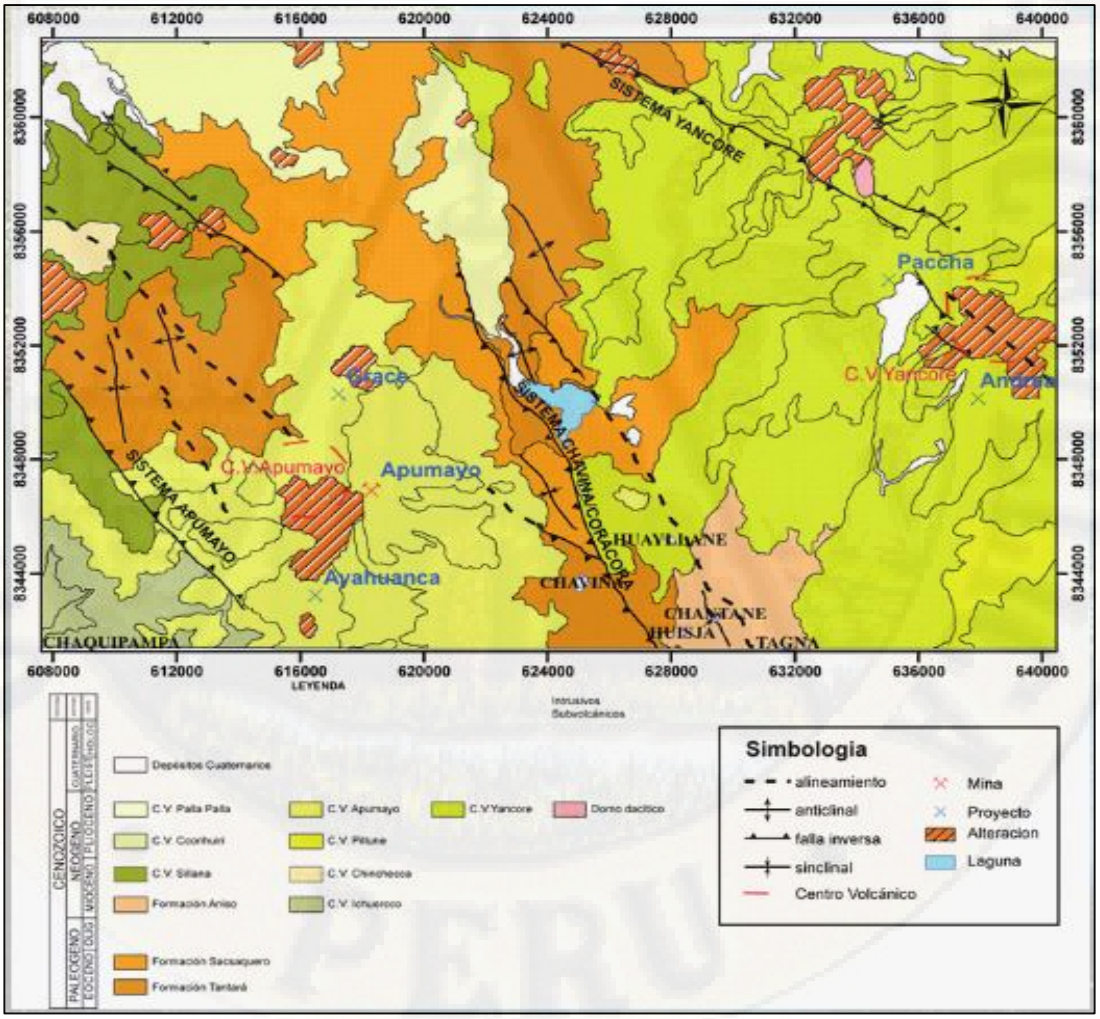


Fig.Nro 15 Mapa geológico mostrando basamento Eoceno cubiertas por depósitos volcánicos Mio-pliocenos (INGEMMET, 2014).

4.1.2 Geología del yacimiento Ayahuanca.

El contexto del área está dominado por rocas volcánicas Mio-plioceno con centros volcánicos alterados, parcialmente erosionados, la actividad explosiva y efusiva de estos centros volcánicos, produjo el relleno con material piroclástico y lávico de la paleotopografia de las áreas entre Taihuire (Ayahuanca) y Lambre. En este centro se desarrolló un centro de actividad epitermal que colapso debido al auto sellamiento por formación de una sílica cap (depósito de sílice residual), formando un cráter explosivo relleno por brechas freatomagmática (diatrena).

Las alteraciones encontradas son propias del yacimiento epitermal de alta sulfuración; sílice masiva, sílice vuggy, sílice granular, sílice alunita, sílice opalina, sílice clay, litológicamente los tipos de roca relacionado a la mineralización son: andesita, brechas freatomagmática, brechas crackel y brechas hidrotermales y un intrusivo subvolcanico de composición dacitica.

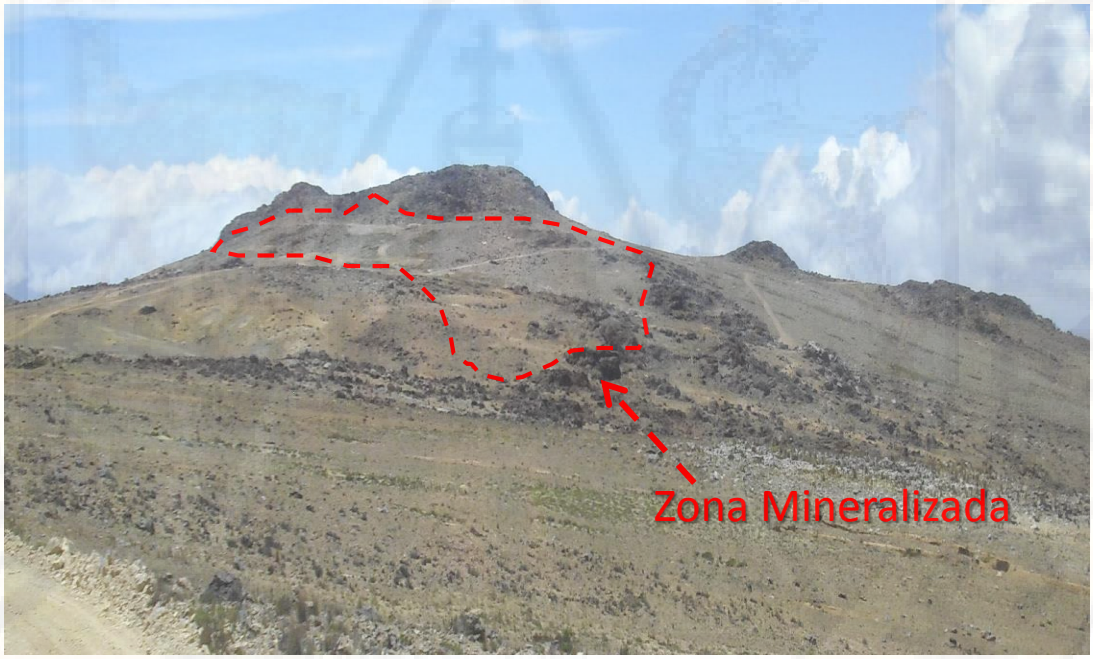


Foto. Nro.01 Vista al Sur-este del área de yacimiento Ayahuanca.

a. Litología.

En el ámbito del área del yacimiento aflora una serie de rocas volcánicas (lavas y tufos), brechas relacionadas a emplazamiento aparatos volcánicos e intrusivos sub volcánicos, entre los principales tipos de rocas se menciona:

- Andesita Porfirítica.

Es una roca de grano fino a medio, se encuentra tanto en la zona mineralizada y alterada como en la parte marginal propilitizada ó en estado fresco.

- Brecha Ckackel.

Se caracteriza por contener fragmentos angulosos sin rotación ni matriz, los fragmentos frecuentemente están cementados por óxidos, esta brecha puede ser monomíctica o polimictica, según se el protolito en el que se formó la andesita y brechas freatomagmática.

Foto Nro (2) *Foto Nro (3)*

*Foto (**2**) AYA-41. PROF: 45.60 m. Brecha crackel, textura fragmental, evidencias de fluidización, fragmentos con relictos de textura porfirítica de posible andesita, FeOx de goethita principalmente en fracturas, puntuales ojos de cz y venillas de sílice. (**3**) AYA-23. PROF: 160.00 m. Andesita, predomina la SV sobre la SG, textura porfirítica, venillas de sílice, escaso FeOx (hematita) en oquedades, trazas de alunita diseminada*

Foto Nro (4) *Foto Nro (5)*

*Foto (**4**) AYA-08. PROF: 16.70 m. Brecha hidrotermal, presenta inyecciones de sílice crema en toda la roca, escaso FeOx (goethita) principalmente en oquedades y fracturas, alteración sílice masiva (**5**) AYA-53. PROF: 134.70 m. Brecha freatomagmática, fragmentos oscuros y claros masivos, con evidencias de textura porfirítica, matriz granular con considerable cantidad de FeOx de goethita.*

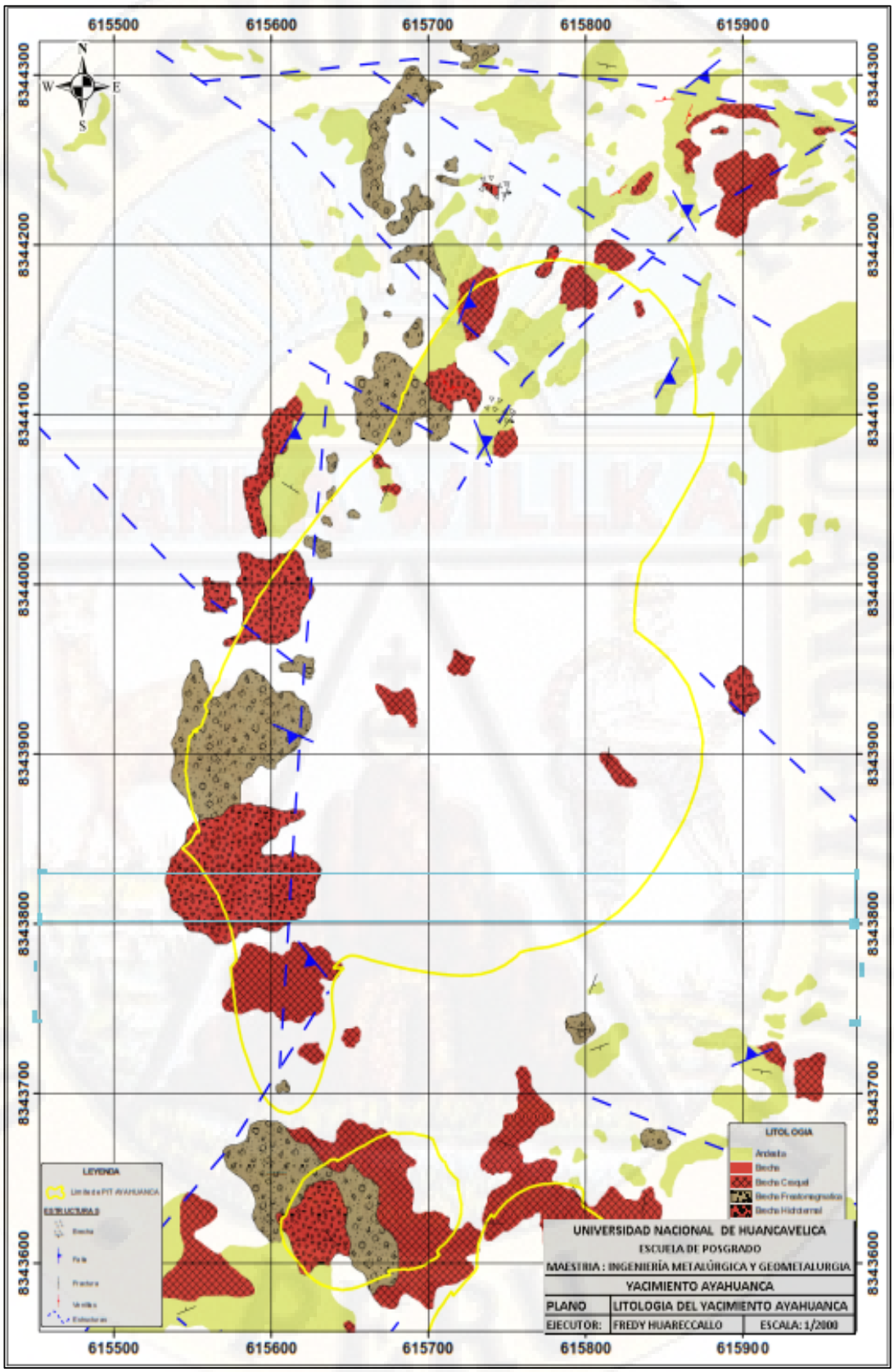


Fig.Nro 16 Plano Litológico Ayahuanca.

- Brecha Hidrotermales.

Está relacionada a los mayores valores de Au, se origina por procesos hidrotermales, cuyo gases rompen las paredes de las rocas preexistentes, formando estructuras polimicticas subvertical a vertical, con frecuencia inyecciones de sílice crema.

- Brecha Freatomagmática

Es una roca fragmental polimíctica caracterizada por presentar fragmentos angulosos, sub-angulosos y sub-redondeadas, algunas de estos fragmentos corresponde a brechas preexistente.

- Intrusivo subvolcánico Dacítico.

Presenta una textura porfirítica de grano grueso, no se encuentra en afloramiento local, se ha encontrado en el sector norte de la zona mineralizada cortando a la andesita.

Foto Nro (6)

*Foto (**6**) AYA-52. FROM (m): 67. Dacita, textura porfirítica gruesa, se observan algunos ojos de cz, trazas de azufre en oquedades, los FeOx (goethita) se presentan en fracturas y oquedades, puntuales venillas de sílice en fracturas.*

b. Alteración.

Las alteraciones hidrotermales encontradas en yacimiento Ayahuanca son las típicas de formación epitermales de alta sulfuración, con mayor o menor desarrollo de una respecto a otra.

- Sílice Masiva.

Es la alteración de mayor exposición, se le encuentra tanto dentro de la zona mineralizada como al norte y sur del yacimiento Ayahuanca.

- Sílice Vuggy.

Esta alteración se le encuentra muy localmente en superficie como en algunos taladros diamantinos.

Foto Nro (7) *Foto Nro (8)*

*Foto (**7**) AYA-07. PROF: 26.00 m. Brecha hidrotermal, textura obliterada, fuertes inyecciones de sílice crema en toda la roca, puntuales venillas de sílice, fragmentos de posible andesita con sílice residual (**8**) AYA-17. PROF: 216.30 m. Dacita, textura porfirítica media-gruesa, algunas venillas de sílice en fracturas, FeOx (goethita) en oquedades, puntuales ojos de cz alterados.*

- Sílice Granular.

Este tipo de alteración es de gran exposición, principalmente en las zonas mineralizadas, la alteración sílice granular se ubica principalmente bordeados a la alteración de sílice masiva.

- Sílice Alunita.

Este tipo de alteración no ha sido muy desarrollado, sin embargo se encontró en algunos afloramientos aislados, orientados del norte a sur en los borde de la zona con mineral, así mismo se ha encontrado alteración de sílice alunita en diferentes niveles del yacimiento.

Foto Nro (9) *Foto Nro (10)*

*Foto (**9**) AYA-37. PROF: 35.10 m. Brecha hidrotermal, presencia de fluidización con venillas de sílice, posible protolito andesita, no se observa FeOx. trazas de jarosita en oquedades. (**10**) Sílice alunita encontrado en los afloramientos del yacimiento*

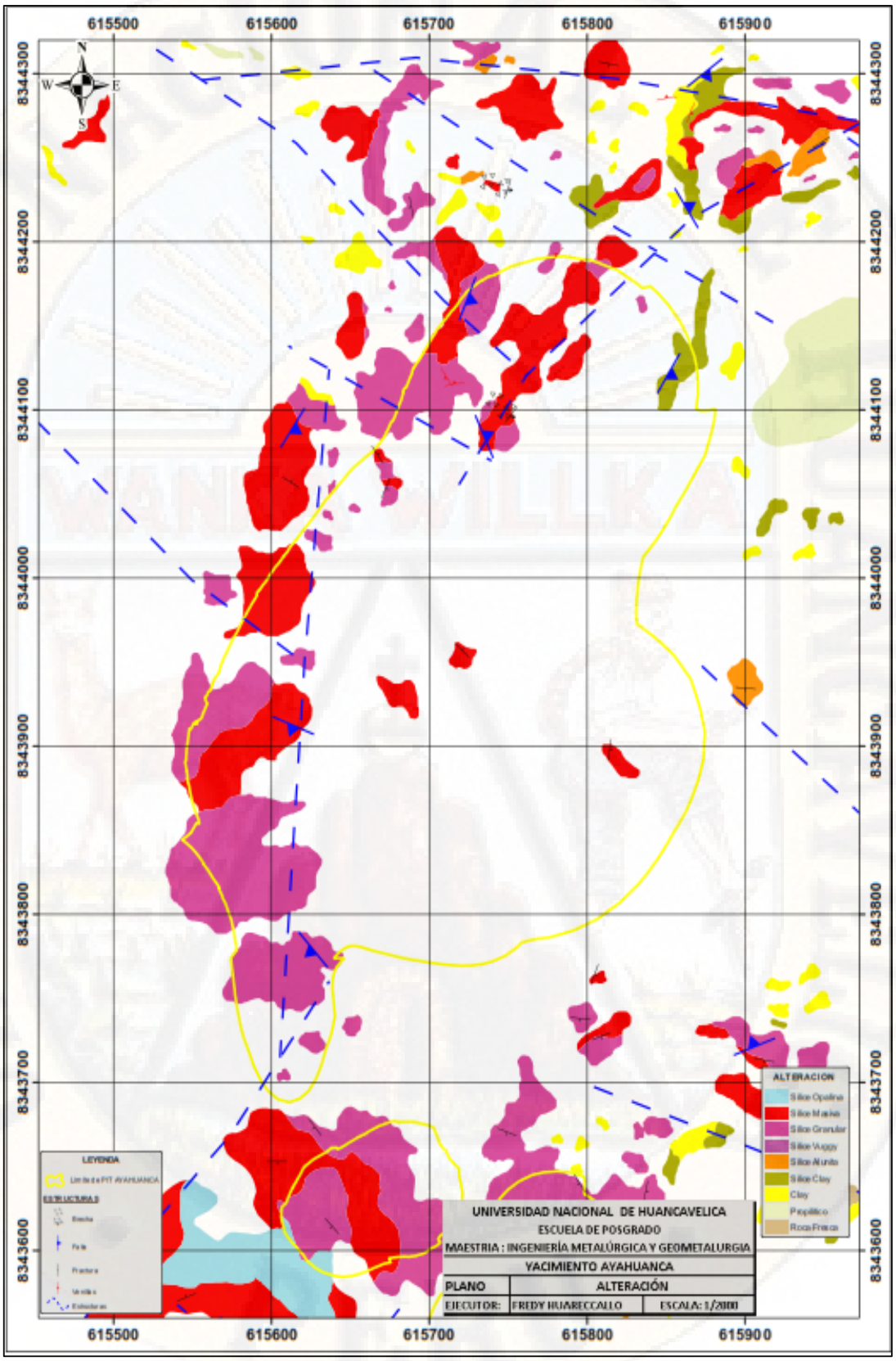


Fig.Nro 17 Plano Alteraciones Ayahuanca.

- Sílice Opalina.

Se presenta en exposición muy local, en afloramiento de brechas, localizada en la cumbre del cerro Taihuire, indican el tope del sistema hidrotermal de Ayahuanca.

- Sílice Clay (Clay).

Se presenta en las zonas marginales de centro de alteración hidrotermal Ayahuanca como característica de yacimientos epitermales de alta sulfuración.

- Alteraciones Propilíticas.

Se caracteriza por su tonalidad verdosa, debido al contenido de clorita, los afloramientos con esta alteración se encuentra cerca de las rocas inalteradas.

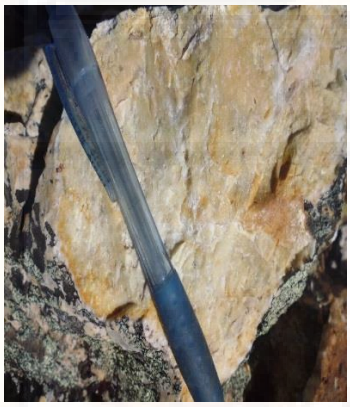


Foto Nro (11)

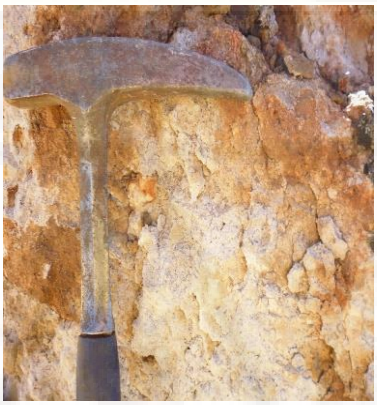


Foto Nro (12)

Foto Nro (13)

*Foto (**11**) Sílice opalina (**12**) Sílice clay (**13**) Sílice propilitica, encontrados en los afloramientos del yacimiento Ayahuanca.*

c. Estructural.

- Plegamiento.

En el yacimiento Ayahuanca no se observa pliegues, posiblemente debido al fuerte procesos erosivos que originaron la superficie puna, localmente se observa algunos sub-estratos con buzamientos de poco ángulo.

- Fallamiento.

Es importante señalar que los lineamientos estructurales principales más antiguos y dominantes son los andinos.

Primer sistema; Nor Oeste-Sur Este, constituyen el sistema más importante a la cual pertenece la fallas de mayor longitud de Ayahuanca, siendo N 55° Oeste, el rumbo promedio de estas estructuras.

Segundo sistema estructural; Nor Este-Sur Oeste, las fallas de este sistema tiene rumbo promedio Norte 50° Este.

Tercer sistema; Norte-Sur, a este sistema corresponde fallas más locales.

Cuarto sistema; Este-Oeste, al igual que el sistema anterior las fallas son de ocurrencia local, pero también importante porque en algunos casos ponen limite a la mineralización.

d. Mineralización.

El muestreo geoquímico de afloramiento se ha realizado mayormente en el cerro Taihuire y Lambre y algunos afloramientos cercanos a la parte Nor Este del cerro Taihuire, las muestras obtenidas en este sector dieron mayormente valores menores a 0,20 g/t de Au y en escasas muestras valores mayores de 0.5 g/t de Au.

El área con mayor recurso encontrado se localiza aproximadamente a 300 metros, al norte del cerro Taihuire y se prolonga de manera continua más allá del límite sur del cerro Apumayo (mina Apumayo), a esta área no se realizó estudio geoquímica de superficie por la no existencia de afloramiento, la mineralización en este lugar estaba cubierta y fue encontrada mediante perforación con taladros diamantinos.

La mineralización en el yacimiento presenta los controles de:

- Control estructural: Estructuralmente los sistemas que controlan la mineralización en Ayahuanca de Nor Oeste-Sur Este y Nor Este-Sur Oeste.
- Control litológico: Los mayores valores de Oro están relacionados a la brecha freatomagmática al intrusivo dacitica y a las brechas hidrotermales.
- Control por alteración: La mineralización económica se relaciona a las alteraciones sílice masiva, con fuertes inyecciones de sílice crema, así como también a la sílice granular, con inyección de sílice crema de menor densidad.

4.1.3 La Geometalúrgia en el desarrollo del proyecto Ayahuanca.

La caracterización geometalúrgica del mineral del yacimiento epitermal de alta sulfuración de Ayahuanca está basada en la determinación de las propiedades geológicas, fisicoquímicas, mineralógicas y texturales de los materiales (minerales mena y ganga) que determina su calidad y define el proceso de extracción por cianuración en pilas de lixiviación, minimizando los riesgos operativa del proyecto.

Los estudios geometalúrgica se desarrolla a mediados del 2017 y se prolonga hasta

fines del 2018, el desarrollo del trabajo se basa a la información disponible en el transcurso de la ejecución del proyecto. Se menciona a continuación la secuencia de trabajos realizados:

Estudios Petromineragráficos de rocas.

Se realiza un muestreo selectivo de 10 muestras de rocas dentro del yacimiento Ayahuanca para estudio petromineragráficos, donde se determina la relación que existe entre minerales no metálicos y metálicos económicos, tamaño de los minerales identificados, tipo de textura, asociaciones mineralógicas alteraciones y reemplazamiento, secuencias paragenéticas, mediante este estudio se identifican aquellos minerales que pueden ocasionar problemas en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación del mineral.

Cuadro Nro 3 Nomenclatura de especies minerales mencionadas en Petromineragráfico.

Nombres	Símbolo	Composición Química	Densidad (g/cm3)	Dureza Mohs
Minerales Arcillosos	ARCs	Variado	2.6	1.5
Clorita	CLOs	$(Mg,Fe,Al,Li,Mn,Ni)_{4-6}(Si,Al,B,Fe)_4O_{10}(OH,O)_8$	3.2	3.0
Cuarzo	cz	SiO_2	2.62	7
Electrum	el	(Au, Ag)	17,64	3.0
Epidota	ep	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$	3.45	7
Goethita	goe	FeO.OH	3.8	5.0
Hematita	hm	Fe_2O_3	5.3	6.5
Jarosita	jar	$KFe_3(SO4)_2(OH)_6$	3.09	3.0
Oro Nativo	Au	Au	17.64	2.5
Pirita	py	FeS_2	5.01	6.5
Rutilo	rut	TiO_2	4.25	6.5
Zircón	zir	$ZrSiO_4$	4.65	7.5

Nota: El termino trazas se aplica en valores menores a 0.5%

a. Muestra MM-AYA-007

- Descripción Macroscópica.

Roca de coloración gris clara de tonalidad blanquecina intensamente silicificada y con presencia de numerosas porosidad, se observa finas vetillas rellenas de cuarzo tardío por secciones presenta un aspecto terroso debido a la presencia de arcilla	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Roca intensamente silicificada compuesta principalmente por agregados microgranulares de cuarzo con impregnación de minerales arcillosos, presenta granos de rutilo, pirita y Oro nativo.

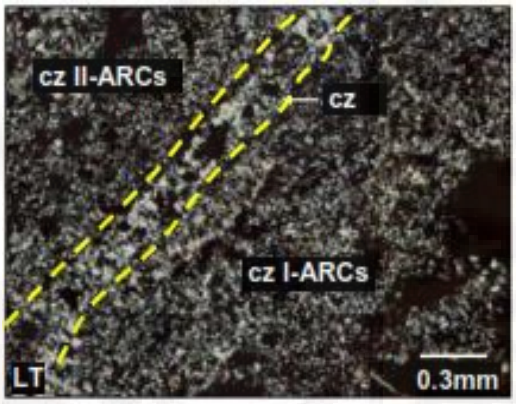
Especies Minerales:

Rutilo (trazas): Ocurre como cristales subhedrales a anhedrales con hábito reticular y forma irregular, tamaños menores a 0.6 mm; pirita (trazas) se presenta como grano irregular de tamaño inferior a 10µm, ocurre en los granos de cuarzo y se asocia con el Oro nativo, presencia de cinco granos irregulares de Oro nativo (trazas), con tamaños entre 4 a 15µm, y se asocia a pirita.

Textura: De relleno y reemplazamiento.

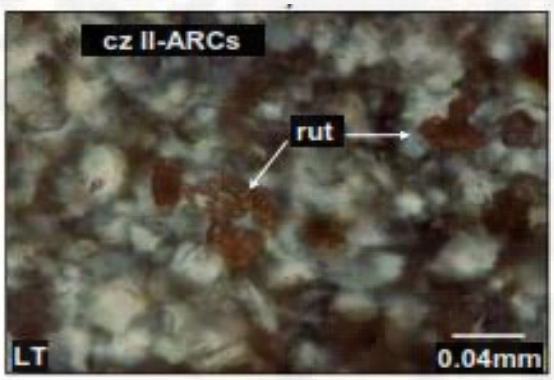
Alteración: Silicificación intensa y agilización débil.

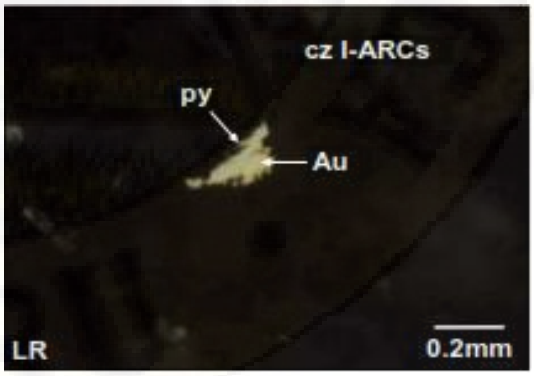
Fotomicrografía:



Fotomicrografía (1) *Fotomicrografía (2)*

*Fotomicrografía: **(1)** Pirita (py) asociada a Oro nativo (Au), disperso en cuarzo II (cz II), **(2)** Vetilla rellenas de cuarzo III cortando a agregados de cuarzo II (cz II). **LT:** Luz Transmitida. **LR:** luz Reflejada.*



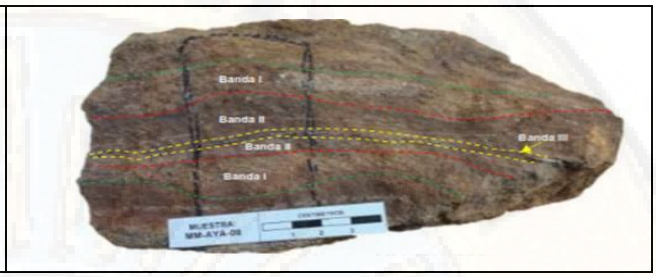


Fotomicrografía (3) *Fotomicrografía (4)*

*Fotomicrografía: **(3)** Granos de rutilo (rut) dispersos en cuarzo II(cz II), **(4)** Oro Nativo (Au) asociadas a pirita (py). **LT:** Luz Transmitida. **LR:** Luz Reflejada*

b. Muestra MM-AYA-008

- Descripción Macroscópica.

Roca intensamente silicificada de coloración gris rojiza, muestra un aspecto bandeado con presencia de porosidad, está compuesta por abundante óxido de hierro.	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Roca de aspecto bandeado formado por tres tipos de bandas; banda I constituida por agregados granulares de cuarzo y granos dispersos de Oro nativo-electrum; banda II agregados microgranulares de cuarzo III y rutilo teñidos por óxidos de hierro; banda III asociaciones de grano de cuarzo IV y sílice amorfa.

Especies Minerales:

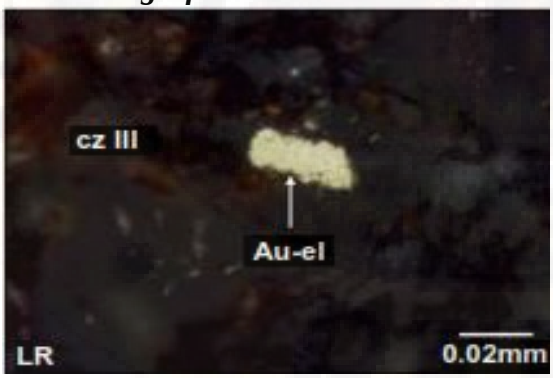
Rutilo (2%): Se desarrolla como cristales anhedrales con formas reticulares e irregulares y tamaño menor a 0.5mm, algunos granos presentan un aspecto terroso, se presencia granos de Oro nativo-electrum (trazas) de tamaño de 8 a 24 µm, se asocian a los óxidos de hierro.

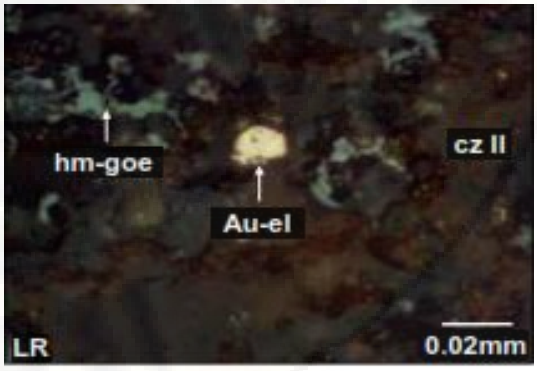
Los óxidos de hierro (hematita-goethita) (15%): Se presenta de forma irregular y coloformes, ocurre como relleno de numerosos intersticios entre granos de cuarzo asociados a Oro nativo –electrum.

Textura: Relleno y reemplazamiento y coloforme.

Alteración: oxidación supérgena moderada.

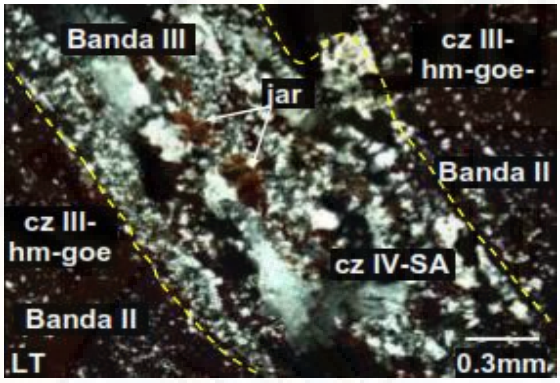
Fotomicrografía:

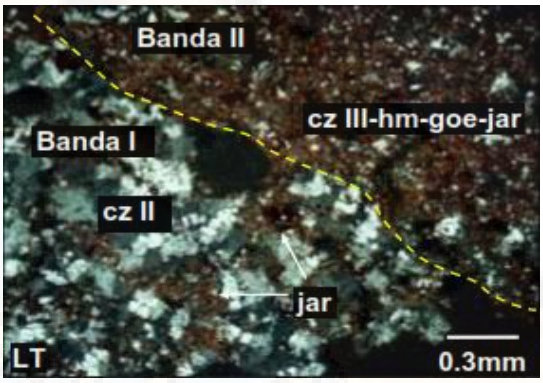




Fotomicrografía (5) *Fotomicrografía (6)*

Fotomicrografía: ***(5) (6)*** *Granos libre de Oro nativo-electrum (Au-el) asociadas a cuarzo II (cz II), hematita-goethita (hm-goe) rellenado intersticios entre granos de cuarzo III (cz II).* ***LR:*** *Luz Reflejada*





Fotomicrografía (7) *Fotomicrografía (8)*

Fotomicrografía: ***(7)*** *Banda II, constituida por cuarzo III (cz III) y abundante hematita-goethita (hm-goe) cortada por la banda III, compuesta por cuarzo IV (cz IV), sílice amorfa y jarosita.* ***(8)*** *Banda I (cz II-jar) cortada por la banda II (cz III-hm-goe-jar).* ***LT:*** *Luz Transmitida*

c. Muestra MM-AYA-009

- Descripción Macroscópica.

Roca compuesta por números fragmentos de cuarzo oqueroso y fragmentos de óxido de hierro (hematita, goethita) que son englobados e impregnados por abundante óxidos de hierro de aspecto terroso asociados a cuarzo criptocristalinos	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Roca intensamente silicificada con presencia de arcilla de cuarzo I, englobados por una matriz reemplazada por agregados microcristalinos de cuarzo II y minerales arcillosos. Las fracturas y posible moldes de minerales ferromagnesianas son rellenados por un evento más tardío de cuarzo III acompañado de óxido de hierro como hematita, goethita y jarosita.

Especies Minerales:

Zircón (trazas): Se aprecia como cristales subhebrales de forma prismática con tamaños menores a 0.08 mm.

Cuarzo I (4%): Se muestra como fenocristales de hábito prismático y tamaño menores a 0.3 mm, se presenta los bordes corroídos y se encuentra como relicto en la roca. Cuarzo II (52%): ocurre como agregado micro a criptocristalinos reemplazando a la matriz de la roca, acompañada por agregados terrosos y pulverulentos arcillosos.

Cuarzo III (12%): Se presenta como agregado granulares de forma prismático e irregulares con tamaño inferiores a 0.2 mm, rellena pequeños fracturas asociada a hematita-goethita, jarosita

Rutilo (trazas): Ocurre cristales subhedrales de hábito prismático y forma irregular con tamaño por debajo a 0.2 mm.

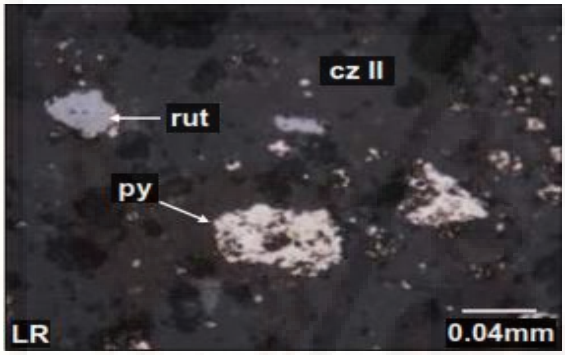
Pirita (1%): Se manifiesta como agregados granulares relicticos de tamaño menores a 0.1 mm, se encuentra diseminado y rellena de oquedades en cuarzo II.

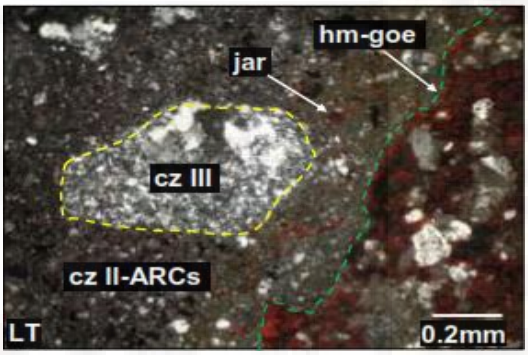
Hematita-goethita (16%): Se manifiesta como agregados granulares de forma irregulare y pseudoformas cúbicas con tamaños de aproximadamente 0.1 mm.

Textura: De relleno y reemplazamiento.

Alteración: Argilización y oxidación supérgena moderada.

Fotomicrografía:





Fotomicrografía (9) *Fotomicrografía (10)*

*Fotomicrografía:**(9)** Granos libres de pirita (py) dispersos en la muestra. **(10)** Moldes de posibles minerales ferromagnesianos (FMs) rellenados por cuarzo III (cz III) y englobados por una matriz de cuarzo secundario y minerales arcillosos (cz II-ARCs). **LR:** Luz Reflejada **LT:** Luz Transmitida*

d. Muestra MM-AYA-010

- Descripción Macroscópica.

Roca de coloración gris clara de tonalidad rojiza, constituidas principalmente cuarzo criptocristalinos, el cual engloba fragmentos de roca de diferente composiciones; algunos de los cuales han sido erosionados, dejando numerosas oquedades rellenas por óxidos de hierro (hematita, goethita)	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Roca intensamente fracturada y alterada por hematita-goethita, presenta pequeños y escasos granos de cuarzo I, así como de tres tipos de fragmentos de roca de diferentes composiciones; fragmento I de tamaño centimetrito de forma granular e irregulares de cuarzo con óxidos de hierro en su intersticios; fragmentos II constituidos por agregados criptocristal; fragmento III presenta agregados microcristalinos ligeramente teñidos por óxido de hierro arcillosos.

Especies Minerales:

Zircón (trazas): Se presenta como cristales subhedrales de forma prismático con tamaño memores a 0.08 mm, ocurre disperso en la matriz de la roca.

Cuarzo I (1%): Se presenta como cristales subhedrales de borde redondeado y corroídos por contacto con la matriz de la roca.

Cuarzo II (38%): Engloba a fragmento de roca y cristales de cuarzo I, también se encuentra acompañada por agregados terrosos de minerales arcillosos (8%).

Cuarzo III (10%): Se presenta como relleno de oquedades y posibles moldes de minerales ferromagnesianos.

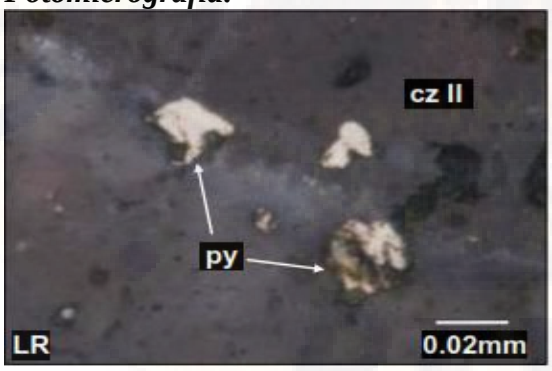
Pirita (trazas): Se presenta como relicto de forma irregular y tamaño memores a 0.02mm., está diseminado en la matriz de la roca.

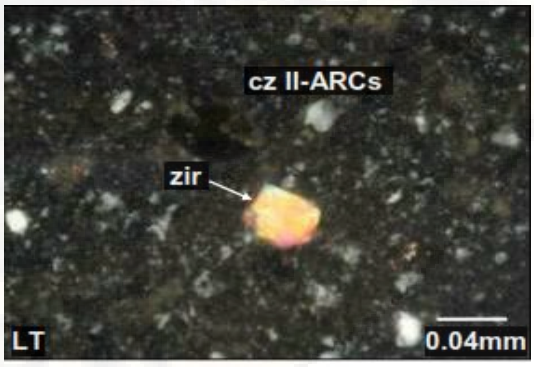
Hematita-goethita (12%): Se manifiesta como forma coloforme e irregulares con tamaño menores a 0.4 mm, rellena oquedades en la matriz de la roca.

Textura: Tobácea (protolito), de relleno y reemplazamiento.

Alteración: Silicificación, oxidación moderada.

Fotomicrografía:





Fotomicrografía (11) *Fotomicrografía (12)*

Fotomicrografía: ***(11)*** *Relictos de pirita (py) dispersos en la matriz (cz II).* ***(12)*** *Cristal redondeada de zircón (zir) disperso en la matriz de la muestra.* ***LR:*** *Luz Reflejada* ***LT:*** *Luz Transmitida*

e. Muestra MM-AYA-011

- Descripción Macroscópica.

Roca compuesto principalmente por sílice oqueroso teñida por óxidos de hierro, la cual engloba numerosos fragmentos angulosos a sub angulosos de sílice de grano muy fino, con tamaños de aproximadamente 2 cm.	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Roca que corresponde a una toba litocristalina de tipo lapilli, constituidas principalmente por fragmentos de rocas silicificadas I-II y relictos de cuarzo I de bordes corroídos y engolfados, ambos englobados por agregados microgranulares de cuarzo II, los cuales reemplazan la matriz de la roca, el zircón y la escaza mineralización metálica constituida solamente por granos de rutilo, en ocurrencia dispersas de cuarzo II.

Especies Minerales:

Zircón (trazas): Se presenta como cristales subhedrales de forma prismático con bordes subredondeadas con tamaño menores a 0.1 mm, se encuentra dispersa en los agregados de cuarzo II.

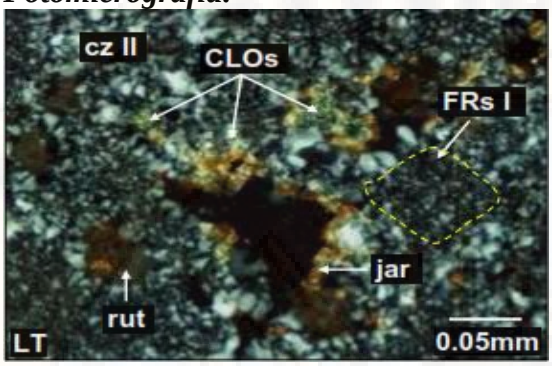
Cuarzo I (1%): Se expone como granos irregulares y relictos con tamaño inferiores a 0.5 mm; cuarzo II (35%) con tamaños de aproximadamente de 50 µm, presenta diseminaciones de rutilo, zircón, presencia de hematita-goethita y jarosita asociados a agregados micro escamoso de clorita (trazas).

Rutilo (1.5%): Se manifiesta como forma irregular con tamaños menores a 0.2 mm, se encuentra dispersas en los cristales de cuarzo II y en los fragmentos de roca I.

Textura: Relleno y reemplazamiento.

Alteración: Silicificación, moderada, oxidación supérgena débil y cloritización incipiente.

Fotomicrografía:



Fotomicrografía (13) *Fotomicrografía (14)*

Fotomicrografía: ***(13)*** *Jarosita (jar) y clorita (CLOs) sobre los bordes de oquedades.* ***(14)*** *Hematita-goethita (hm-goe) rellenado oquedades en el cuarzo II (cz II).* ***LR:*** *Luz Reflejada* ***LT:*** *Luz Transmitida*

f. Muestra MM-AYA-012

- Descripción Macroscópica.

Roca presenta una coloración gris clara de tonalidad rosácea y de estructuras masivas intensamente silicificadas con presencia de fragmentación de roca de distintas composiciones y oquedades rellenas por mineral arcilloso, superficialmente presenta costras de cuarzo prismático y agregados terrosos de posible azufre de tonalidad verdosa	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Protolito corresponde a una toba litocristalina de tipo lapilli, constituidas por fragmentos de roca I – II y relictos de cuarzo I; ambos se encuentra englobados por agregados miocrogranulares de cuarzo II, el zircón y la mineralización metálica constituida por granos reticulares de rutilo ocurren dispersas en cuarzo II y en fragmento de roca I.

Especies Minerales:

Zircón (trazas): Se presenta como granos subredondeados de tamaño de 0.1 mm, se encuentra dispersos en los fragmentos de roca.

Cuarzo I (trazas): Se expone como granos libres e irregulares con tamaño inferiores a 0.8mm.

Cuarzo II (51%) con tamaños de aproximadamente de 80 µm, engloba numerosos fragmentos de roca, cristales de cuarzo I y zircón presenta diseminaciones de rutilo muestra oquedades sobre los cuales se desarrolla sílice amorfa hematita, goethita y jarosita asociadas a agregados micro-escamosos de clorita (trazas).

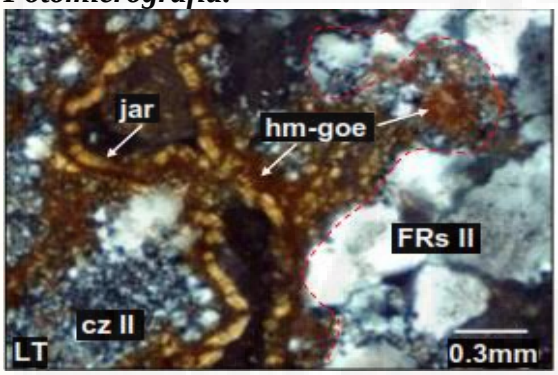
Rutilo (2.5%): Se desarrolla con hábito reticular y forma coloformes con tamaños menores a 0.5 mm, presenta una extinción de tipo ondulante y se encuentra como relleno de cavidad en los agregados de cuarzo III.

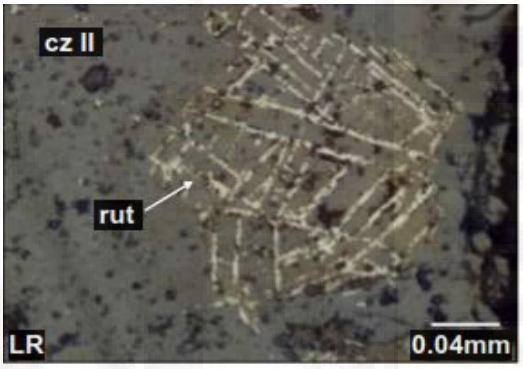
Hematita - goethita (1%): Se desarrolla como granos irregulares con tamaño inferior a 0.1 mm, ocurre dispersos en los cristales de cuarzo II y sobre los bordes de las oquedades y fragmentos de rocas, asociadas a agregados coloformes de jarosita (2%).

Textura: Tobacea (protolito), de relleno y reemplazamiento.

Alteración: Silicificación intensa y cloritización incipiente.

Fotomicrografía:



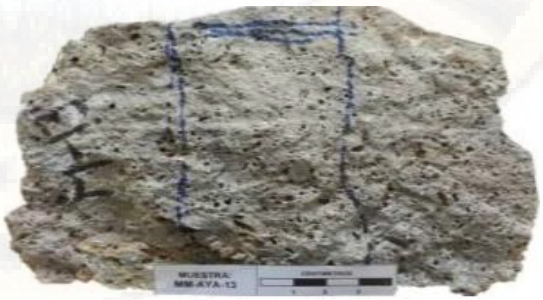


Fotomicrografía (15) *Fotomicrografía (16)*

*Fotomicrografía: **(15)** Agregados coloformes de jarosita (jar) sobre los bordes de oquedades y fragmentos de roca II (FRs II acompañado de hematita–goethita (hm-goe). **(16)** Cristales de rutilo (rut) de forma reticular dispersos en cuarzo II (cz II) **LR:** Luz Reflejada **LT:** Luz Transmitida.*

g. Muestra MM-AYA-013

- Descripción Macroscópica.

Roca compuesta por sílice oquerosa de coloración gris clara, presenta oquedades de formas tabulares que posiblemente correspondan a moldes de feldespato erosionados o lixiviados, la roca está impregnado levente por óxidos de hierro	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: La muestra corresponde a una roca intensamente silicificada con presencia de oquedades o moldes tabulares de feldespato que han sido lixiviados reemplazados por agregados granulares de cuarzo II y ligeramente teñido por óxidos de hierro, así mismo presenta un aspecto lávico que es posible origen corresponda a una roca volcánica lávica.

Especies Minerales:

Zircón (trazas): Se observa como cristales subhedrales de hábito prismático y bordes subredondeadas de tamaños inferiores a 0.1mm, se encuentra disperso en la matriz de la roca.

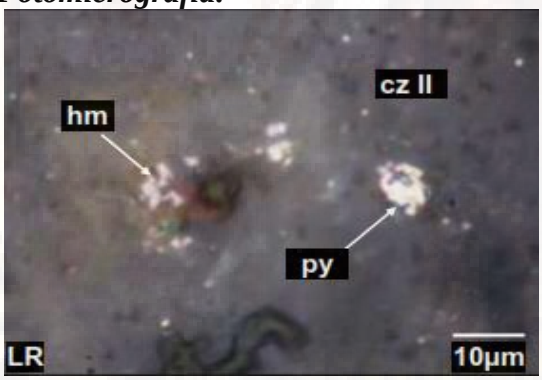
Cuarzo I (trazas): Se expone como cristales anhedrales tamaños inferiores a 1.5 mm; cuarzo II (87%) como agregados granulares de forma irregular y bordes saturados de tamaños inferiores de 0.2 mm, está reemplazando a la matriz y a moldes de feldespato.

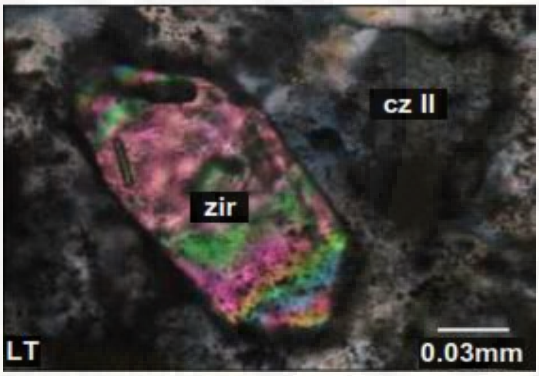
Pirita (trazas): Se aprecia como agregados criptocristalinos, terrosos y pulverulentos que llenan oquedades y pequeñas fracturas en la matriz.

Textura: Relleno y reemplazamiento.

Alteración: Silicificación intensa y oxidación supérgena débil a moderado.

Fotomicrografía:



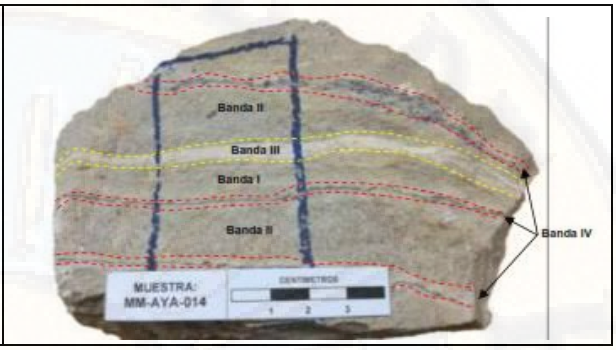


Fotomicrografía (17) *Fotomicrografía (18)*

Fotomicrografía: ***(16)*** *Relicto de pirita (py) y hematita (hm) rellenado oquedades en la muestra.* ***(18)*** *Cristales de zircón (zir) disperso en la muestra.* ***LR:*** *Luz Reflejada* ***LT:*** *Luz Transmitida*

h. Muestra MM-AYA-014

- Descripción Macroscópica.

Roca de color gris clara y de estructura masiva, muestra un aspecto estratificado y está constituida por tres tipos de banda de cuarzo, de grano medio a muy fino, de coloración clara a gris oscura y además presenta pequeña porosidades.	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Protolito correspondiente a una roca volcánica de textura porfídica y aspecto bandeada, formando por una intercalación de cuatro tipos de bandas.

Banda I (37%): Potencial centimétrica constituido por agregados granulares de cuarzo I con tamaños de 0.2 y 0.4 mm, se encuentra parcialmente deformados posiblemente a esfuerzos de compresión en el área.

Banda II (50%): De mayor espesor, está formado por agregados microgranulares de cuarzo II de formas irregulares con tamaños inferiores de 0.1mm, presenta granos de rutilo disperso.

Banda III (2%): De potencial promedio de 3.5 mm, está compuesto por agregados micro a criptocristalinos de cuarzo III con relicto de rutilo, se encuentra teñido por minerales arcillosos (8%)

Banda IV (1.5%): De potencial promedio de 0.8 mm, se compone de granos irregulares de cuarzo acompañado por hematita-goethita (trazas) e impregnados de minerales arcillosos.

Especies Minerales:

Rutilo (1%): Se desarrolla como cristales anhedrales como formas reticulares y relícticas con tamaño inferiores de 0.2 mm, presenta un aspecto terroso y se encuentra dispersa en las bandas I, II y III.

Pirita (trazas): Se manifiesta como granos irregulares con tamaño inferiores a 30 µm, presenta un aspecto terroso y se encuentra dispersa en las bandas I, II y III.

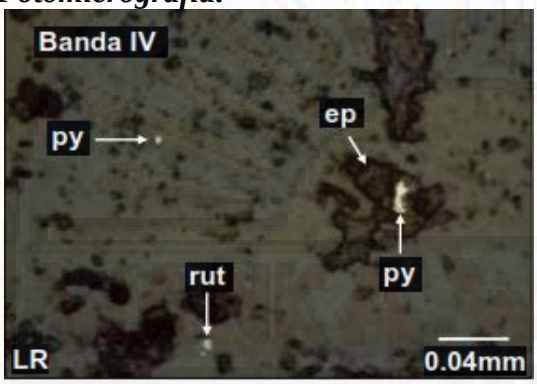
Cuarzo II (87%): Como agregados granulares de forma irregular y bordes saturados de

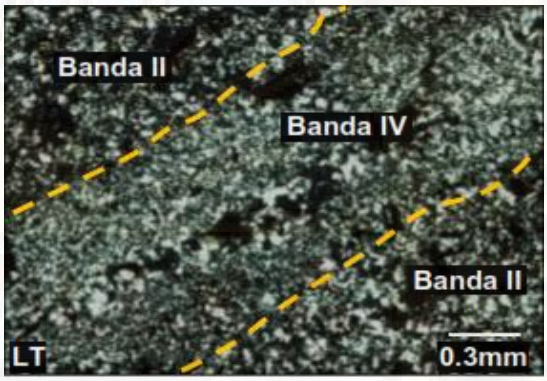
tamaños inferiores de 0.2 mm, está reemplazando a la matriz y a moldes de feldespato. Pirita (trazas): Se manifiesta como granos irregulares con tamaño inferiores a 30 µm, se encuentra asociados a epidota en las bandas IV y dispersas en la banda II.

Textura: Porfiditicas (protolito) de relleno, reemplazamiento y bandeada.

Alteración: Silicificación intensa y argilización moderada.

Fotomicrografía:





Fotomicrografía (19) *Fotomicrografía (20)*

*Fotomicrografía: **(19)** Pirita (py) dispersa y asociada a epidota (ep) en las bandas IV. **(20)** Banda de tipo IV cortando a las bandas II. **LR:** Luz Reflejada **LT:** Luz Transmitida*

i. Muestra MM-AYA-015

- Descripción Macroscópica:

Roca presenta una estructura masiva y aspecto brechoide formando por agregados de sílice de grano muy fino y sílice oquerosa, además la roca está impregnada y teñida por óxidos de hierro de aspecto terroso.	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Roca de aspecto brechoide compuesta por fragmentos de una roca de tipo volcánico la cuales han sufrido un reemplazamiento intenso de varias generaciones de cuarzo.

Fragmento I (38%), promedio de tamaño de 5 cm, se encuentra intensamente reemplazada por cuarzo criptocristalino, minerales arcillosos y escasas diseminaciones de óxido de hierro.

Fragmento II, de tamaño centimétrica (roca volcánica perlítica) de mayor predominancia, están constituidos por cuarzos granulares, toda la muestra está cortada y englobada por cuarzo II, hematita, goethita y jarosita, presencia de escaza mineralización metálica de rutilo y pirita las cuales dispersan en el cuarzo II, presentan relictos de una matriz de textura perlítica, la cual fue reemplazada por cuarzo

Especies Minerales:

Cuarzo II (50%): Se desarrolla como agregados microgranulares de bordes irregulares con tamaño inferiores a 0.2 mm, se aprecia asociada a hematita, goethita y jarosita y minerales arcillosos (3%), engloba los fragmentos de roca I y II.

Rutilo (1%): Se manifiesta como formas reticulares y relícticos con tamaño inferiores de 0.2 mm, se encuentran dispersos en los cristales de cuarzo II.

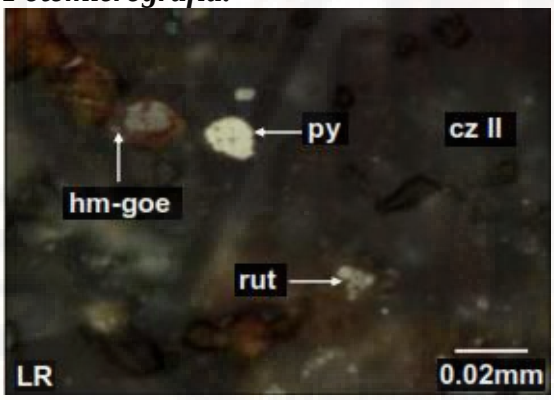
Pirita (trazas): Se desarrolla como granos subredondeadas con tamaño inferiores a 12 µm, se encuentra dispersa en los cristales de cuarzo II.

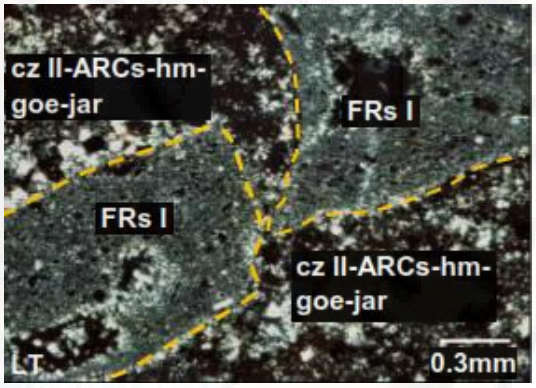
Óxidos de hierro (hematita, goethita y jarosita) (10.5%): Se desarrolla como agregado coloformes y formas irregulares, se encuentran asociadas a cuarzo II y minerales arcillosos, escasamente se encuentra diseminados en los fragmentos de la roca.

Textura: Relleno y reemplazamiento, perlítico (protolito-fragmentos).

Alteración: Silicificación intensa y argilización débil y relicticos.

Fotomicrografía:





Fotomicrografía (21) *Fotomicrografía (22)*

Fotomicrografía: ***(21)*** *Granos redondeados de pirita (py) dispersos en los agregados de cuarzo II (cz II).* ***(22)*** *Fragmentos de roca I (FRs I), compuesto por agregados microcristalinos de cuarzo II (cz II), englobados por una asociación de cuarzo II, minerales arcillosos, hematita, goethita y jarosita (cz II-ARCs-hm-goe-jar)* ***LR:*** *Luz Reflejada* ***LT:*** *Luz Transmitida*

j. Muestra MM-AYA-016

- Descripción Macroscópica.

Roca gris claro y de aspecto estratificado, con intercalaciones y bandas de cuarzo de grano muy fino, se encuentra fuertemente teñidas por óxidos de hierro y minerales arcillosos.	

- Descripción Microscópica:

Clasificación: Roca intensamente silicificada de aspecto bandeado constituido por bandas intercaladas.

Banda I (32%), está constituida por agregados granulares de cuarzo II de forma irregulares y bordes de tamaño inferior a 0.2 mm, presenta intersticios rellenos de óxidos de hierro (hematita, goethita y jarosita).

Banda II (10%), contiene agregados microgranulares de cuarzo III de forma irregulares y tamaños menores a 0.04mm, asociados a minerales arcillosos, intersticios rellenos de óxido de hierro (hematita, goethita) y moldes fenocristales tabulares de feldespato intensamente reemplazado por cuarzo II.

Banda III (33%), banda conformada por agregados microgranulares de cuarzo IV, teñida por óxido de hierro, también presente cristales subhedrales de rutilo de tamaño inferior a 0.25 mm.

Especies Minerales:

Rutilo (1%): Se expone como cristales anhedrales a subhedrales de forma irregular y reticular de tamaño menor a mm, están dispersos entre los agregados de cuarzo III.

Pirita (trazas): Se presenta como diseminados de forma irregular y tamaño menor a 0.03mm, se encuentra dispersas en la zona deformada de la muestra.

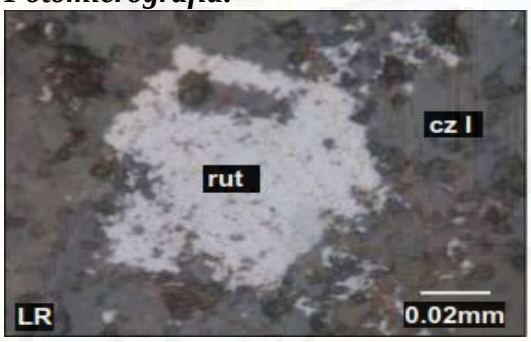
Minerales arcillosos (5%): Se aprecia como agregados terrosos y pulverulentos, que están asociados a los agregados microgranulares de cuarzo en la banda II.

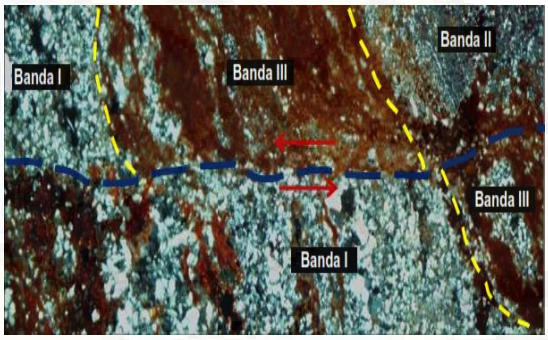
Óxidos de hierro (hematita-goethita) (18%): Se expone como pseudo-formas cubicas y cristales anhedrales de forma irregulares con tamaño inferiores de 0.1mm., rellenan espacios intersticiales entre los granos de cuarzo.

Textura: Bandeada, relleno y reemplazamiento.

Alteración: Silicificación oxidación supérgena intensa.

Fotomicrografía:





Fotomicrografía (23) *Fotomicrografía (24)*

*Fotomicrografía:**(23)** Cristales de rutilo (rut) de forma reticular desarrollado en las bandas III **(24)** Microfallas que ha cortado y desplazado a las bandas de la muestra **LR:** Luz Reflejada **LT:** Luz Transmitida*

Interpretación del estudio Petromineragráficos.

Las muestras de roca del yacimiento Ayahuanca presentan hasta tres generaciones de cuarzo, seguida por sílice amorfa (calcedonia), minerales arcillosos, rutilo, clorita, óxidos de hierro (jarosita, hematita, goethita), Oro nativo-electrum, pequeñas cantidades de zircón, pirita y epidota.

Entre los protolitos mayoritarios tenemos a la toba litocristalino de tipo lapilli, andesitas, lavas y brechas volcánicas las cuales han sido reemplazadas por varias generaciones de sílice, minerales arcillosos y óxidos de hierro, así mismo se presencia de relictos de pirita y diseminaciones de Oro nativo –electrum.

Cuadro Nro 4 Tamaño de partícula de oro y asociación.

Relación de tamaño de las partículas de Oro Nativo (Au)				
# Partículas	**Largo (µm)**	**Ancho (µm)**	**Área (μm^2)**	**Asociación**
1	8	4	32	Au/cz II
3	30	8	240	Au/py
1	22	4	88	Au/cz

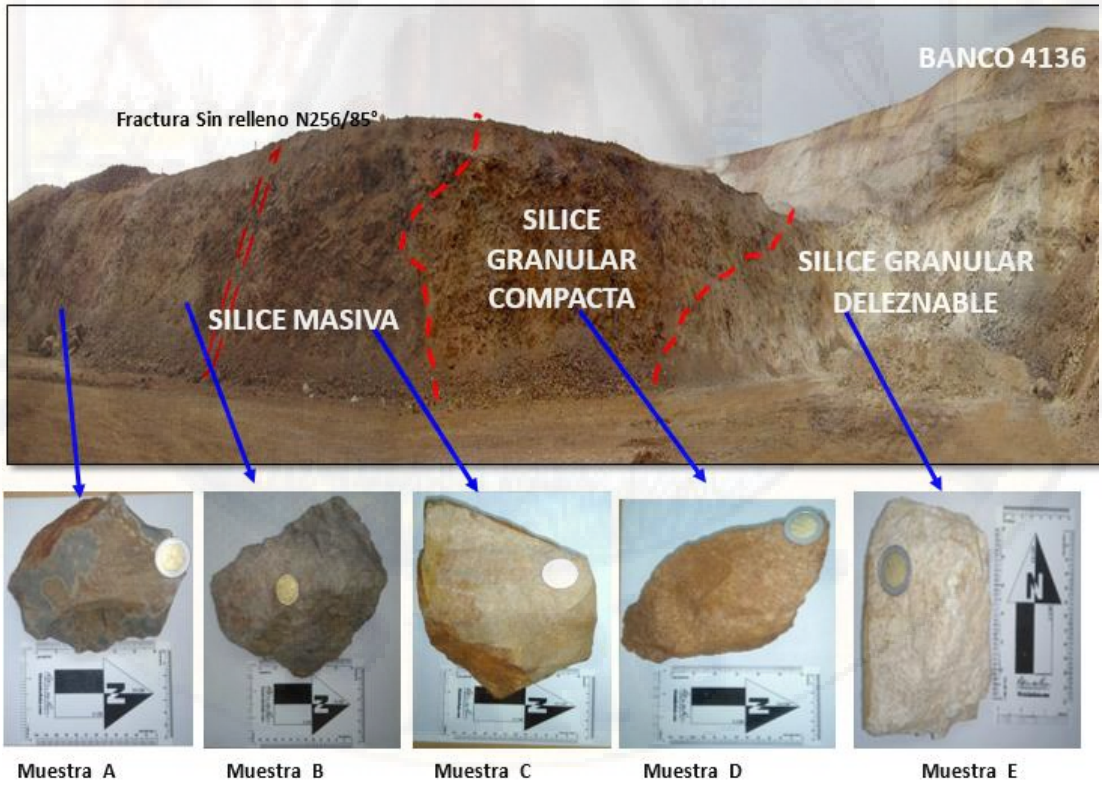
Se presenta granos irregulares de Oro nativo-electrum, las cuales aprecian como inclusiones en el cuarzo II y pirita, así mismo se muestra estructuras formadas por numerosas bandas compuestas por sílice amorfa, cuarzo con finas diseminaciones de Oro nativo-electrum y pirita.

Cuadro Nro 5 Posible secuencia paragenética del yacimiento Ayahuanca.

Mineralización	ALTERACIÓN HIDROTERMAL	HIPOGENICA			SUPERGENICA
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	
Cuarzo II	- - - - -	- - —			
Cuarzo III		—	— —		
Cuarzo IV			— —	—	
Epidota	- - - -				
Cloritas	- - - -				
Rutilo	- - -				
Pirita		- -	- - -		
Oro Nativo-Electrum			- - - -	-	
Minerales Arcillosos	— — —				
Sílice Amorfa			- - -	- -	
Óxidos de Fe (hematita, goethita, jarosita)				- - -	
MAYOR TEMPERATURA INICIAL →					MENOR TEMPERATURA FINAL
	Escaso - - -	Moderado —		Abundante —	

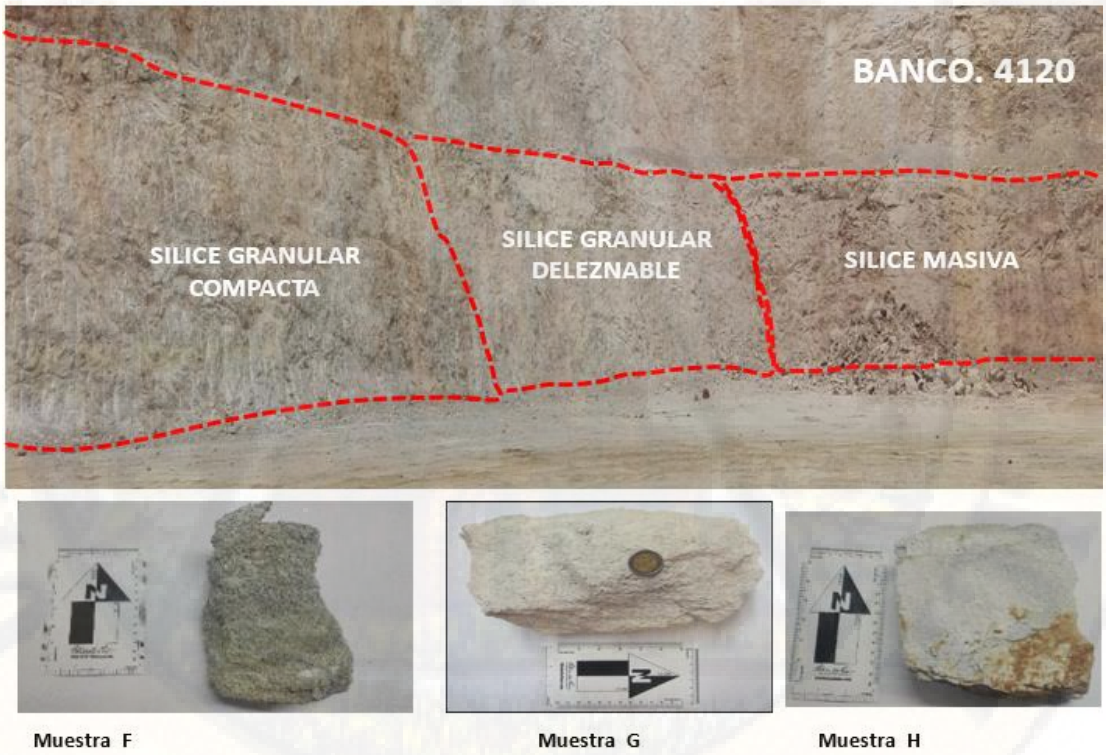
4.1.4 Mapeo Geológico por dominio de Alteración hidrotermal.

Se realiza trabajos de mapeo y cartografiado geológico del yacimiento en la etapa de explotación, en bancos de producción y en los taludes para determinar el dominios geológicos de alteración del mineral epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.



*Muestra**(A)** Brechas hidrotermales con protolito andesitico, levemente alterados con presencia de pirita< 2%, ley 0.7 g/t Au. **(B)** Brecha hidrotermal con protolito andesitico con alteración de sílice masiva, presencia de inyecciones de sílice crema, ley 0.60 g/t Au **(C)** Brecha hidrotermal con alteración sílice masiva, presencia de sílice crema en la matriz, ley 0.45 g/t Au **(D)** Brechas con protolito andesitico (relicto porfiritico), con alteración sílice granular compacta, presentes en el contacto entre brechas hidrotermales y andesita, ley 0.18 g/t Au **(E)** Andesita de textura porfiritica con alteración de sílice granular deleznable, ley 0.21 g/t Au.*

Geológicamente se identifica brechas hidrotermales, estas brechas presentan un protolito de brechas fretomagmáticas y andesita, mientras se va profundizando se evidencia que se restringe la brecha a solo canales en medio de un protolito andesitico, como control de mineralización se identifican inyecciones de sílice crema e inyecciones de sílice gris las cuales contiene mayor contenido de Au, en la zona central se identifican remanentes de andesita dentro de la brecha hidrotermal que también presenta inyecciones de sílice crema y sílice gris con una orientación sub-vertical



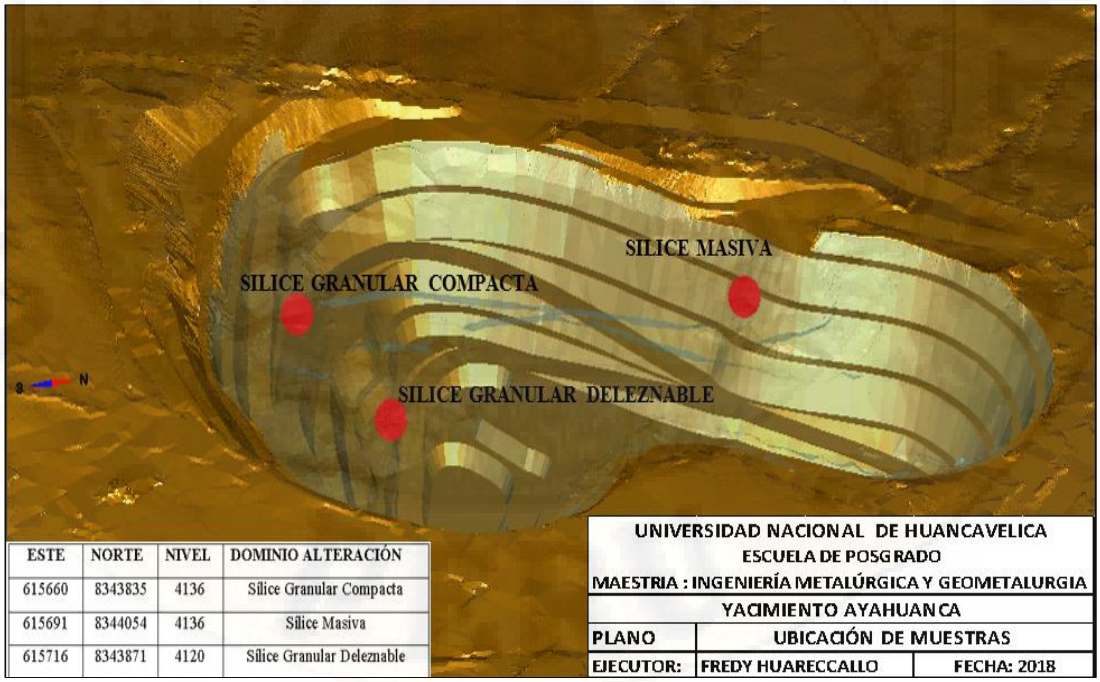
*Muestra **(F)** Andesita, con alteración de sílice granular compacta, presencia de venillas e inyecciones de sílice crema , OxFe en fracturas de 1 %, ley 0.14 g/t Au, **(G)** Andesita con alteración de sílice granular deleznable, presencia de sílice crema en fracturas, además venillas e inyecciones de sílice gris, OxFe en fracturas menor a 1% principalmente en fracturas, ley 0.32 g/t Au **(H)** Brechas de protolito andesitico, con alteración de sílice masiva, presencia de sílice crema en fracturas, con venillas e inyecciones de sílice gris en fracturas en 1-3 % principalmente en fracturas, ley 0.16 g/t Au.*

En el yacimiento Ayahuanca las zonas de mineralización económica se encuentra restringida a la brecha hidrotermal y halos a los bordes en la roca caja (andesita, dacita), predomina como alteración la sílice granular compacta, en la zona de brecha, mientras que en los halos de andesita degrada a sílice granular deleznable y en los halos con dacita predomina la sílice masiva, se tiene como guía de mineralización a la presencia de sílice crema, sílice gris y puntualmente relictos de andesita con pirita diseminada (1%), así como también la presencia de escorodita principalmente en las zonas donde predomina la dacita.

Se establece tres dominios geológicos bien definidos en el yacimiento Ayahuanca por su alteración hidrotermal: sílice masiva, sílice granular compacta y sílice granular deleznable.

Muestreo por dominio de alteración hidrotermal.

La determinación del criterio a usarse en el muestreo se fundamenta en el mejor entendimiento disponible de la geología, de las composiciones químicas y mineralógicas de las zonas mineralizadas, el muestreo cubre todo los rangos de las características del yacimiento Ayahuanca, además proporciona el material suficiente que sirva para cuantificar la variación de dichos parámetros dentro de cada unidad geometalúrgica.



ESTE	NORTE	NIVEL	DOMINIO ALTERACIÓN
615660	8343835	4136	Silice Granular Compacta
615691	8344054	4136	Silice Masiva
615716	8343871	4120	Silice Granular Deleznable

Fig.Nro 18 Ubicación de las muestras según dominio de Alteración hidrotermal.

Determinado los dominios geológicos por alteración hidrotermal en el yacimiento Ayahuanca, se ubica los puntos para extraer muestras por cada alteración. Las muestras obtenidas de cada dominio de alteración del yacimiento Ayahuanca son procesadas mecánicamente y separadas según la secuencia y protocolo de trabajo requerido para los siguientes estudios:

Estudios Mineralógicas: microscopia electrónica, análisis mineralógico, grado de liberación y difracción de rayos x (DRX) con tubo de cobalto.

Estudios de Características Físico Químicas: Granulometría del mineral (ROM), % de finos (pasante malla 200), velocidad de percolación, % saturación, densidad del mineral, densidad, contenido de finos de Au, resistencia a la compresión uniaxial

Estudios Metalúrgicos: Pruebas de cianuración a distintas escalas como flash, botella para evaluar las respuestas metalúrgicas iniciales a malla finas (60% pasante malla 200) optimizando parámetros del proceso de cianuración, en las pruebas de columna se evalúa las respuestas metalúrgicas en tamaño de partículas ROM y condiciones operacionales industriales del proceso de cianuración en pilas de lixiviación.

4.1.5 Estudios Mineralógicos.

a. Análisis mineralógico de grado de liberación.

El objetivo es caracterizar mineralógicamente cada muestra, identificando las especies minerales metálicas y determinar el grado de liberación de cada especie.

Cuadro Nro 6 Nomenclatura de especies minerales citados en estudio mineralógico.

Nombres	Símbolo	Composición Química	Densidad (g/cm^3)	Dureza Mohs
Calcopirita	cp	$CuFeS_2$	4.2	3.5
Cuarzo	cz	SiO2	2.62	7
Goethita	goe	FeO.OH	3.8	5.0
Hematita	hm	Fe2O3	5.3	6.5
Pirita	py	FeS2	5.01	6.5
Rutilo	rut	TiO2	4.25	6.5

Nota: El termino trazas se aplica en valores menores a 0.5%

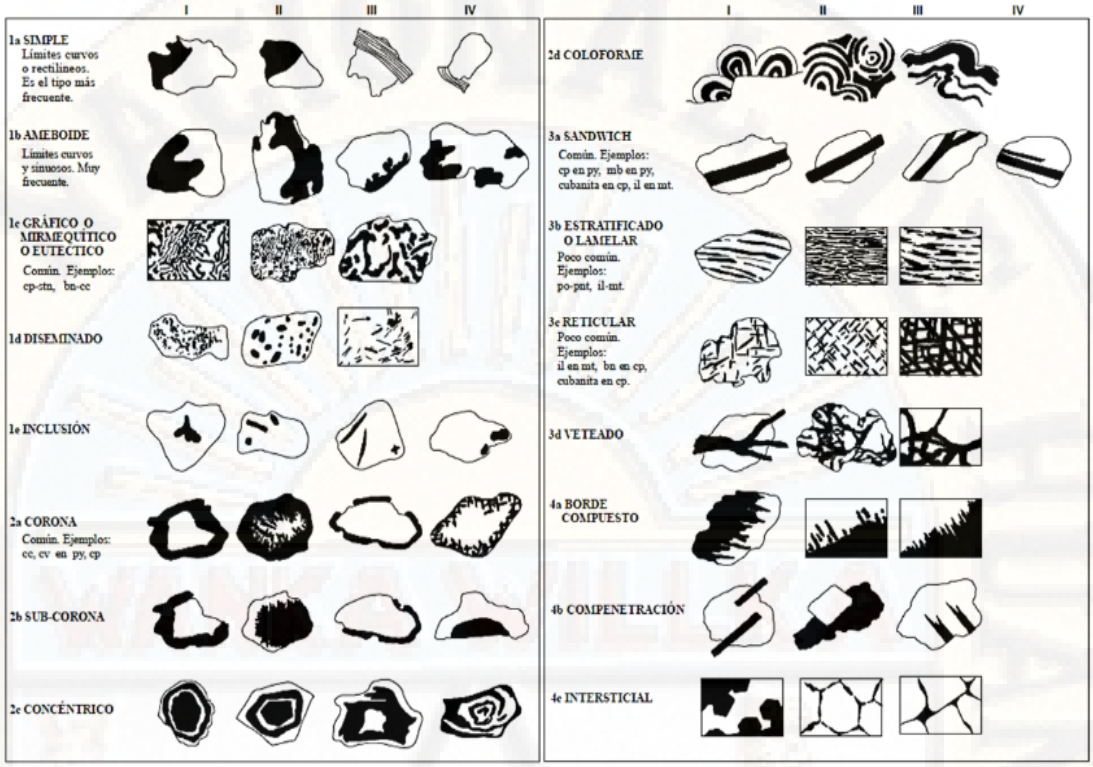


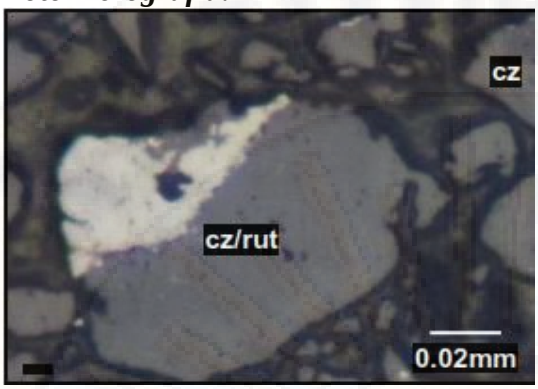
Fig.Nro 19 Tipos de geométricos de intercrecimientos entre minerales (Canchaya & Cardoso, 1977).

- Sílice Granular Compacta:

Cuadro Nro 7 Análisis mineralógico de muestra sílice granular compacta.

Partículas Libres	No. Part.	%Vol	Grado de Liberación	py		rut		goe		cz	
Pirita	3.25	0.32	86.31	0.32	100.00						
Rutilo	3.50	0.34	20.71			0.34	100.00				
Goethita	0.00	0.00	0.20					0.00	0.00		
Cuarzo	880.00	85.37	98.09							85.37	100.00
Parcial	886.75	86.03		0.32		0.34		0.00		85.37	
Partículas Mixtas			Asociaciones (Ver Fig Nro 19)	py		rut		goe		cz	
cz/rut	131.00	12.71	1a (II); 1b (IV); 1e (I, II)			1.36	1.83			11.35	83.70
cz/py/rut	10.00	0.97	1b (I, II); 1e(I)	0.05	0.00	0.05	0.00				
cz/goe/rut	3.00	0.29	1a (I, II); 1e (I, IV)			0.01	0.00	0.01	0.20		
Total	1030.75	100.00									
%Volumen				0.37		1.76		0.01		96.72	
Peso Específico				5.01		4.25		5.3		2.66	
%Peso				0.69		2.8		0.02		96.49	
Grado de Liberacion				86.31		20.71		0.2		98.09	

Fotomicrografía:



Fotomicrografía (25) *Fotomicrografía (26)*

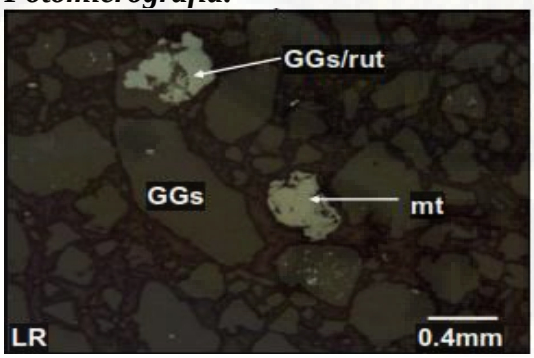
*Fotomicrografía:**(25)** Cristales mixtos binarios de cuarzo (cz) y rutilo (rut) **(26)** Granos mixtos ternarios de cuarzo (cz), pirita (py) y rutilo (rut) **LR:** Luz Reflejada*

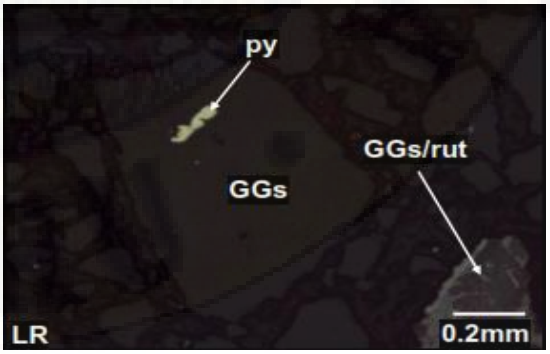
- Sílice Masiva:

Cuadro Nro 8 Análisis mineralógico de muestra sílice masiva

Partículas Libres	No. Part.	%Vol	Grado de Liberación	py		goe		rut		mt		hm		cz	
Pirita	5.30	0.23	91.92	0.23	100.00										
Goethita	3.00	0.13	93.11			0.13	100.00								
Rutilo	8.50	0.36	48.09					0.36	100.00						
Magnetita	1.00	0.04	100.00							0.04	100.00				
Hematita	2.20	0.09	78.22									0.09	100.00		
Cuarzo	2243.00	96.12	99.48											96.12	100.00
Parcial	2263.00	96.98		0.23		0.13		0.36		0.04		0.09		96.12	
Partículas Mixtas			Asociaciones(Ver Fig. Nro 19)	py		goe		rut		mt		hm		cz	
cz/py	10.00	0.43	1a(II), 1e(IV), 1e(III)	0.02	0.15									0.41	92.15
cz/rut	56.00	2.40	1e(IV), 1b(II), 4b(III)					0.47	7.85					1.93	76.78
hm/goe	1.50	0.06	2b(I)			0.01	4.51					0.05	61.84		
cz/hm	2.00	0.09	1a(I), 2b(I)									0.02	16.50	0.06	46.50
cz/py/rut	1.00	0.04	1e(IV)	0.00				0.00						0.04	90.00
Total	2333.50	100.00													
%Volumen				0.25		0.14		0.83		0.04		0.16		98.56	
Peso Específico				5.01		3.8		4.25		5.15		5.3		2.66	
%Peso				0.46		0.2		1.32		0.08		0.32		97.61	
Grado de Liberación				91.92		93.11		48.09		100		78.22		99.48	

Fotomicrografía:





Fotomicrografía (27) *Fotomicrografía (28)*

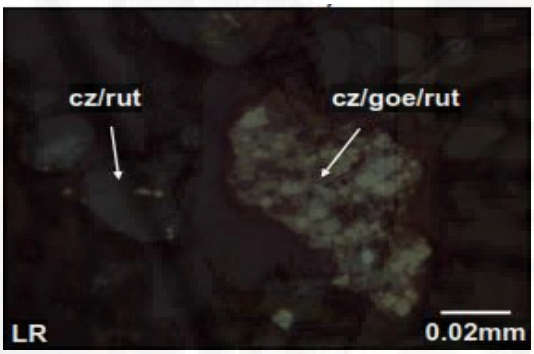
*Fotomicrografía:**(27)** Granos libres de ganga (GGs) y magnetita (mt); granos mixtos binarios de mineral de ganga no metálicas y rutilo (GGs/tut) **(28)** Granos mixtos binarios de ganga y pirita (GGs/py) **LR:** Luz Reflejada.*

- Sílice Granular Deleznable:

Cuadro Nro 9 Análisis mineralógico de muestra sílice granular deleznable.

Partículas Libres	No. Part.	%Vol	Grado de Liberación	py	cp l	goe	rut	hm	Au	cz
Pirita	3.70	0.19	95.00	0.19 100.00						
Calcopirita	2.20	0.11	100.00		0.11 100.00					
Goethita	2.60	0.13	86.08			0.13 100.00				
Rutilo	13.00	0.67	42.29				0.67 100.00			
Hematita	4.00	0.21	100.00					0.21 100.00		
Oro Nativo	0.20	0.01	100.00						0.01 100.00	
Cuarzo	1820.00	93.52	98.54							93.52 100.00
Parcial	1845.70	94.84		0.19	0.11	0.13	0.67	0.21	0.01	93.52
Partículas Mixtas			Asociaciones (Ver Fig. Nro. 19)	py	cp l	goe	rut	hm	Au	cz
cz/py	5.50	0.28	1e(I)	0.01						0.27 95.00
cz/rut	93.00	4.78	1e(I)				1.15 9.48			3.63 61.58
GGs/rut/goe	2.00	0.10	1b(IV), 1b(II)			0.07 59.50	0.02 1.00			0.01 1.00
Total	1946.20	100.00								
%Volumen				0.20	0.11	0.20	1.84	0.21	0.01	97.43
Peso Específico				5.01	4.2	3.8	4.25	5.3	17.64	2.66
%Peso				0.37	0.18	0.29	2.89	0.4	0.07	95.82
Grado de Liberación				95	100	86.08	42.29	100	100	98.54

Fotomicrografía:



Fotomicrografía (29) *Fotomicrografía (30)*

*Fotomicrografía:**(29)** Grano libre de cuarzo (cz) y Oro nativo (Au) **(30)** Grano mixto mixto binario de cuarzo y rutilo (cz/rut); granos mixtos ternarios de cuarzo, goethita y tutilo (cz/goe/rut) **LR:** Luz Reflejada*

b. Microscopia Electrónica.

En este estudio se identifica especies minerales que no pueden ser reconocidos al microscopio optimo, minerales que pueden ser granos sub-microscópico o estén formando en soluciones con minerales mayoritarios. También se podría determinar las variedades de sulfosales de plomo, plata, bismuto, etc., que pueden estar presentes

como inclusión o diseminado dentro de los minerales mayoritarios.

- Sílice Granular Compacta:

Cuadro Nro 10 Microscopía electrónica de muestra sílice granular compacta.

MINERALOGIA	Cuarzo, Pirita, Hematita, Goethita, Galena, Arsenopirita, Rutilo, Zircón y Escorodita.	
Minerales	**Descripción**	**Tamaño de Partícula (µm)**
Cuarzo	Presencia inclusiones de arsenopirita con oro galena Muestra diseminaciones de rutilo Ocurre asociado a pirita escorodita	250 – 350
Pirita	Ocurre intercedidos con cuarzo	20
Hematita	Presencia contenidos de oro Se encuentra intercrecidas con goethita	50 – 60
Arsenopirita	Presenta contenido de oro	15
Escorodita	Se encuentra asociados a cuarzo	20
Galena	Se aprecia como inclusión en cuarzo Se asocia a rutilo	3 - 10

El orden de predominancia de los minerales analizados fue:

Cuarzo>pirita>rutilo>trazas (zircón>escorodita>arsenopirita> hematita> galena).

No se aprecia Oro metálico en la muestra. El Oro (Au) se aprecia como sub-microscópica o como solución sólida, en las partículas de pirita, arsenopirita y óxidos de hierro (hematita – goethita).

Cuadro Nro 11 Composición Química de minerales sílice granular compacta.

Minerales	Composition Quimica (%)													TOTAL
	Au	Fe	O	Zr	Ba	Ag	Sb	Si	Pb	Cu	As	Ti	S	
Cuarzo + Goethita	0.40	46.14	35.06					16.64			1.76			100
Pirita	0.91	47.67											51.42	100
Oxidos de Fe (Goethita)	0.10	66.07	33.83											100
Rutilo			44.42					20.14				35.44		100
Escorodita		19.85	32.51					19.82			27.82			100
Galena		11.73	33.71					16.21	21.40			14.46	2.49	100
Pirita		45.71											54.29	100
Rutilo		11.58	43.90									44.52		100
Zircón			42.19	31.74				26.07						100
Arsenopirita	0.60	31.75									42.54		25.12	100
Pirita	0.56	44.79											54.64	100

Imágenes de la muestra con su análisis y elementos obtenidos con el microscopio electrónico de barrido.

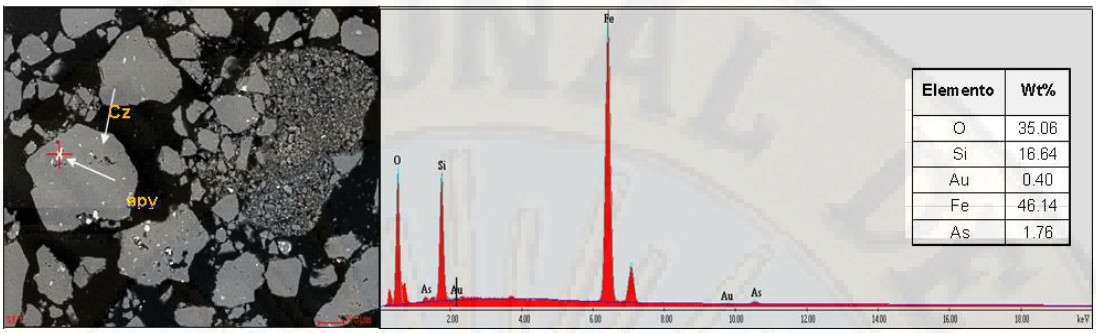


Imagen (a) *Imagen (b)*

*Imagen:**(a)** Región marcada con una partícula de cuarzo(cz) con inclusiones de arsenopirita (apy) con trazas de Oro **(b)** Espectro de la cual muestra los elementos presentes: oxigeno, silicio, Oro , hierro y arsénico.*

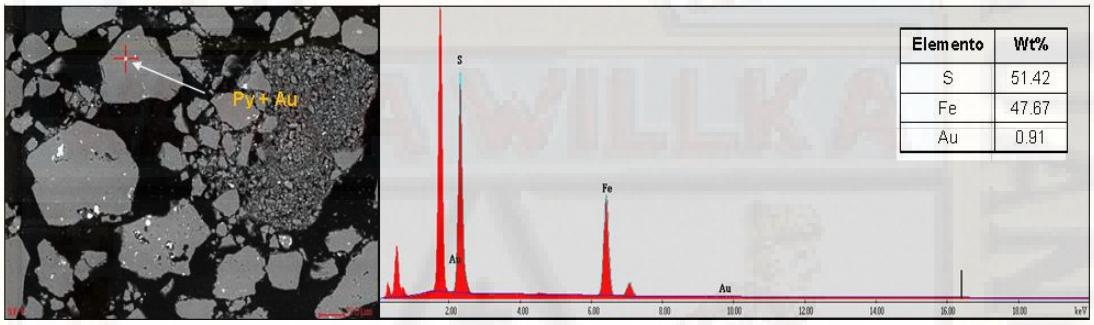


Imagen (a) *Imagen (b)*

*Imagen:**(a)** Región marcada con una partícula de pirita (py), con Oro (Au) dentro de su composición química (soluciones solidas-Oro refractario), de tamaño milimétrico **(b)** Espectro que muestra los elementos presentes: oxigeno, hierro y Oro*

- Sílice Masiva:

Cuadro Nro 12 Microscopía electrónica de muestra sílice masiva.

MINERALOGIA	Cuarzo, Baritina, Rutilo, Ilmenita, Calcopirita, Pirita, Esfalerita, Galena, Escorodita, Casiterita y Goethita.	
Minerales	**Descripción**	**Tamaño de Partícula (µm)**
Cuarzo	Como extensiones y formas irregulares, muestra inclusiones de rutilo, ilmenita, pirita y baritina, presenta asociaciones a goethita	Milimétrico 15-65
Baritina	Como inclusiones en cuarzo	2 – 10
Rutilo	Presente como inclusiones en cuarzo, se encuentra intercrecidas con ilmenita	5 -20
Pirita	Se asocia al cuarzo y con contenido de oro	2 -10
Galena	Presente como grano irregulares	milimétrico
Casiterita	Ocurre como inclusión en cuarzo	10
Escorodita	Ocurre como partícula libre	5
Esfalerita	Se observa como granos libres	5
Goethita	Muestra contenido de arsénico (As) y Oro (Au), incluidas en cuarzo	20

El orden de predominancia de los minerales analizados fue:

Cuarzo>goethita>rutilo>trazas (galena>escorodita>pirita>casiterita>esfalerita).

No se aprecia Oro metálico en la muestra. El Oro (Au) se aprecia como sub-microscópica o como solución sólida, en las partículas de pirita, calcopirita y óxidos de hierro (goethita).

Cuadro Nro 13 Composición Química de minerales sílice masiva.

Minerales	Composición Química (%)													TOTAL
	Au	Fe	O	Zn	Ba	Ag	Sn	Si	Pb	Cu	As	Ti	S	
Cuarzo			49.96					53.04						100
Baritina			33.64		41.25			13.09					12.02	100
Rutilo			39.00					10.35				50.65		100
Cuarzo + pirita		23.02	27.68					19.93					29.38	100
Rutilo		2.02	46.25									51.73		100
Cuarzo + Goethita	0.28	51.95	34.86					12.91						100
Cuarzo + Goethita		48.41	37.79					13.79						100
Galena						1.08			87.07				11.85	100
Calcopirita	1.43	26.19								33.58			38.80	100
Escorodita		25.36	38.19								36.45			100
Esfalerita		7.55		54.39									38.05	100
Cuarzo + Goethita	0.32	52.69	33.38										13.61	100
Baritina			32.50		29.79			28.63					9.08	100
Goethita + As + Au	0.64	44.39	38.23					13.58			3.16			100
Ilmenita		10.94	38.42					9.97				40.67		100
Goethita	0.50	49.79	36.49					13.22						100
Casiterita			24.88				34.32	40.80						100
Pirita	0.56	44.82											54.62	100
Pirita + Cuarzo	0.24	20.07	24.32					24.89					30.47	100

Imágenes de la muestra con su análisis y elementos obtenidos con el microscopio electrónico de barrido.

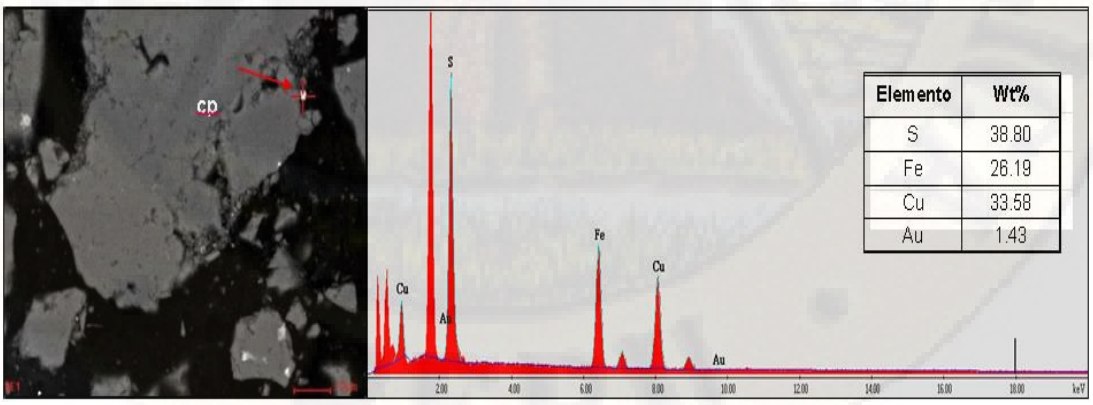


Imagen (a) *Imagen (b)*

Imagen: ***(a)*** *Región marcada con una partícula de calcopirita (cp), con contenido de Oro (Au) dentro de su composición química (soluciones solidas-Oro refractario), de tamaño 5 µm.* ***(b)*** *Espectro que muestra los elementos presentes: azufre, hierro, cobre y Oro*

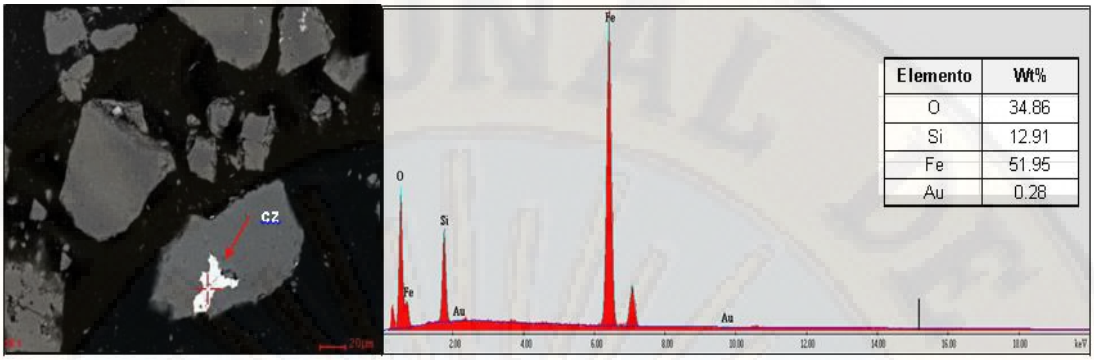


Imagen (a) *Imagen (b)*

*Imagen:**(a)** Partícula de cuarzo(cz) asociado a goethita (goe) con contenido de Oro (Au) dentro de su composición química (solución solida-Oro refractario), de tamaño aproximado de 25 µm. **(b)** Espectro que muestra los elementos presentes: oxigeno, silicio, hierro y Oro*

- Sílice Granular Deleznable:

Cuadro Nro 14 Microscopía electrónica de muestra sílice granular deleznable.

MINERALOGIA	Cuarzo, Goethita, Baritina, Esfalerita, Rutilo, Pirita, Plomo, Escorodita y Titanomagnetita.	
Minerales	**Descripción**	**Tamaño de Partícula (µm)**
Cuarzo	Presencia inclusiones de rutilo, zircón y esfalerita	Milimétrico
Goethita	Ocurren como granos libres. Se aprecia intercedido con rutilo y cuarzo	5-10 20
Titanomagnetita	Presenta como partícula libre	10
Escorodita	Se encuentra intercrecidas con galena Presencia como inclusión en cuarzo	5 - 10
Baritina	Se encuentra como inclusión en cuarzo	5
Leucoxeno-Rutilo	Se aprecia asociada a zircón	5
Pirita	Ocurre como inclusión en cuarzo	2

El orden de predominancia de los minerales analizados fue:

Cuarzo>goethita>trazas de (baritina>esfalerita>rutilo>pirita>plomo>escorodita> titanomagnetita).

No se aprecia Oro metálico en la muestra. El oro (Au) se aprecia como sub-microscópica o como solución sólida, en las partículas de pirita y óxidos de hierro (goethita).

Cuadro Nro 15 Composición Química de minerales sílice granular deleznable.

Minerales	Composición Química (%)													TOTAL
	Au	Fe	O	Mg	Ba	Ag	Zr	Si	Pb	Cu	As	Ti	S	
Rutilo			41.51					10.34				48.15		100
Goethita	0.38	59.73	39.89											100
Titanomagnetita		27.34	47.25								1.70	23.71		100
Rutilo-Goethita + Escorodita	0.94	48.04	44.90								1.22	4.91		100
Goethita	0.16	43.15	39.65					16.12			0.93			100
Escorodita		8.91	27.19					23.29	31.58		8.58		0.44	100
Goethita		13.48	40.59				24.65	13.79				7.49		100
Plomo									100					100
Goethita	0.35	37.21	41.35					19.28			1.81			100
Goethita	0.67	41.45	37.27					19.51			1.10			100
Pirita	0.49	46.27											53.24	100
Baritina			37.57		22.74			31.56					8.14	100
Esfalerita							65.63						34.37	100

Imágenes de la muestra con su análisis y elementos obtenidos con el microscopio electrónico de barrido.

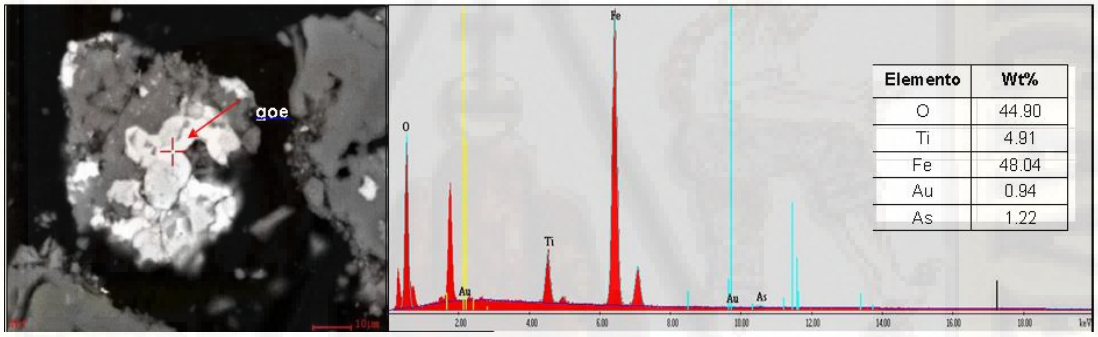


Imagen (a) *Imagen (b)*

*Imagen:**(a)** Partícula de goethita (goe) con contenido de arsénico (As) y Oro (Au) en su composición química intercrecida con rutilo (rut) de tamaño aprox 10 µm **(b)** Espectro que muestra los elementos presentes: oxigeno, titanio, hierro, Oro y arsénico.*

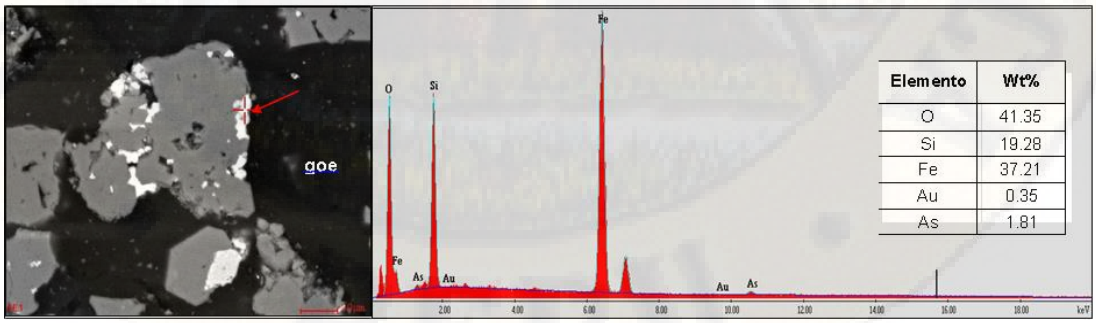


Imagen (a) *Imagen (b)*

*Imagen:**(a)** Partícula de goethita (goe), con contenido de arsénico (As) y (Au) su composición química (soluciones solidas), incluidas en cuarzo (cz) de tamaño 20 µm **(b)** Espectro que muestra los elementos presentes: oxigeno, silicio, hierro, Oro y arsénico.*

c. Análisis Mineralógico por difracción de Rayos X.

Los Análisis mineralógicos semicuantitativos por DRX se han determinado los minerales presentes (fase cristalina), con un límite de detección (L.D) de 1.0 % obtenido del procedimiento de validación.

Cuadro Nro 16 Análisis mineralógico por difracción de rayos X..

Nombre del Mineral	Fórmula General	Sílice Granular Compacta	Sílice Masiva	Sílice Granular Deleznable
Cuarzo	SiO_2	97%	98%	98%
Rutilo	TiO_2	3%	2%	2%

Interpretación del estudio Mineralógico.

El mineral del yacimiento Ayahuanca presenta cuarzo, (leocoxeno-rutilo-ilmenita), pirita, titonomagnetita, baritina, escorodita, galena, goethita, arsenopirita, óxidos de Bi-Cl (bismoclita), calcopirita, casiterita y Oro nativo.

En el análisis mineralógico por difracción de rayos X por separación granulométrica se ha identificado abundante cuarzo y rutilo.

En el estudio de microscopia electrónico, se ha encontrado Oro (Au) en solución sólida y/o submicroscopico (mineral refractario), en óxidos de hierro (hematita, goethita), óxidos de titanio-hierro y óxidos de Bi-Cl, dichos óxidos provienen de la alteración de la pirita (sulfuro de hierro), ilmenita-rutilo y arsenopirita.

El mineral del yacimiento presenta abundante granos de sulfuros de hierro (arsenopirita, calcopirita y pirita) la cuales contiene en su red cristalina Oro (Au); dichos sulfuros se muestran libre y granos mixtos con cuarzo/óxidos de Fe- Ti. Los granos mixtos o amarres mineralógicos observados son del tipo ameboide y como inclusión que se dan entre el cuarzo con pirita, óxidos de hierro (hematita, goethita), óxidos de Ti-Fe (leucoxeno-ilmenita-rutilo) y óxidos de Bi-Cl (bismoclita), dichos óxidos presentan Oro (Au) dentro de su composición química.

4.1.6 Resistencia de la roca del yacimiento Ayahuanca.

Se realiza resistencia pruebas a la compresión uniaxial a las muestras de las perforaciones diamantinas iniciales, determinando las propiedades físico-mecánicas de la roca del estado en que se encuentra el macizo rocoso y de sus características

mecánica-estructurales se establece un modelo geomecánico para caracterizar el macizo rocos del yacimiento utilizando martillo de Schmidt (esclerómetro). La resistencia mecánica de una roca es la propiedad de oponerse a su destrucción frente a una carga exterior, estática o dinámica, la roca opone una resistencia máxima a la compresión y comúnmente a la tracción, la resistencia de las rocas depende fundamentalmente de su composición mineralógica entre los minerales integrantes se destaca la presencia de cuarzo, que es el más sólido de los minerales.

a. Resistencia a la compresión Uniaxial (UCS)

Es sin alguna duda la propiedad geotécnica que más a menudo es citado en la práctica de la ingeniería de rocas, se entiende como un índice general que da una primera aproximación. La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) es el esfuerzo de compresión axial máximo que puede tolerar una muestra cilíndrica recta de material antes de fracturarse.

b. Clasificaciones Geomecánico de los macizos rocosos:

- Clasificación de Bieniawski (RMR).
- Clasificación de Barton (Q)
- Clasificación de Romana (SMR)
- Clasificación de Hoek Y Brown (GSI)

Para el modelamiento de bloques de la resistencia del macizo rocoso se toma la data de la resistencia a la compresión uniaxial realizada a las muestras de testigos de perforación diamantina de todo el yacimiento y se clasifica según Bienawski, en muy baja, media, alta y muy alta, además estos datos forman como base de datos para los estudios geotécnicos de estabilidad del yacimiento y para las operaciones de perforación voladura.

Cuadro Nro 17 Clasificación de rocas a partir de su resistencia a compresión simple.

CLASIFICACION DE LAS ROCAS A PARTIR DE SU RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE				
Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)	**ISMR (1981)**	**Geología Society of London (1970)**	**Bieniawski (1973)**	**Ejemplos**
< 1	Suelos			
1 - 5.0	Muy Blanda	Blanda > 1.25	Muy Baja	Sal, Lutita, Limolita, Marga, Toba, Carbón.
5 - 12.5	Blanda	Moderadamente Blanda		
12.5-25		Moderadamente Dura		
25 - 50	Moderadamente Dura		Baja	Esquisto, Pizarra
50 -100	Dura	Dura	Media	Rocas Metamórficas Esquistosas, mármol, granito, gneis, arenisca, caliza porosa.
100 - 200	Muy Dura	Muy Dura	Alta	Rocas Ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía
> 200		Extremadamente Dura	Muy Alta	Cuarcita, gabro, basalto.
> 250	Extremadamente Dura			

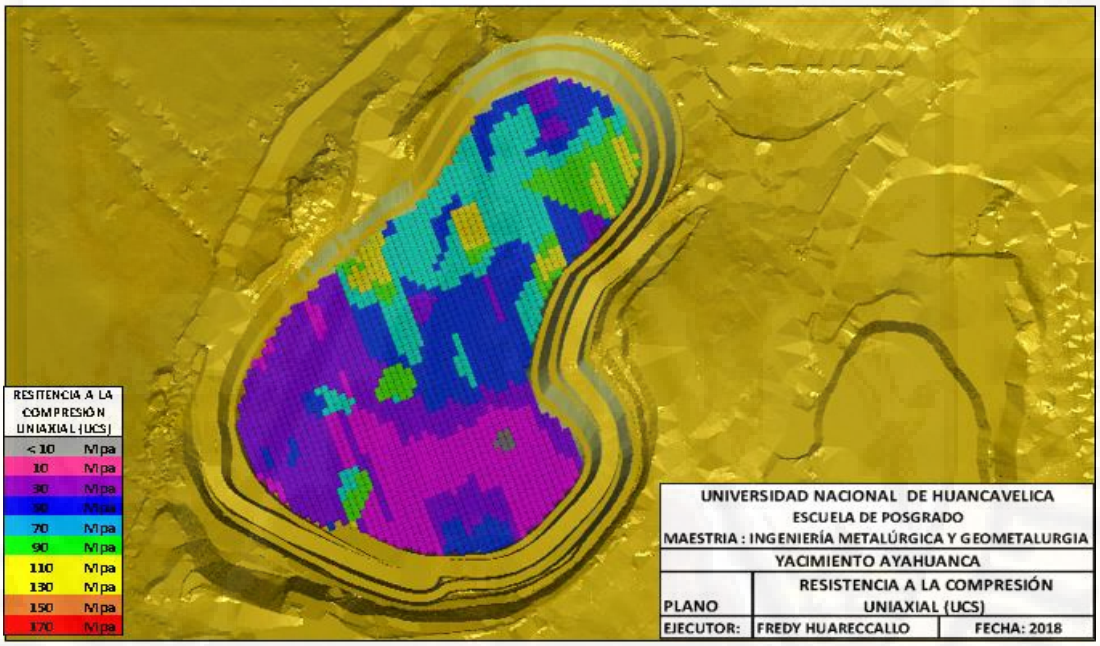


Fig.Nro 20 Modelo de bloques de resistencia a la compresión Uniaxial (UCS).

4.1.7 Prueba Metalúrgica.

Con el objetivo de evaluar el grado de extracción de Au del mineral epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca y concluir con un modelo metalúrgico basado en la extracción Au, en los principales dominios de alteración hidrotermal del yacimiento Ayahuanca e identificar las variables que influyen en la extracción Au en el proceso de cianuración. Se realiza plan de pruebas metalúrgicas a distintas escalas

a nivel de laboratorio de las muestras en estudios que representan el cuerpo mineralizado del yacimiento Ayahuanca, determinando la extracción Au, consumo de reactivos, tiempo de lixiviación en diferentes condiciones de la prueba realizadas

a. Estudio granulométrico.

Es la distribución por tamaño de las partículas de mineral ROM, para conocer la distribución de tamaño de las partículas que componen la muestra de mineral fragmentado, el P_{80} es el tamaño de tamiz que deja pasar 80% de las partículas del mineral.

Cuadro Nro 18 Granulométricas de sílice granular compacta.

SILICE GRANULAR COMPACTA		
Caracteristicas de mineral	**valor**	**unidad**
Malla de perforación	4.0 x 4.6	metros
Densidad de roca	2.15	t/m^3
Densidad aparente mineral	1.48	t/m^3

Mallas	Abertura (mm)	Pesos (Kg)	% Peso Retenido	% Peso Acumulado Retenido	% Peso Acumulado Pasante
´+ 6 "	152.4	631.00	3.20	3.20	96.80
´+ 4 "	101.6	795.50	4.03	7.23	92.77
´+ 2 "	50.8	3609.00	18.29	25.52	74.48
+ 1½"	38.1	1647.50	8.35	33.88	66.12
´- 1 1/2 "		13045.15	66.12	100.00	0.00
Total		**19728.15**	**100.00**		
			P_{80}	**2.60**	**pulg**

Cuadro Nro 19 Granulométricas de sílice masiva.

SILICE MASIVA		
Caracteristicas de mineral	**valor**	**unidad**
Malla de perforación	3.8 x 4.4	metros
Densidad de roca	2.34	t/m^3
Densidad aparente mineral	1.52	t/m^3

Mallas	Abertura (mm)	Pesos (Kg)	% Peso Retenido	% Peso Acumulado Retenido	% Peso Acumulado Pasante
´+ 6 "	152.4	925.20	4.97	4.97	95.03
´+ 4 "	101.6	1242.80	6.68	11.66	88.34
´+ 2 "	50.8	2752.80	14.80	26.46	73.54
+ 1½"	38.1	1654.20	8.89	35.35	64.65
´- 1 1/2 "		12023.28	64.65	100.00	0.00
Total		**18598.28**	**100.00**		
			P_{80}	**2.87**	**pulg**

Cuadro Nro 20 Granulométricas de sílice granular deleznable.

SILICE GRANULAR DELEZNABLE		
Caracteristicas de mineral	**valor**	**unidad**
Malla de perforación	4.6 x 5.3	metros
Densidad de roca	1.76	t/m^3
Densidad aparente mineral	1.35	t/m^3

Mallas	Abertura (mm)	Pesos (Kg)	% Peso Retenido	% Peso Acumulado Retenido	% Peso Acumulado Pasante
´+ 6 "	152.4	514.50	3.93	3.93	96.07
´+ 4 "	101.6	476.15	3.64	7.57	92.43
´+ 2 "	50.8	1550.18	11.85	19.42	80.58
+ 1½"	38.1	345.12	2.64	22.06	77.94
´- 1 1/2 "		10198.26	77.94	100.00	0.00
Total		**13084.21**	**100.00**		
			P_{80}	**1.89**	**pulg**

b. Prueba de Cianuración Flash (Quick Leach Test).

Es conocida como prueba rápida de cianuración, consiste en conocer el % máximo de extracción de Au en condiciones máximas de las variables del proceso de cianuración en un periodo corto de tiempo, también este valor de extracción se le conoce como cianurabilidad en medio alcalino del mineral en estudio, esta prueba se realiza bajo las condiciones del cuadro Nro. 21.

Cuadro Nro 21 Condiciones para prueba flash.

Condiciones de Operación	
Prueba Flash	Probeta 50 ml
Granulometria	60% -m200
[NaCN]	10,000 ppm
[NaOH]	3,000 ppm
Peso de Muestra	17 gr
Volumen de Solución	33 ml
Agitación	Rodillo

Cuadro Nro 22 Resultados de prueba flash.

Nivel Prueba	Codigo	Alteración	[NaCN] (ppm)	Extracción Au (%)
Flash	LMF-20	Silice Granular Compacta	10000	94.95
Flash	LMF-25	Silice Masiva	10000	83.65
Flash	LMF-02	Silice Granular Deleznable	10000	86.92

c. Pruebas de Botella (Bottle Roll Tests).

Las pruebas de cianuración en botellas, es efectuada para obtener información preliminar en un tiempo de periodo relativamente corto sobre el consumo de reactivos que intervienen en el proceso y % de extracción de Au, esta pruebas son efectuadas en botellas agitados en bancos de rotación mecánico de rodillos, así mismo en esta etapa se determina el efecto y la optimización de la concentración de cianuro de sodio en el proceso de cianuración para cada muestra en estudio.

Cuadro Nro 23 Condiciones de prueba botella.

Condiciones de Operación	
Prueba botella	Botella
Granulometria	60% -m200
[NaCN]	Variable
pH	10.5 - 11
Dilusión (l/S)	2.33
Peso de Muestra	360 gr
Volumen de Solución	840 ml
Tiempo	72 horas
Agitación	Rodillo

Cuadro Nro 24 Prueba botella a [NaCN] variable; sílice granular compacta.

Codigo	Alteracion	[NaCN]	Extracción de Au (%)			Consumo de Reactivo	
		(ppm)	Analizada	Calculada	Promedio	NaCN (Kg/t)	CaO (Kg/t)
BRT-P 20	Silice Granular Compacta	100	90.04	89.70	89.87	0.22	1.28
BRT-P 20	Silice Granular Compacta	250	93.21	93.63	93.42	0.27	1.16
BRT-P 20	Silice Granular Compacta	500	93.35	93.68	93.52	0.88	1.05
BRT-P 20	Silice Granular Compacta	750	94.24	94.50	94.37	1.07	0.96
BRT-P 20	Silice Granular Compacta	1000	94.38	94.45	94.42	2.04	0.71

Cuadro Nro 25 Prueba botella a [NaCN] variable; muestra sílice masiva.

Codigo	Alteracion	[NaCN]	Extracción de Au (%)			Consumo de Reactivo	
		(ppm)	Analizada	Calculada	Promedio	NaCN (Kg/t)	CaO (Kg/t)
BRT-P 25	Silice Masiva	100	79.16	78.84	79.00	0.35	1.42
BRT-P 25	Silice Masiva	250	80.00	81.64	80.82	0.49	1.22
BRT-P 25	Silice Masiva	500	82.16	83.61	82.89	0.82	1.11
BRT-P 25	Silice Masiva	750	83.24	84.76	84.00	1.30	0.91
BRT-P 25	Silice Masiva	1000	84.32	85.37	84.85	1.98	0.87

Cuadro Nro 26 Prueba botella a [NaCN] variable; sílice granular deleznable.

Codigo	Alteracion	[NaCN]	Extracción de Au (%)			Consumo de Reactivo	
		(ppm)	Analizada	Calculada	Promedio	NaCN (Kg/t)	CaO (Kg/t)
BRT-P 02	Silice Granular Deleznable	100	82.30	81.62	81.96	0.23	1.12
BRT-P 20	Silice Granular Deleznable	250	84.10	85.49	84.80	0.46	1.05
BRT-P 20	Silice Granular Deleznable	500	86.24	87.49	86.87	1.01	0.93
BRT-P 20	Silice Granular Deleznable	750	87.46	88.78	88.12	1.34	0.92
BRT-P 20	Silice Granular Deleznable	1000	88.99	89.90	89.45	2.02	0.88

Las concentraciones mayores a 250 ppm de NaCN en el proceso de cianuración de mineral epitermal de alta sulfuración del tajo Ayahuanca presentan incremento mínimo en las extracción de Au, desde una evaluación técnica-económica no presta mayor importancia por el incremento de consumo de reactivos, por lo mencionado se realizarán las siguientes pruebas metalúrgicas a concentración de 250 ppm de NaCN en la solución lixiviante.

d. Prueba de Columnas (Column Test).

Esta prueba consiste en obtener datos del proceso de cianuración por percolación, se realiza con el objetivo de determinar con mayor acercamiento a escala industrial parámetros operativos como tiempo óptimo de regado, ratio de riego, concentración de cianuro, consumo de reactivos, % de extracción de Au y cinética de cianuración del proceso de cianuración por percolación.

Para este estudio se utiliza dos tipos de columna que varía en altura y diámetro de la columna, y la muestra en estudio varia la granulometría según el diámetro de la columna.

e. Prueba de Columnas medianas (12”x 1.3m.)

La prueba de cianuración en columnas medianas se realiza en columnas de diámetro de 12” y un tamaño máximo de 2” de mineral en prueba, uno de los fines de esta prueba es determinar la factibilidad de cianuración por percolación, proyección de consumo de reactivos, tiempo de regado y cinética del proceso en un circuito abierto.

Cuadro Nro 27 Parámetros y condiciones para pruebas en columna 12”x 1.3m.

DATOS OPERACIONALES DE COLUMNAS 12" x 1.3 m				
Alteración hidrotermal yacimiento Ayahuanca	**Unidad**	**Silice Granular Compacta**	**Silice Masiva**	**Silice Granular Deleznable**
Código Metalúrgico		LMM-20	LMM-25	LMM-02
Tamaño de partícula	Pulg	< 2"	< 2"	< 2"
Humedad	%	0.20	0.00	0.20
Peso de mineral seco	Kg	99.80	100.00	100.88
Diametro de columna	cm	28.30	28.30	28.30
Altura de columna	cm	127.80	127.80	127.80
Velocidad de percolación	m/dia	1.67	1.95	0.89
Ratio de cal	kg/t	0.47	0.50	0.13
Densidad bulk inicial seca	t/m^3	1.45	1.55	1.37
Densidad de riego	$l/h*m^2$	12.00	12.00	12.00
Concentraciòn de Cianuro	ppm	250	250	250
Consumo de cianuro	kg/t	0.80	0.41	0.47
Saturación total	%	12.05	17.79	27.94
Dias de riego	dias	15	10	10
Dias de lavado	dias	4	4	4

Cuadro Nro 28 Resumen de extracción de columna 12”x 1.3m.

RESUMEN GENERAL DE % EXTRACCIÓN DE Au EN COLUMNA MEDIANAS							
Alteración hidrotermal Yacimiento Ayahuanca	**Extracción Analizada**			**Extracción Calculada**			**Promedio Extracción Au (%)**
	Cabeza Au (g/t)	**Ripios Au (g/t)**	**Extracción Au (%)**	**Cabeza Au (g/t)**	**Ripios Au (g/t)**	**Extracción Au (%)**	
Silice Granular Compacta	1.750	0.135	92.29	1.686	0.135	91.99	92.14
Silice Masiva	0.192	0.065	66.15	0.203	0.065	68.01	67.08
Silice Granullar Deleznable	0.328	0.066	80.00	0.364	0.066	81.95	80.98

La cinética del proceso nos indica el % extracción de Au, tiempo del proceso, para nuestro estudio se diferencia en cada muestra estudiada, dando inicio que las muestran

son independiente y que cada muestra en estudio presenta su propia respuesta metalúrgica al proceso de cianuración por percolación.

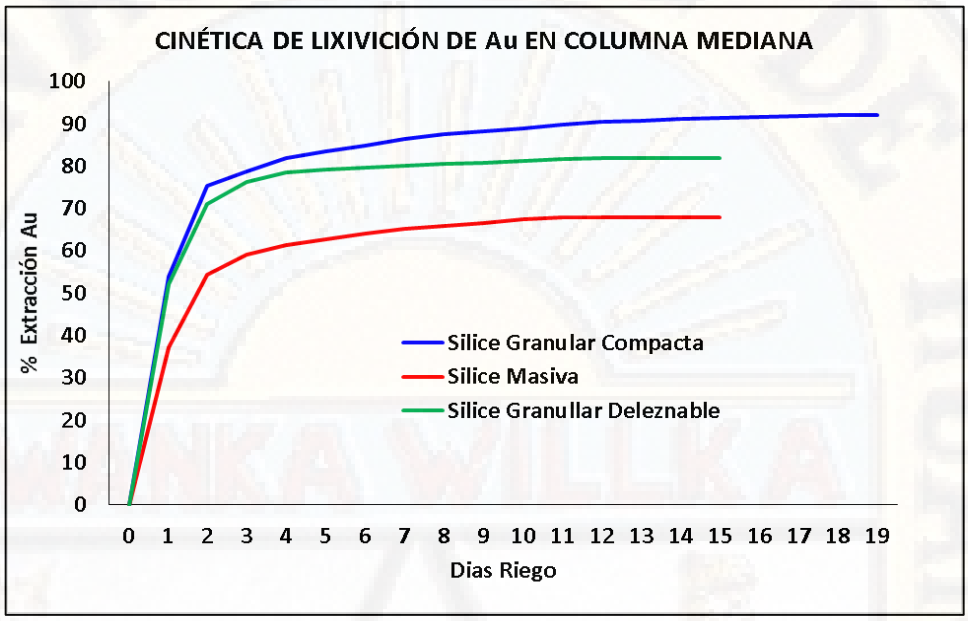


Fig.Nro 21 Cinética de lixiviación en columna 12"x 1.3m.

f. Prueba de Columna Grande (30"x 6m.)

La finalidad de esta prueba es acercarse a una escala a nivel industrial, donde la partícula del mineral es ROM y los parámetros obtenidos serán escalados a una operación industrial, esta prueba es determinante para una evaluación de factibilidad metalúrgica, la prueba se realiza en un circuito cerrado donde se obtiene tres extracciones independientes.

- Muestra de sílice granular compacta; dentro del yacimiento Aurífero epitermal de alta sulfuración Ayahuanca tiene como dominio en tonelaje de mineral de 57.56 % y 58.24 % de Oz de Au de la reserva, esta incidencia mayor nos lleva a la importancia en el estudio del proceso de cianuración por percolación.

La sílice granular compacta como alteración hidrotermal, se considera solo como sílice granular por las características de la alteración, para una caracterización geometalúrgica se diferencia con la sílice granular deleznable por la diferencia en la dureza de la roca, densidad y partículas finas, las partículas finos presente en la muestra de sílice granular compacta es de 5.72 % pasante malla 200 de la serie ASTM.

Cuadro Nro 29 Condiciones de operación de columna 30"x 6m; sílice granular compacta.

CONDICIONES DE OPERACIONALES DE COLUMNAS 30"x 6m		
MUESTRA	SILICE GRANULAR COMPACTA	
Código Metalúrgico	LMG-20	Unidad
Tamaño de partícula	ROM	
Peso de mineral humedo	3975.39	Kg
Humedad	2.59	%
Peso de mineral seco	3872.43	Kg
Diametro de columna	76.20	cm
Altura de Columna	600.00	cm
Altura Inicial de mineral	569.00	cm
Densidad bulk Inicial seca	1.49	t/m^3
Velocidad de percolacion	2.05	m/dia
Area columna	4560.00	cm^2
Densidad de riego	12.00	$l/h*m^2$
Ratio de cal	0.56	kg/t
Concentraciòn de NaCN	250.00	ppm
Saturación total	12.05	%

El análisis granulométrico nos indica que el 66 % en peso y 74.5% de contenido de finos de Au, están en la fracción de mineral pasante a malla de 1½", siendo de mayor incidencia en esta fracción de tamaño de mineral para determinación la % extracción durante la prueba en columna, en la fracción superior de 6" el contenido de finos es inferior y poco incidente en la extracción de la prueba.

Cuadro Nro 30 Granulometría de cabeza ; sílice granular compacta.

Malla	Peso Seco [kg]	Distribución en peso [%]	Au		
			Ley [g/t]	Finos [mg]	Distribución [%]
+6"	124.8	3.2	1.14	142.25	2.10
-6" + 4"	155.6	4.0	1.206	187.70	2.77
-4" + 2"	712.8	18.4	1.294	922.42	13.62
-2" + 1 1/2"	324.6	8.4	1.452	471.37	6.96
- 1 1/2"	2554.5	66.0	1.977	5050.28	74.55
TOTAL	**3872.43**	**100.0**	**1.749**	**6774.04**	**100.00**

Como resultados de la prueba columna en circuito cerrado resulta tres valores en % extracciones; analizadas, calculada soluciones y calculada carbón, se considera para nuestro estudio el promedio de ellas, el consumo de reactivos, tiempo de regado y ratio liquido solido en el proceso de cianuración por percolación son determinados para la muestra en estudio.

Cuadro Nro 31 Extracción de Au en columna 30"x 6m; sílice granular compacta.

RESUMEN DE EXTRACCIÓN DE Au , SILICE GRANULAR COMPACTA			
Extracción de Au	**Cabeza Au (g/t)**	**Ripios Au (g/t)**	**Extracciòn Au (%)**
Analizada (cabeza y ripio)	1.749	0.174	90.03
Calculada (Soluciones y ripio)	1.604	0.174	89.13
Calculada (Carbones y ripio)	2.123	0.174	91.79

Analisis Estadístico		
Promedio	%	90.31
Varianza	%	1.83
Desviación Estandar	%	1.35
Coeficiente de Variación	%	1.5

Datos Operativos de columna		
Consumo de Cal	Kg/t	0.56
Consumo de NaCN	Kg/t	0.08
Razón de riego	m3/t	1.2
Tiempo de Riego	Dias	35

La fig. Nro. 22, indica la cinética de extracción de Au y cinética de disolución del Au en el proceso de cianuración por percolación del mineral de sílice granular compacta en función de contacto de la solución cianurada con el mineral (razón de riego) con valores en el hombro de la curva de 8 días de riego, razón de riego 0.28 (m^3/t), ley pregnant 1.958 ppm Au y 85.35 % de extracción de Au.

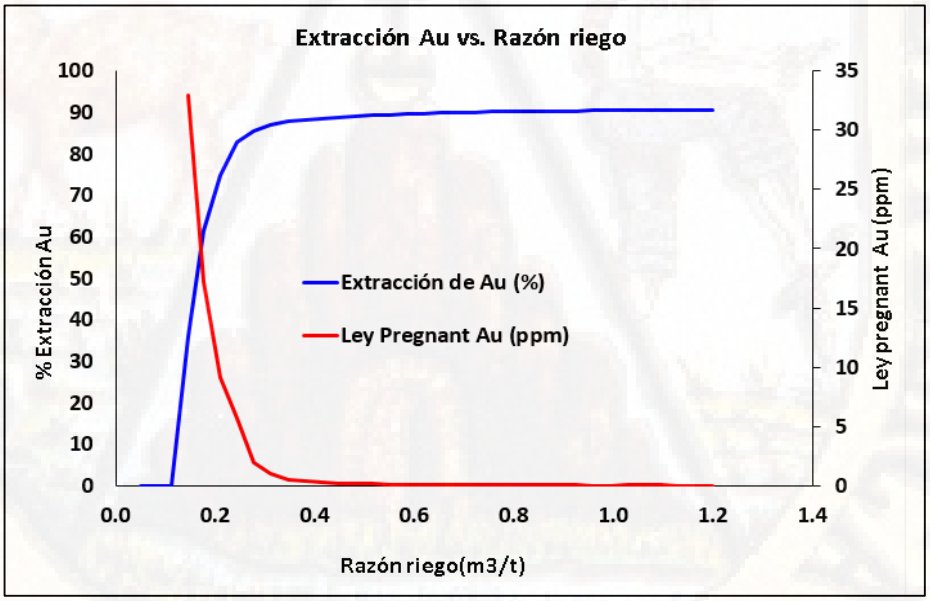


Fig.Nro 22 Extracción de Au y ley pregnant; sílice granular compacta.

Los ripios de la columna son sometidos a análisis granulométrico y análisis químico para determinar el % extracción de Au por fracción de tamaño, siendo la fracción menores a malla 1½" la más determínate para el resultado final de la prueba. El tamaño de las partículas no tiene mayor incidencia sobre la extracción de Oro, es fenómeno se

debe a que la sílice granular compacta presenta una mayor porosidad o cavidades que facilita el contacto de la solución cianurada con el mineral y la difusión de la misma dentro de la partícula de mineral.

Cuadro Nro 32 Granulometría de ripio; sílice granular compacta.

Malla	Peso Seco [kg]	Distribución en peso [%]	Au		
			Ley [g/t]	Finos [mg]	Distribución [%]
+6"	51.83	1.34	0.354	18.348	2.7
-6" + 4"	113.16	2.93	0.212	23.990	3.6
-4" + 2"	631.67	16.33	0.173	109.279	16.2
-2" + 1 1/2"	308.55	7.98	0.169	52.145	7.7
- 1 1/2"	2763.12	71.43	0.17	469.730	69.7
TOTAL	**3868.33**	**100.00**	**0.174**	**673.492**	**100.0**

Cuadro Nro 33 Balance de finos por malla; sílice granular compacta.

Malla	Finos de Au [mg]		Extracción Au [%]
	Cabeza	Cola	
+6"	142.25	18.348	87.10
-6" + 4"	187.70	23.990	87.22
-4" + 2"	922.42	109.279	88.15
-2" + 1 1/2"	471.37	52.145	88.94
- 1 1/2"	5050.28	469.730	90.70
TOTAL	**6774.04**	**673.49**	**90.06**

- Muestra de sílice masiva; presenta una textura microcristalina, densa y mayor dureza, de color gris claro con presencia considerable de óxidos de fierro en comparación de las de más alteraciones, como reservas se estima el 25.02 % de tonelaje y con un aporte de Oz Au de 23.60 %, siendo el segunda alteración con mayor dominio dentro del yacimiento, las partículas finos presente es de 1.22 % pasante malla 200 de la serie ASTM, esta propiedad facilita la percolabilidad y desfavorece en la extracción de Au en este tipo de mineral.

El análisis granulométrico nos indica que el 68.6 % en peso y 76.9% de contenido de finos de Au, están en la fracción de mineral pasante a malla de 1½", siendo de mayor incidencia en esta fracción de tamaño de mineral para determinación de % extracción durante la prueba en columna, en la fracción superior de 6" el contenido de finos es inferior y poco incidente en la extracción de la prueba.

Cuadro Nro 34 Condiciones de operación en columna 30"x 6m; sílice masiva.

CONDICIONES DE OPERACIONALES DE COLUMNAS 30"x 6m		
MUESTRA	SILICE MASIVA	
Código Metalúrgico	LMG-25	Unidad
Tamaño de partícula	ROM	
Peso de mineral humedo	3961.17	Kg
Humedad	1.19	%
Peso de mineral seco	3914.03	Kg
Diametro de columna	76.20	cm
Altura de Columna	600	cm
Altura Inicial de mineral	566	cm
Densidad bulk Inicial seca	1.52	t/m^3
Velocidad de percolacion	2.24	m/dia
Area columna	4560	cm^2
Densidad de riego	12.00	$l/h*m^2$
Ratio de cal	0.56	kg/t
Concentraciòn de NaCN	250	ppm
Saturación total	8.38	%

Cuadro Nro 35 Granulometría de cabeza; sílice masiva.

Malla	Peso Seco [kg]	Distribución en peso [%]	Au		
			Ley [g/t]	Finos [mg]	Distribución [%]
+6"	150.4	3.8	0.121	18.20	2.49
-6" + 4"	185.1	4.7	0.128	23.70	3.24
-4" + 2"	565.3	14.4	0.131	74.05	10.12
-2" + 1 1/2"	327.8	8.4	0.167	54.74	7.48
- 1 1/2"	2685.4	68.6	0.209	561.25	76.68
TOTAL	**3914.03**	**100.00**	**0.187**	**731.94**	**100.00**

Los resultados de la prueba columna en circuito cerrado se toman el valor de promedio de extracción, las extracción en esta muestra en estudio son inferiores al sílice granular compacta, esto obedece a que el Au se encontraría en solución solida de pirita, que son conocidas como mineral refractario poco cianurable directamente con soluciones alcalinas de cianuro de sodio a granulometría ROM.

La fig. Nro.23, indica la cinética de extracción de Au en el proceso de cianuración por percolación del mineral de sílice masiva, con valores en el hombro de la curva de 9 días de riego, razón de riego 0.33 (m^3/t), ley pregnant 0.077 ppm Au y 59.10 % de extracción de Au, la extracción de Au es inferior a las dos muestras en estudios, siendo valores similares en el consumo de reactivos en pruebas de la columna de sílice

granular compacta, obedecería esta baja extracción de Au por la forma en que se encuentra el Au en el mineral.

Cuadro Nro 36 Extracción de Au en columna 30" x 6m; sílice masiva.

RESUMEN DE EXTRACCIÓN DE Au , SILICE MASIVA			
Extracción de Au	**Cabeza Au (g/t)**	**Ripios Au (g/t)**	**Extracciòn Au (%)**
Analizada (cabeza y ripio)	0.187	0.076	59.59
Calculada (Soluciones y ripio)	0.197	0.076	61.50
Calculada (Carbones y ripio)	0.203	0.076	62.69

Analisis Estadístico		
Promedio	%	61.26
Varianza	%	2.45
Desviación Estandar	%	1.56
Coeficiente de Variación	%	2.55

Datos Operativos de columna		
Consumo de Cal	Kg/t	0.56
Consumo de NaCN	Kg/t	0.076
Razón de riego	m3/t	1.07
Tiempo de Riego	Dias	31

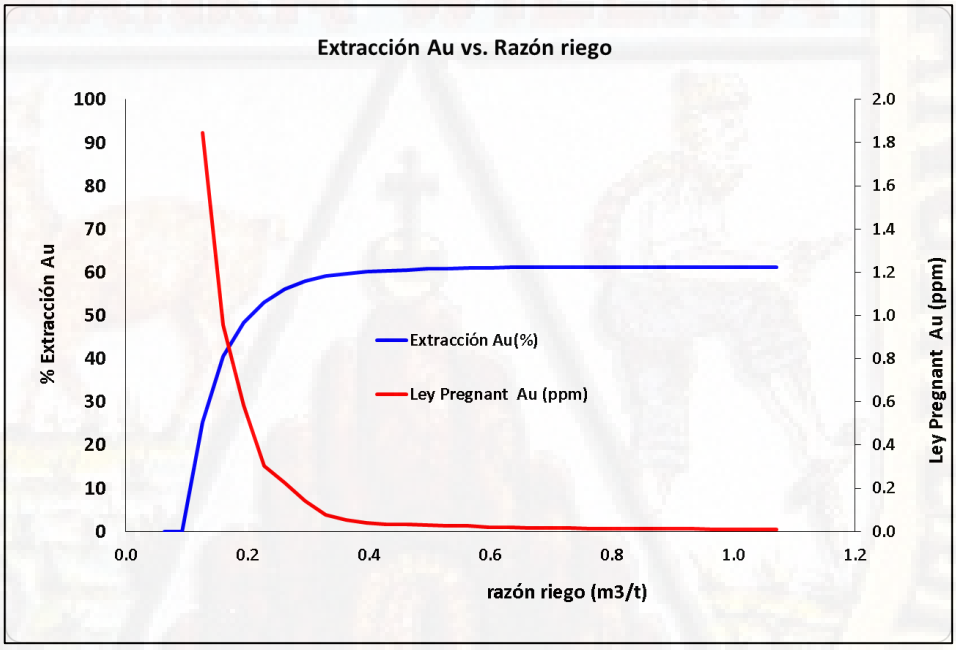


Fig.Nro 23 Extracción de Au y ley pregnant; sílice masiva.

Los valores de análisis de los ripios indican 61.81% de extracción de Au se da en fracciones inferiores a malla 1½", a fracciones superiores a esta malla la extracción de Au varia con la granulometría, la extracción de Au en fracción superiores de 6" varia en 11.8 % con respecto a la extracción en fracciones inferiores a malla 1½", esta diferencia se debe a que menor tamaño de la partículas de mineral presentan mayor área se contactó de la solución alcalina de cianuro de sodio y facilita la penetración por difusión de la solución cianurada hacia el interior de las partícula de mineral.

Cuadro Nro 37 Granulometría de ripio; sílice masiva.

Malla	Peso Seco [kg]	Distribución en peso [%]	Au		
			Ley [g/t]	Finos [mg]	Distribución [%]
+6"	144.4	3.70	0.063	9.097	3.1
-6" + 4"	177.14	4.53	0.062	10.983	3.7
-4" + 2"	548.28	14.03	0.063	34.542	11.7
-2" + 1 1/2"	323.80	8.29	0.078	25.256	8.6
- 1 1/2"	2713.41	69.45	0.079	214.359	72.9
TOTAL	**3907.03**	**100.00**	**0.0753**	**294.237**	**100.0**

Cuadro Nro 38 Balance de finos por malla; sílice masiva.

Malla	Finos de Au [mg]		Extarcción Au [%]
	Cabeza	Cola	
+6"	18.20	9.097	50.01
-6" + 4"	23.70	10.983	53.66
-4" + 2"	74.05	34.542	53.35
-2" + 1 1/2"	54.74	25.256	53.86
- 1 1/2"	561.25	214.359	61.81
TOTAL	**731.94**	**294.24**	**59.80**

- Muestra de sílice granular deleznable; roca de coloración gris clara de tonalidad blanquecina silicificada, presenta aspecto deleznable de menor dureza y densidad, como reservas se estima el 17.42 % de tonelaje y con un aporte de Oz Au de 18.16 %, dentro de la reserva ocupa el tercer dominio de alteración hidrotermal, por la presencia mayor de partículas finos 12.74% pasante malla 200 de la serie ASTM dificulta la percolación de la solución cianurada en este tipo de mineral.

Las fracción menores a malla 1½" es de 77.0 % en peso y contenido de finos de Au de 81.39 %, siendo en esta malla con mayor contenido de finos y ley de Au, el mayor % de finos pasante malla 200 limitan la percolación con densidades de riego mayores a 12 l/h-m^2 y provoca posibles compactaciones dificultando la uniformidad de la percolación en el lecho del mineral causando posibles encharcamiento.

Se obtiene como resultado tres extracciones, siendo el valor promedio como el valor de la % extracción de la prueba, la extracción es inferior a la sílice granular compacta y superior a la sílice masiva. Por su análisis químico de especies mineralógicas se determina la presencia del plomo, el Au nativo encontrado en la muestra en tamaño de 10 μm, no es afectado por $Pb(CN)_2$ por obtenerse en la prueba una extracción Au considerable del 79.06 %, el consumo elevado de cianuro de sodio obedecería a la formación de tiocianatos, disolución de plomo nativo e impureza en el proceso.

Cuadro Nro 39 Condiciones de operación en columna 30"x 6m; sílice granular deleznable.

CONDICIONES DE OPERACIONALES DE COLUMNAS 30"x 6m		
MUESTRA	**SILICE GRANULAR DELEZNABLE**	
Código Metalúrgico	LMG-02	Unidad
Tamaño de partícula	ROM	
Peso de mineral humedo	3620.24	Kg
Humedad	3.47	%
Peso de mineral seco	3494.57	Kg
Diametro de columna	76.20	cm
Altura de Columna	600	cm
Altura Inicial de mineral	593	cm
Densidad bulk Inicial seca	1.29	t/m^3
Velocidad de percolacion	1.03	m/dia
Area columna	4560	cm^2
Densidad de riego	12.00	$l/h*m^2$
Ratio de cal	0.21	kg/t
Concentraciòn de NaCN	250	ppm
Saturación total	20.86	%

Cuadro Nro 40 Granulometría de cabeza; sílice granular deleznable.

Malla	Peso Seco [kg]	Distribución en peso [%]	Au		
			Ley [g/t]	Finos [mg]	Distribución [%]
+6"	156.9	4.5	0.248	38.91	3.33
-6" + 4"	115.6	3.3	0.274	31.67	2.71
-4" + 2"	433.2	12.4	0.268	116.11	9.95
-2" + 1 1/2"	97.1	2.8	0.315	30.60	2.62
- 1 1/2"	2691.6	77.0	0.353	950.15	81.39
TOTAL	**3494.52**	**100.0**	**0.334**	**1167.44**	**100.00**

Cuadro Nro 41 Extracción de Au en columna 30"x 6m; sílice granular deleznable.

RESUMEN DE EXTRACCIÓN DE Au , SILICE GRANULAR DELEZNABLE			
Extracción de Au	**Cabeza Au (g/t)**	**Ripios Au (g/t)**	**Extracciòn Au (%)**
Analizada (cabeza y ripio)	0.335	0.064	80.81
Calculada (Soluciones y ripio)	0.292	0.064	78.00
Calculada (Carbones y ripio)	0.297	0.064	78.38

Analisis Estadístico		
Promedio	%	79.06
Varianza	%	2.32
Desviación Estandar	%	1.52
Coeficiente de Variación	%	1.92

Datos Operativos de columna		
Consumo de Cal	Kg/t	0.21
Consumo de NaCN	Kg/t	0.12
Razón de riego	m3/t	1.17
Tiempo de Riego	Dias	30

La fig. Nro. 24, muestra la cinética de extracción de Au en el proceso de cianuración por percolación del mineral de sílice granular deleznable, alcanza valores en el hombro de la curva de 12 días de riego, razón de riego 0.49 (m^3/t), ley pregnant 0.362 ppm Au

y 77.03 % de extracción de Au, la extracción de Au es inferior a muestra de sílice granular compacta y superior a sílice masiva, esta extracción intermedia obedece a la presencia de Au en solución solida de pirita en menor proporción que la sílice masiva, la ley de mineral de esta muestra es inferior que la sílice granular compacta que influye directamente en la extracción de Au.

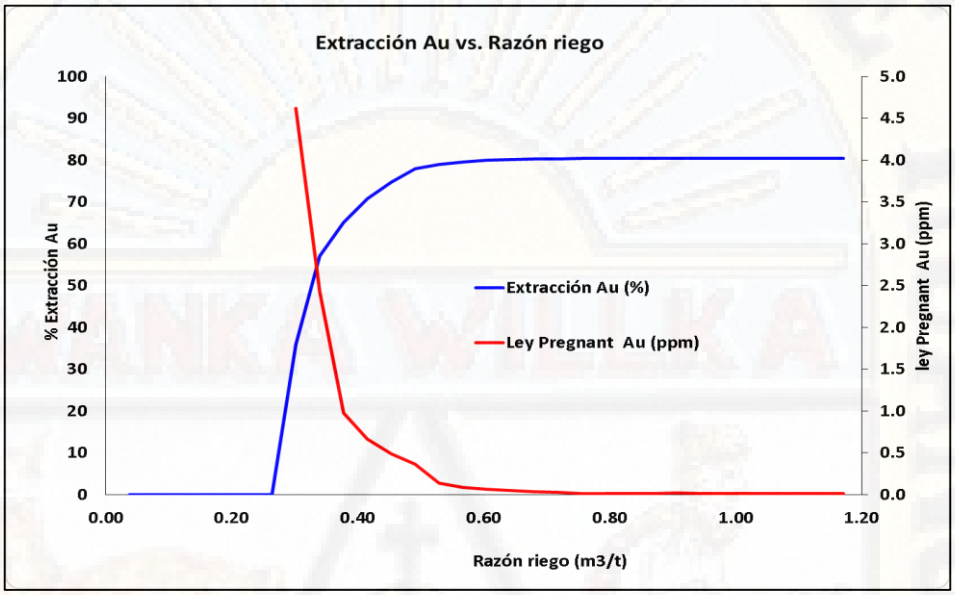


Fig.Nro 24 Extracción de Au y ley Pregnant; sílice granular deleznable.

La extracción de Au en la fracción inferior de malla 1½”es de 81.18 %, la diferencia de extracción en las demás fracciones superiores a esta malla no es significativo, estos valores de extracciones obedecería a la porosidad y percolabilidad del mineral que facilitan la disolución del Oro dentro de la partícula del mineral sin mayor importancia del tamaño del mineral en estudio, por su menor dureza y resistividad durante el proceso de lixiviación por percolación incrementa el % en peso en la fracción de malla inferior 1½”de 77% a 80%.

Cuadro Nro 42 Granulometría de ripio; sílice granular deleznable.

Malla	Peso Seco [kg]	Distribución en peso [%]	Au		
			Ley [g/t]	Finos [mg]	Distribución [%]
+6"	107.8	3.09	0.074	7.978	3.6
-6" + 4"	100.8	2.89	0.063	6.353	2.8
-4" + 2"	351.0	10.06	0.069	24.220	10.8
-2" + 1 1/2"	135.7	3.89	0.045	6.107	2.7
- 1 1/2"	2794.2	80.07	0.064	178.831	80.0
TOTAL	**3489.60**	**100.00**	**0.064**	**223.488**	**100.0**

Cuadro Nro 43 Balance de finos por malla; muestra sílice granular deleznable.

Malla	Finos de Au [mg]		Extarcción Au [%]
	Cabeza	Cola	
+6"	38.91	7.978	79.50
-6" + 4"	31.67	6.353	79.94
-4" + 2"	116.11	24.220	79.14
-2" + 1 1/2"	30.60	6.107	80.05
- 1 1/2"	950.15	178.831	81.18
TOTAL	**1167.44**	**223.49**	**80.86**

Interpretación de estudio Metalúrgicos.

En la evaluación granulométrica se concluye que el P_{80} es una función directamente de la alteración y densidad del macizo rocoso del yacimiento Ayahuanca, las variables como malla de perforación, diseño de carguío de taladro, tipo de agente explosivo son variables manipulables que interviene en el proceso. El efecto de la velocidad de percolación es afectada inversamente proporcional a la fracción pasante malla 200, esta fracción se considera Limo, según la clasificación de norma ASTM.

Cuadro Nro 44 Características físicas del mineral del yacimiento Ayahuanca.

CARACTERISTICAS DEL MINERAL EPITERMAL DE ALTA SULFURACIÓN DEL YACIMIENTO AYAHUANCA				
Caracteristicas	Unidad	Silice Granular Compacta	Silice Masiva	Silice Granular Deleznable
Malla de Perforación	metros	4.0 x 4.6	3.8 x 4.4	4.6 x 5.3
Densidad de roca	t/m^3	2.15	2.34	1.76
Densidad aparente mineral	t/m^3	1.48	1.52	1.35
Fragmentación P_{80}	Pulg	2.6	2.87	1.89
% Pasante malla 200 ASTM	%	5.72	1.22	12.74

Según las pruebas metalúrgicas realizadas a diferentes niveles, se tiene una tendencia de extracción de Au variable en función de tamaño de la partícula del mineral; en una prueba metalúrgica a nivel flash (condiciones extremas de cianuración) y una columna de 30” x 6 m.(condiciones de operación de pilas de lixiviación), varia la extracción de Au en 4. 63 % para sílice granular compacta, 7.86 % para sílice granular deleznable y 22.39 % para sílice masiva, esta diferencia de % extracción de Au obedece a que el Oro estaría en medio de solución sólida en especies mineralógicas.

La tendencia de extracción de Au en diferentes niveles de pruebas metalúrgicas proyecta el valor de extracción en un menor costo y tiempo, por tal motivo en una operación industrial el control se realiza a nivel de prueba flash y botella para un

control de extracción de Au, inventario de Au y/o optimización del proceso, esta tendencia finalmente se lleva a una escala industrial en pilas de lixiviación, cada alteración tiene su propio respuesta metalúrgica, esta información es de importancia para una planificación en el proceso metalúrgico a corto y mediano plazo garantizando un producción sostenible de Oz Au.

Cuadro Nro 45 Resumen de tendencia de prueba de extracción de Au.

RESUMEN DE EXTRACCIÓN Au A DIFERENTES NIVELES DE PRUEBA				
Nivel de Pruebas Metalúrgicas	Unidad	Silice Granular Compacta	Silice Masiva	Silice Granullar Deleznable
Flash	%	94.95	83.65	86.92
Botella	%	93.42	80.82	84.80
Columna 11" x 1.27 m	%	92.14	67.08	80.98
Columna 30" x 6 m	%	90.32	61.26	79.06

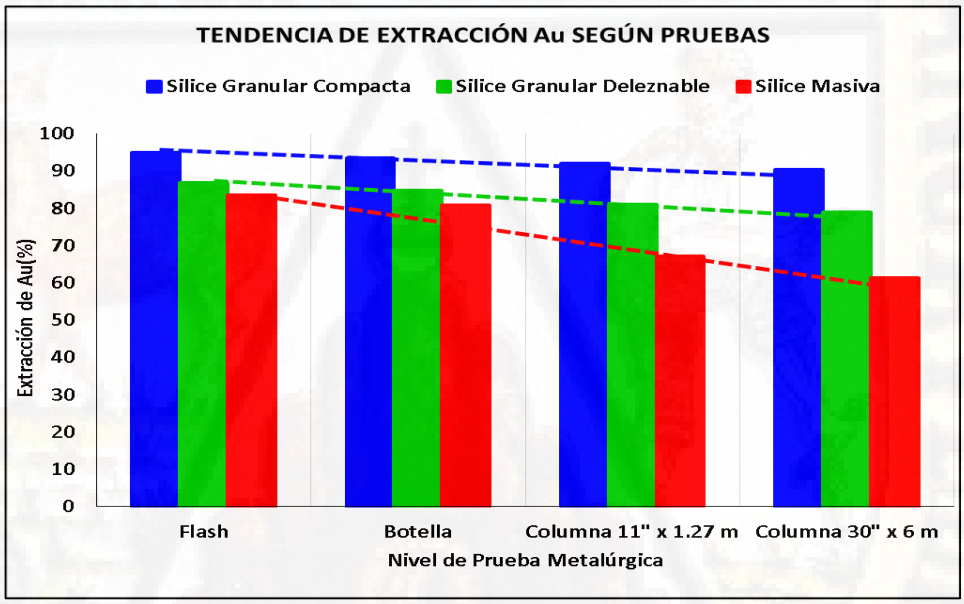


Fig.Nro 25 Tendencia de extracción de Au.

Las pruebas de cianuración por percolación en columnas de 30” x 6 metros, son cargadas con granulometría del mineral ROM y los parámetros operativos de esta prueba son escaladas a una operación a nivel industrial, en la extracción de Au se tiene una diferencia según dominio de alteración del mineral existente en el yacimiento y que estas obedecen a factores como Oro en solución sólida, Oro libre, especies y amares mineralógicas, granulometría, cianurabilidad en solución alcalino, concentración de cianuro y saturación de oxígeno en la solución lixiviante, percolabilidad, y porosidad de la roca.

Cuadro Nro 46 Parámetros de prueba de cianuración a granulometría ROM.

RESUMEN DE PRUEBA CIANURACIÓN EN COLUMNA 30" x 6 m				
Alteración de Mineral	**Unidad**	**Silice Granular Compacta**	**Silice Masiva**	**Silice Granullar Deleznable**
Tamaño P_{80}	(pul)	2.6	2.87	1.89
Razon riego	(m^3/t)	1.2	1.07	1.17
Densidad mineral	(t/m^3)	1.49	1.52	1.29
Velocidad percolación	(m/dia)	2.05	2.24	1.03
Consumo Cal	(kg/t)	0.56	0.56	0.21
Consumo NaCN	(kg/t)	0.08	0.08	0.12
Extracción Au	(%)	90.32	61.26	79.06

La cinética de cianuración de Oro por percolación del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración está controlada o gobernada por la reacción química que sucede dentro del proceso; donde % extracción de Au en los primeros día es elevada con una pendiente de la curva pronunciada, llegando al hombro de la curva de la cinética; tiempo en donde se tiene un mayor control del proceso, posterior a esta esta etapa pasaría gobernado por la cinética del núcleo sin reaccionar, la pendiente de la curva en esta etapa es mínima a lineal, punto donde alcanzar la máxima extracción Au, el tiempo de corte de riego a nivel industrial es determinada por una evaluada técnica- económica del proceso de cianuración en pilas de lixiviación.

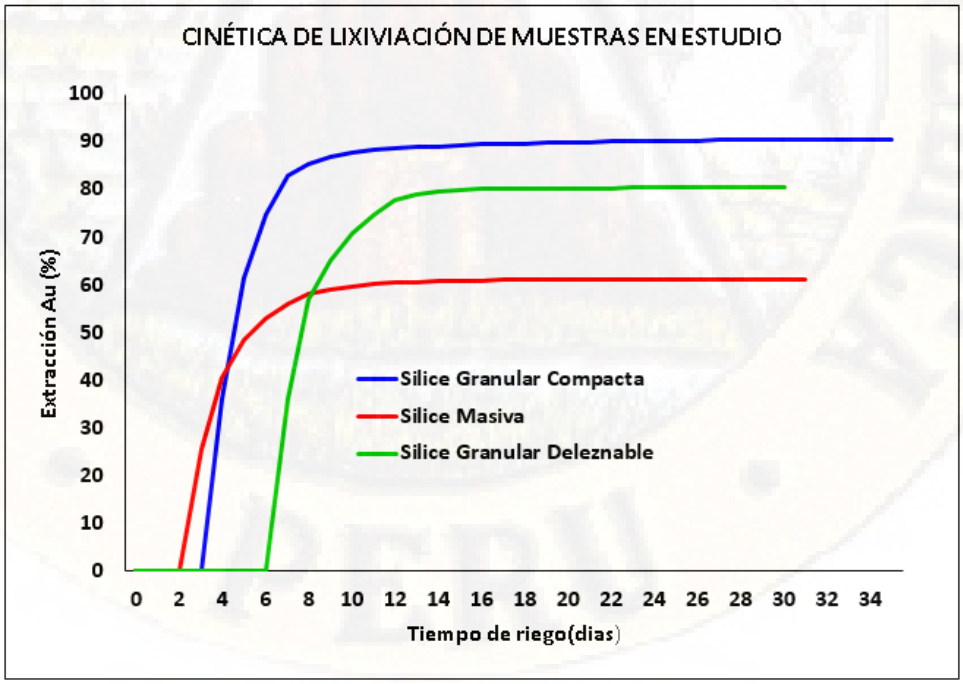


Fig.Nro 26 Cinética de lixiviación de Au por percolación en columna 30" x 6 m.

Los resultados de análisis granulométricos, pueden ser generalizados y cuantificados por expresiones matemáticas donde la distribución de tamaño de partículas está en función de la abertura de la malla y tiene como finalidad obtener la distribución por tamaño de las partículas del mineral fragmentado. El análisis granulométrico nos indica el tamaño de las partículas minerales en estudio siendo el P_{80} como variable a controlar entre el proceso de voladura y proceso de lixiviación en una operación industrial, para nuestro estudio se tiene mayor % de partículas y contenido de finos Au en la malla pasante 1½”.

Cuadro Nro 47 Análisis granulométrico valorado de muestras en estudio.

Distribución de Peso según Malla (%)				Distribución de Finos Au en Malla (%)		
Malla	**Silice Granular Compacta**	**Silice Masiva**	**Silice Granular Deleznable**	**Silice Granular Compacta**	**Silice Masiva**	**Silice Granular Deleznable**
+6"	3.22	3.843	4.49	2.49	2.486	3.33
-6" + 4"	4.02	4.730	3.31	3.24	3.238	2.71
-4" + 2"	18.41	14.442	12.40	10.12	10.117	9.95
-2" + 1 1/2"	8.38	8.375	2.78	7.48	7.479	2.62
- 1 1/2"	65.97	68.610	77.02	76.68	76.680	81.39
Total	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**

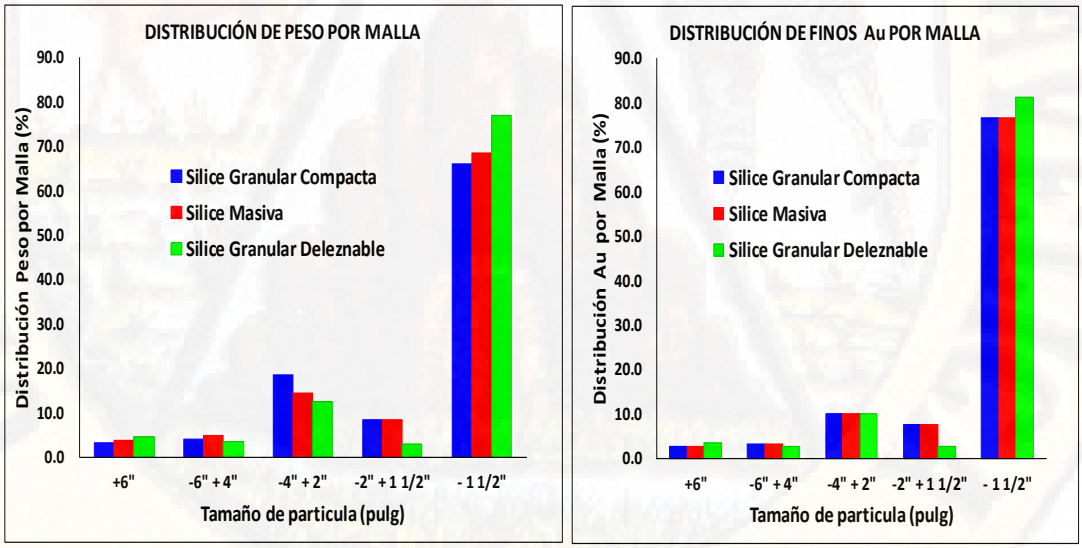
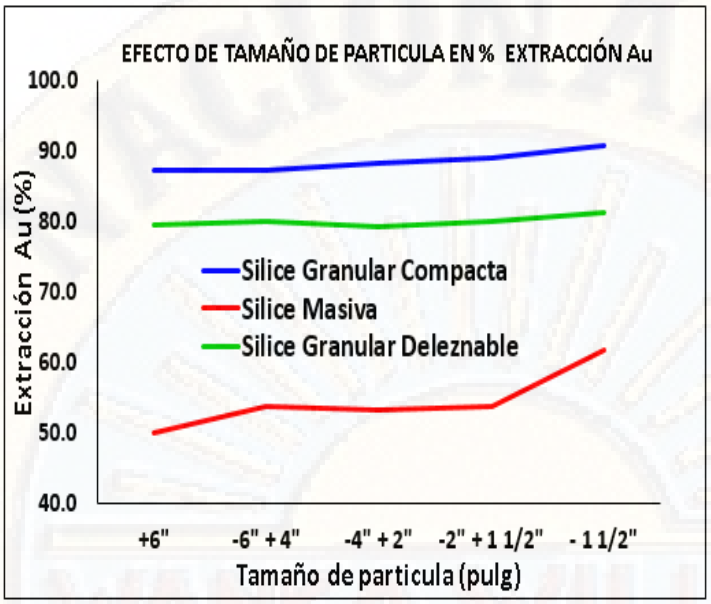


Fig.Nro 27 Distribución de finos Au y pesos por fracción de malla.

La fragmentación en la extracción de Au en la muestra de sílice granular compacta y sílice granular deleznable no es de mayor realce, sin embargo el efecto en la muestra de sílice masiva es notablemente, este variable obliga a mantener valores cercanos a 70 % partículas pasante malla 1½” independientemente del valor de P_{80}.



% Extracción de Au por Mallas			
Malla	Silice Granular Compacta	Silice Masiva	Silice Granular Deleznable
+6"	87.10	50.01	79.50
-6" + 4"	87.22	53.66	79.94
-4" + 2"	88.15	53.35	79.14
-2" + 1 1/2"	88.94	53.86	80.05
- 1 1/2"	90.70	61.81	81.18

Fig.Nro 28 Efecto de tamaño de partículas en la extracción de Au.

El modelo cinético empírico propuesto, indica el comportamiento del proceso de cianuración por percolación a tamaño de mineral ROM de cada muestra en estudio, donde (A) es el desplazamiento de la cinética en dirección de razón de riego, (B) velocidad del proceso de cianuración; cada cinética alcanza un hombro en la curva; independiente en cada muestra en estudio, (C) constante de ajuste de cinética del proceso de cianuración y 100 es porcentaje máxima de extracción de Au.

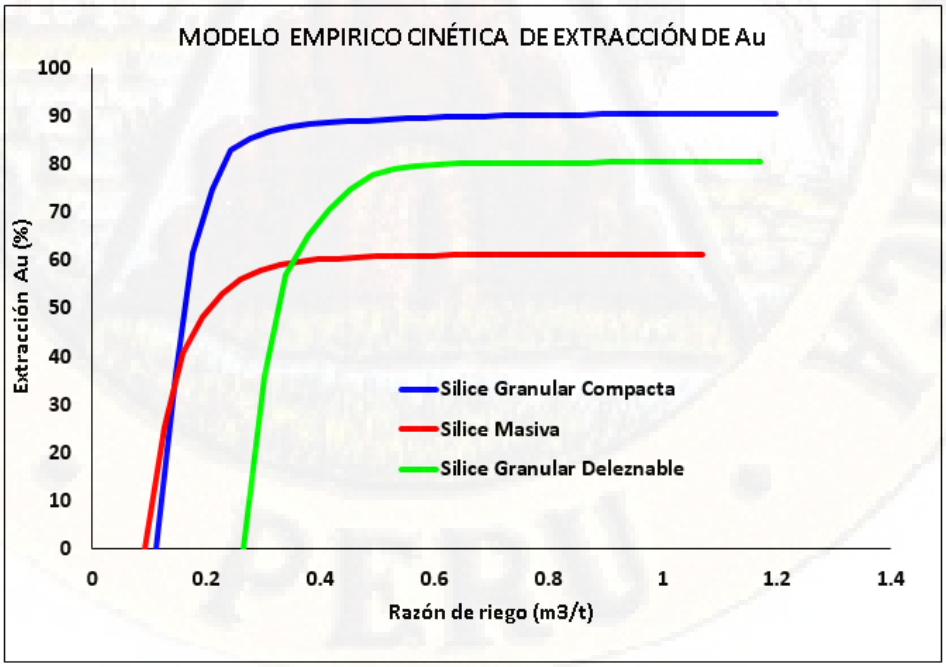


Fig.Nro 29 Modelo de cinética de extracción de Au a tamaño de mineral ROM.

Siendo independientemente la cinética de cada muestra de mineral, influye directamente en la planificación de minado y proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

Cuadro Nro 48 Valores de constante de modelo empírico cinético de extracción de Au.

% Extracción(Au) = 100- A. exp[- B (Razón riego)] + C			
Valor de Constante	Silice Granular Compacta	Silice Masiva	Silice Granular Deleznable
A	657.07	253.63	4521.12
B	17.57	15.51	15.27
C	-9.95	-38.99	-19.72
r^2	0.9966	0.9994	0.9988

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La base de dato para el modelo geológico del yacimiento Ayahuanca de formación epitermal de alta sulfuración fue 149 sondajes diamantinos (DDH) con 13,191.55 metros perforados se construye un modelo digital tridimensional de alteración, cuerpo de Oro, litología, la estimación de recursos fue realizado usando el método de Kriging ordinario dentro del cuerpo de Au, con los siguientes criterios:

- Compósito de 4 metros (mitad de altura de banco)
- Se considera dominio de alteración para compósitos
- Muestra sin ensaye químico se asigna el valor de cero.
- Se realizó corte de altos erráticos para el oro 1.70 g/t
- La densidad utilizada según tipo de alteración

La interpretación geológica fue realizada en base a secciones verticales de dirección Nor-Este cada 10 metros, utilizando datos de logueo de la muestras diamantinas y cartografiado en superficie, obteniendo interpretaciones para alteración, litología y cuerpo de Oro mayores a 0.12 g/t de Au.

Los límites del modelo de bloques del yacimiento Ayahuanca se desarrolla en las coordenadas:

	Minimo	Maximo	Tamaño Bloque	Cantidad
Este	615200	616400	10	120
Norte	8343200	8344400	10	120
Elevación	3800	4248	8	56

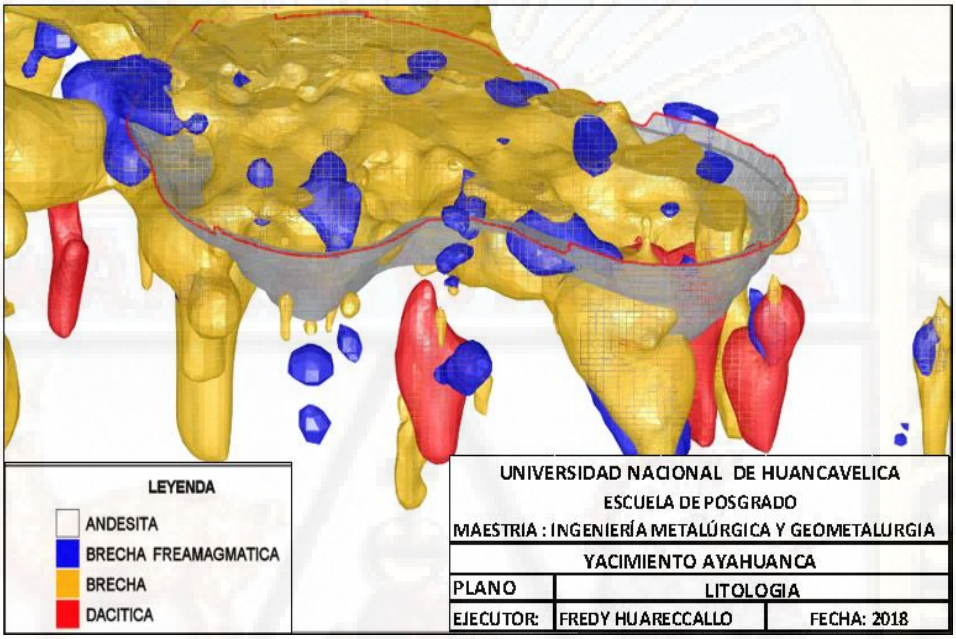


Fig.Nro 30 Plano de litología loca del yacimiento Ayahuanca.

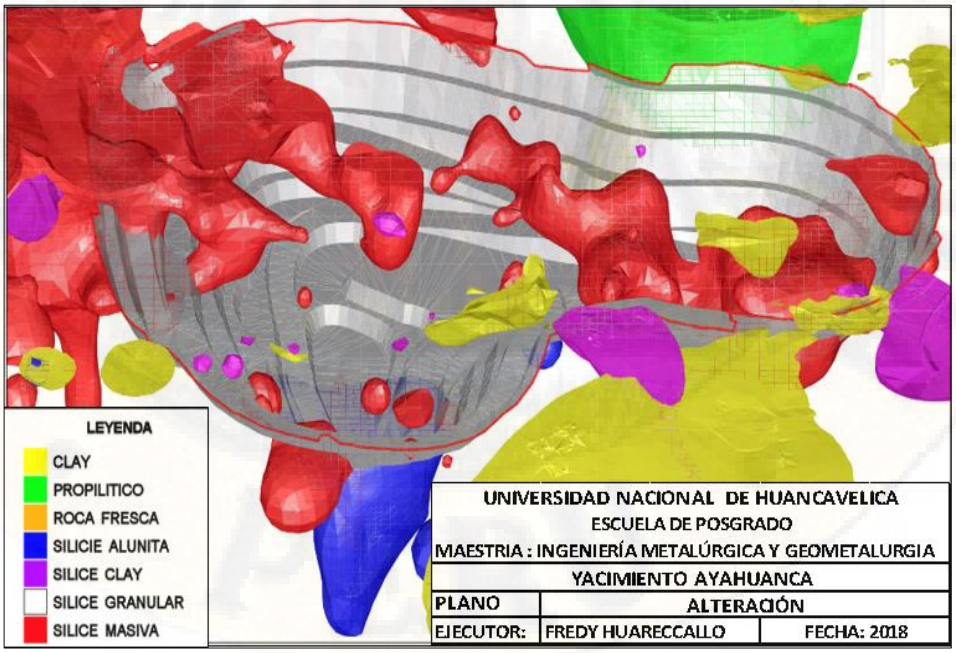


Fig.Nro 31 Plano de alteración loca del yacimiento Ayahuanca.

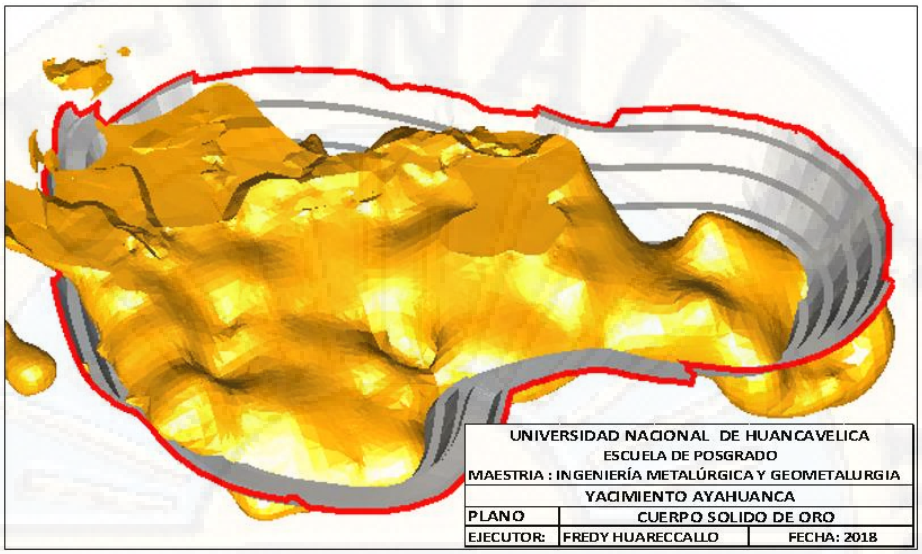


Fig.Nro 32 Plano de cuerpo solido de Oro del yacimiento Ayahuanca.

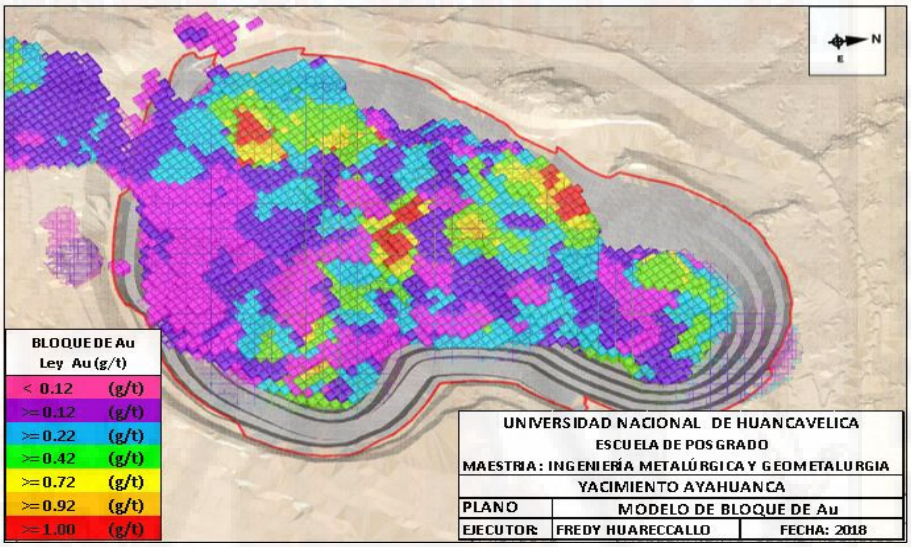


Fig.Nro 33 Modelo de bloques Au; yacimiento Ayahuanca- vista-planta.

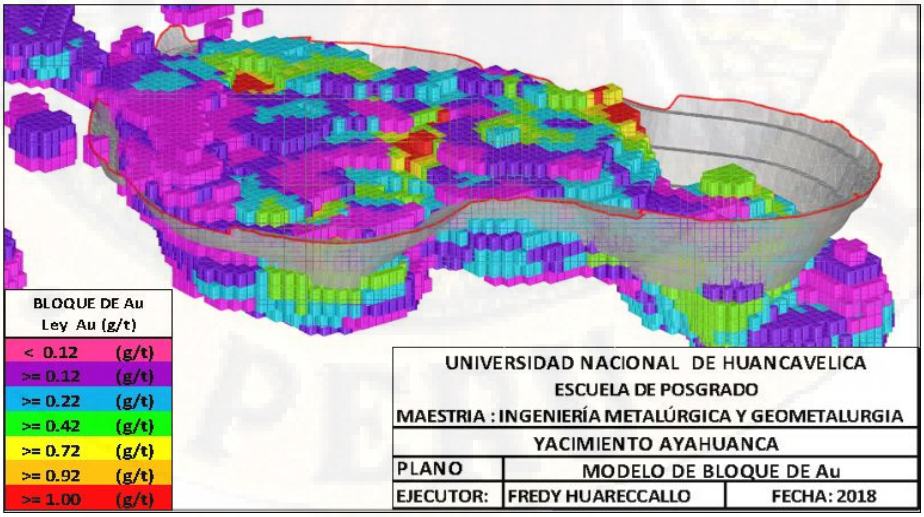


Fig.Nro 34 Modelo de bloques Au; yacimiento Ayahuanca-vista-lateral.

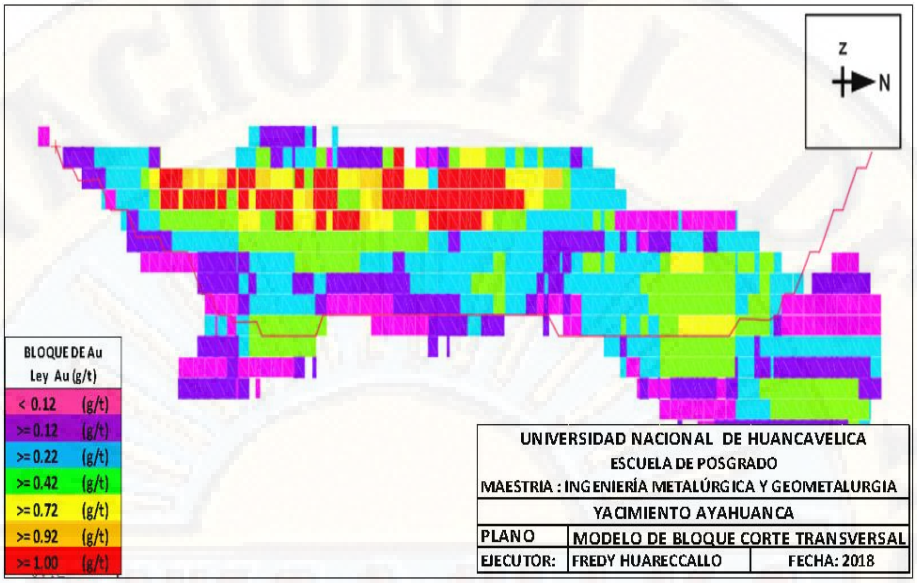


Fig.Nro 35 Modelo de bloques Au; yacimiento Ayahuanca, corte transversal.

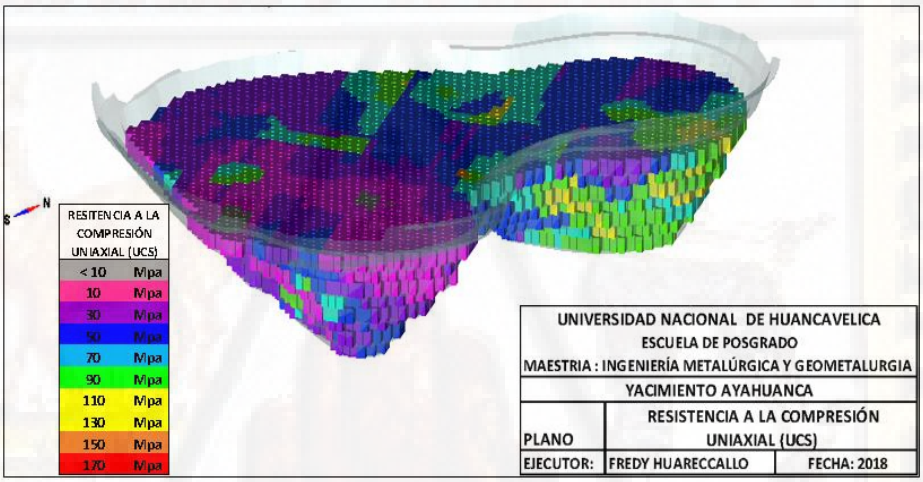


Fig.Nro 36 Modelo de bloques de resistencia a la compresión simple Uniaxial yacimiento Ayahuanca.

El estudio petromineragráfico de las rocas realizadas facilita la clasificación del dominio de alteración hidrotermal del yacimiento Ayahuanca, clasificando en sílice masiva, sílice granular compacta y sílice granular deleznable, dentro del yacimiento Ayahuanca (cuadro Nro 49), la caracterización de su resistencia a la compresión simple según Bieniawsi (cuadro Nro 17) se clasifica en baja, media y alta, las especies mineralógicas de mayor importancia que afectan al % extracción de Au y consumo de reactivos en el proceso de cianuración son; Oro nativo, pirita, goethita arsenopirita, calcopirita y óxidos de hierro, las cuales se cuantifican en cada dominio de alteración.

La composición química de las especies mineralógicas analizadas indican que en la muestra de sílice granular compacta el Oro está presente en su mayoría en pirita, seguido por goethita y arsenopirita (cuadro Nro 11), en esta muestra la pirita y goethita presenta intercrecimiento solo con cuarzo-rutilo (cuadro Nro 7), en la muestra de sílice masiva el Oro se encuentra en calcopirita, goethita y pirita (cuadro Nro 13), la pirita y la goethita presentan intercrecimiento con cuarzo, hematita y cuarzo-rutilo (cuadro Nro 8), las especies mineralógicas que contiene Oro en la muestra de sílice granular deleznable es la goethita y la pirita (cuadro Nro 15), siendo la goethita con mayor contenido de Au, presenta intercrecimiento de pirita-cuarzo y goethita-rutilo-GGs

Cuadro Nro 49 Clasificación por alteración hidrotermal yacimiento Ayahuanca.

Codigo Muestra	Clasificación	Especies minerales	Textura	Alteracion de roca	Alteración hidrotermal
MM-AYA-007	Intensamente silicificada	py,Au°,rut,cz	Relleno reemplazamiento	Silicificación intensa y argilización débil	Silice Granular Deleznable
MM-AYA-008	Aspecto bandeado, silicificado	rut, Au°,rut,hm,goe,cz	Relleno reemplazamiento y coloforme	Oxidación supérgena moderada	Silice Granular Deleznable
MM-AYA-009	Intensamente silicificada	py,rut,hm,goe,zir,cz	Relleno reemplazamiento	Argilización y oxidación supérgena moderada	Silice Masiva
MM-AYA-010	Intensamente fracturada y alterada	py,hm,goe,zir,cz,rut	Tobácea, relleno y reemplazamiento	Silicificación, oxidación moderada	Silice Granular Compacta
MM-AYA-011	Toba Litocristalina,tipo Lapilli	rut,hm,goe,zir,cz	Relleno reemplazamiento	Silicificación,oxidación supérgena, Cloritización	Silice Granular Compacta
MM-AYA-012	Toba Litocristalina,tipo Lapilli	rut,hm,goe,cz,zir	Tobácea, relleno y reemplazamiento	Silicificación intensa y cloritización incipiente	Silice Granular Compacta
MM-AYA-013	Intensamente silicificada	py,goe,hm,zir,cz,rut	Relleno reemplazaminento	Silicificación intensa, oxidación supérgena moderada	Silice Granular Compacta
MM-AYA-014	Volcanica de textura porfiditica	rut,py,cz,goe, hm	Porfiditica, relleno y reemplazamiento	Silicificación intensa y argilización moderada	Silice Granular Compacta
MM-AYA-015	Aspecto Brechoide, volcanica	rut,py,goe,hm,cz	Perlitico,relleno y reemplazamiento	Silicificación intensa , argilización debil y relíctico	Silice Masiva
MM-AYA-016	Intensamente silicificada,bandeado	rut,py,goe,hm,cz	Bandeada,,relleno y reemplazamiento	Silicificación intensa, oxidación supérgena intenso	Silice Masiva

Cuadro Nro 50 Especies mineralógicas en las muestras por alteración hidrotermal

Estudio Mineralógico										% Extraccion Au
Particulas Libre/Mixtas		Especies Mineralógicas								
		py	goe	cp	rut	hm	mt	Au	cz	
Silice Granular Compacta	% de Volumen	0.37	0.01		1.76				96.72	90.32
	% en Peso	0.69	0.02		2.8				96.49	
	Grado Liberación	86.31	0.2		20.71				98.09	
Silice Masiva	% de Volumen	0.25	0.14		0.83	0.16	0.04		98.6	61.26
	% en Peso	0.46	0.2		1.32	0.08	0.32		97.61	
	Grado Liberación	91.92	93.11		48.09	78.22	100		99.48	
Silice Granular Deleznable	% de Volumen	0.2	0.2	0.11	1.84	0.21		0.01	97.43	79.06
	% en Peso	0.37	0.18	0.29	2.89	0.4		0.07	95.82	
	Grado Liberación	95	86.08	100	42.29	100		100	98.54	

El objetivo fundamental del proceso de cianuración en pilas de lixiviación es la extracción de Au, optimizando los recursos y reduciendo riesgos operativos. El NaCN es el reactivo de mayor costo e influyente en el proceso, por lo mencionado se corre pruebas a distintas concentraciones para ver el efecto (cuadro Nro 24, 25 y 26), concluyendo que a una concentración de 250 ppm de NaCN es la más óptima de acuerdo a una evaluación técnica-económica del proceso.

Cuadro Nro 51 Características Geometalúrgica por Alteración hidrotermal.

Alteración hidrotermal	Silice Granular Deleznable	Silice Granular Compacta	Silice Masiva
Especies Mineralógicas	py,cp,goe,rut, hm, oro nativo,cz	py, rut,goe,cz	py,goe,rut,mt,hm,cz
Amarres Mineralógicas	cz/py, cz/rut , GGs/rut/goe	cz/rut, cz/py/rut ,cz/goe/rut	cz/py cz/rut,hm/goe,cz/hm,cz/py/rut
Peso Pirita (%)	0.37	0.69	0.46
Peso Goethita (%)	0.29	0.02	0.2
Oro Libre	Si	No	No
Ley Au (g/t)	0.334	1.749	0.187
P_{80} (pulg)	1.89	2.6	2.87
m-200(%)	12.74	5.72	1.22
Velo. Percolación (m/dia)	1.03	2.05	2.24
Saturación (%)	20.86	12.05	8.38
Razón riego (m^3/t)	1.17	1.2	1.07
Tiempo de riego (dias)	30	35	31
pH natural del mineral	6.49	6.26	5.65
Consumo Cal (Kg/t)	0.21	0.56	0.56
Consumo de NaCN (Kg/t)	0.12	0.08	0.08
Au Cianurable (%)	86.92	94.95	83.65
Extrac ROM Au (%)	79.06	90.31	61.26

La granulometría del mineral influye en % extracción de Au, desde una prueba a nivel flash (condiciones de prueba; ver cuadro Nro 21) a una prueba de columna de granulometría de mineral ROM (columna de 30” x 6 m), esta variación de % extracción obedece a que el Oro está presente en medio de solución sólida en minerales refractarios que necesita la liberación total de las especies mineralógicas para que la solución cianurada entre en contacto (cuadro Nro 45), donde el cianuro y oxígeno ingresan por difusión generando un reacción electroquímica (Fig Nro 9).

Las pruebas metalúrgicas a nivel de columna de 30” x 6 m, representan significativamente a escala industrial (cuadro Nro 29, 34 y 39), donde las extracciones

de Au son independientes por alteración hidrotermal. Para expresar matemáticamente este proceso se ajusta a un modelo matemático empírico de la cinética del proceso, cuyas constantes son independientes para cada dominio de alteración hidrotermal (cuadro Nro 48). La caracterización geometalúrgica ha permitido clasificar en tres dominios de alteración hidrotermal el yacimiento Ayahuanca (cuadro Nro 51), donde se describe características mineralógicas, físico-químicas y metalúrgicas del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración; maximizando el valor de los recursos y reduciendo los riesgos técnicos-operativos que involucran el proceso.

Efecto de las dimensiones de las variables:

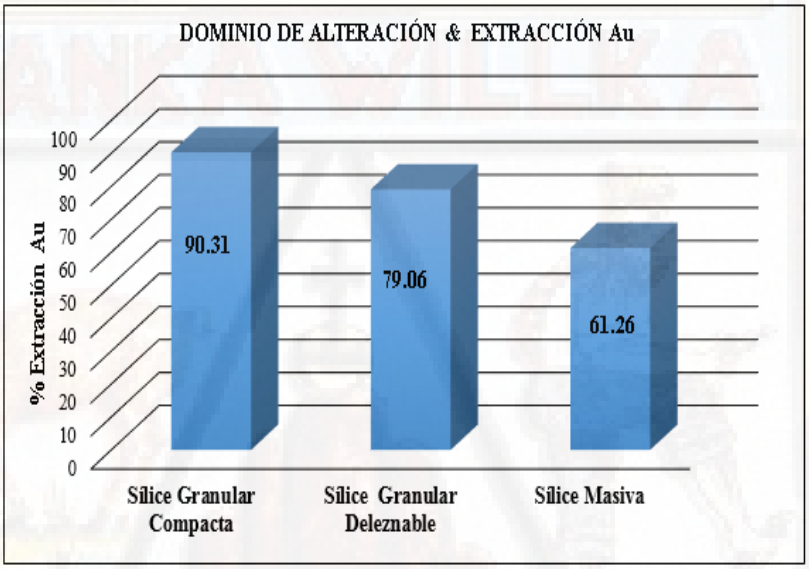


Fig.Nro 37 Efecto de alteración hidrotermal en % extracción de Au.

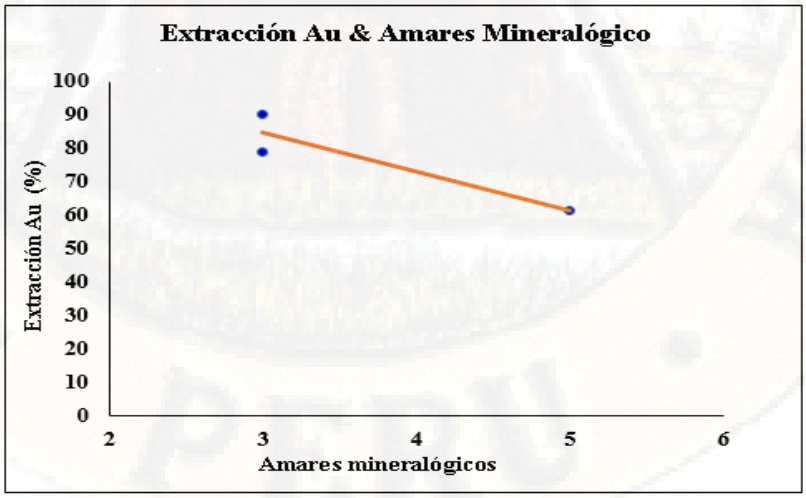


Fig.Nro 38 Efecto de amares mineralógicos en % extracción de Au.

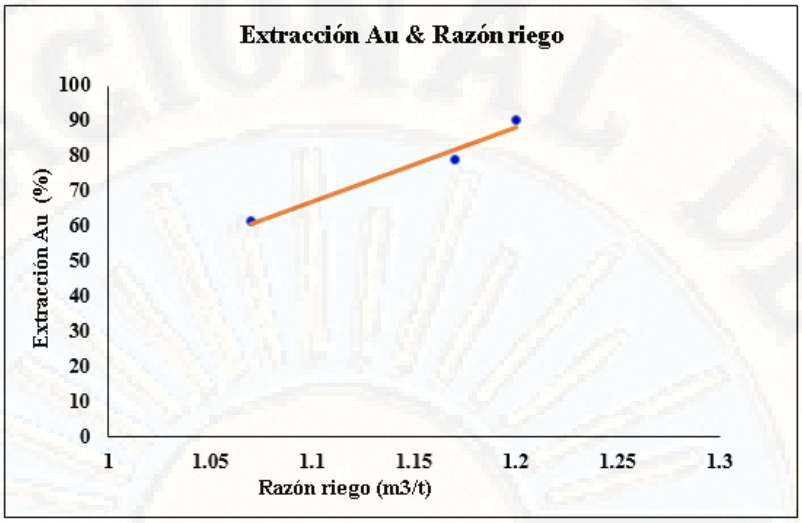


Fig.Nro 39 Efecto de razón riego en % extracción de Au.

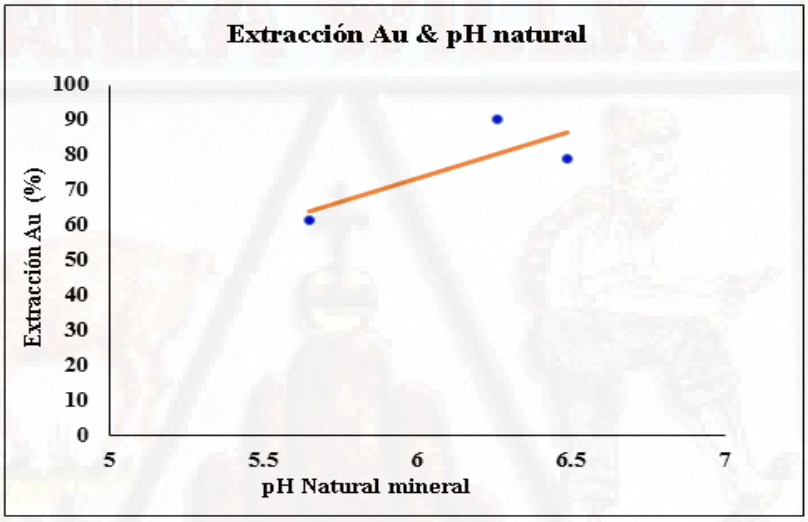


Fig.Nro 40 Efecto de pH natural del mineral en % extracción de Au.

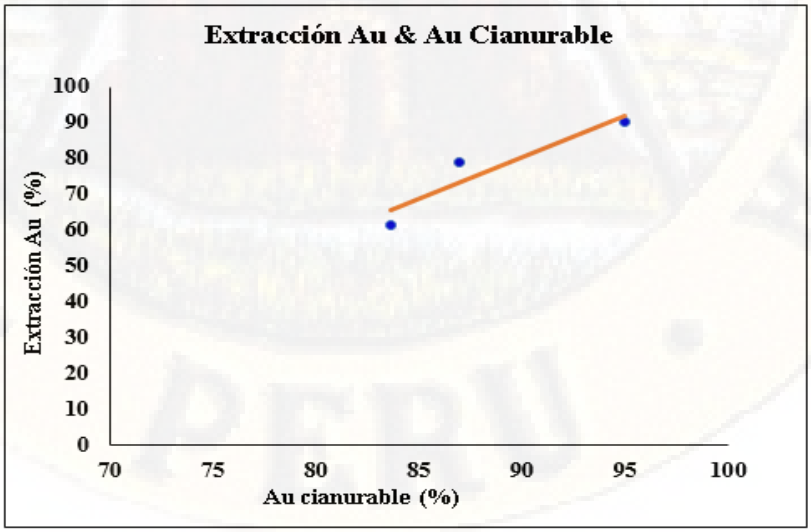


Fig.Nro 41 Efecto de Au cianurable en % extracción de Au.

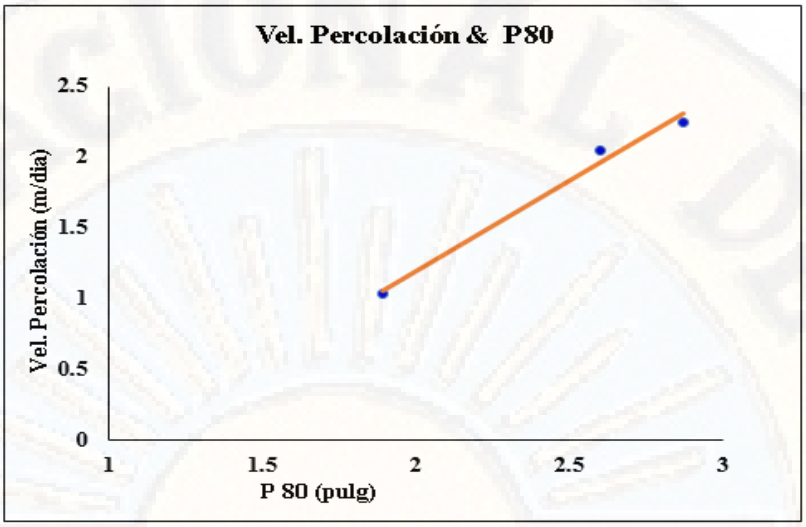


Fig.Nro 42 Efecto de P_{80} en velocidad de percolación.

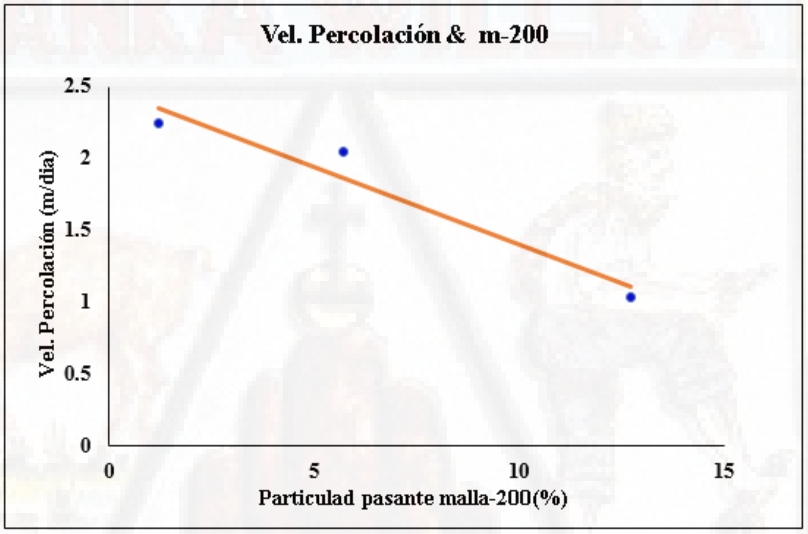


Fig.Nro 43 Efecto de partícula a malla -200 en velocidad de percolación.

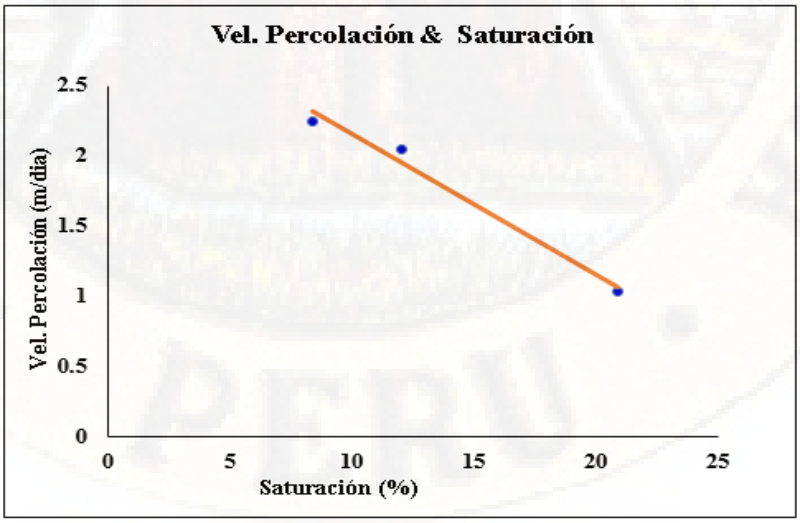


Fig.Nro 44 Efecto % saturación en velocidad de percolación.

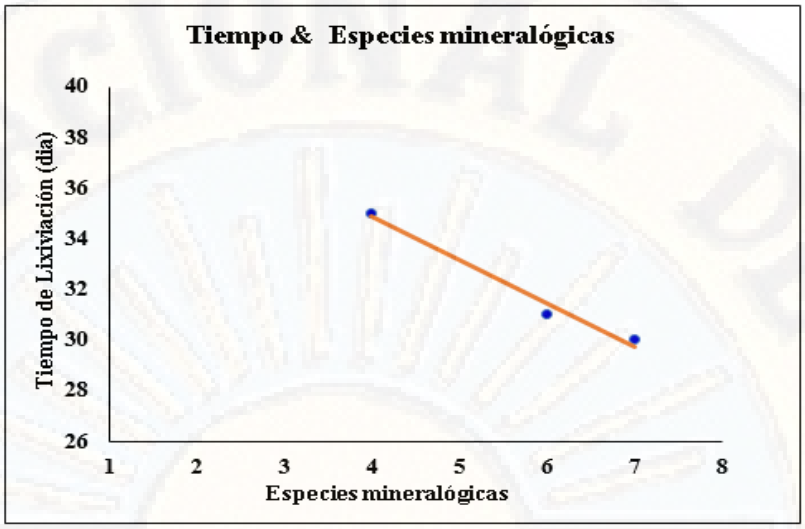


Fig.Nro 45 Efecto de especies mineralógicas en tiempo de lixiviado

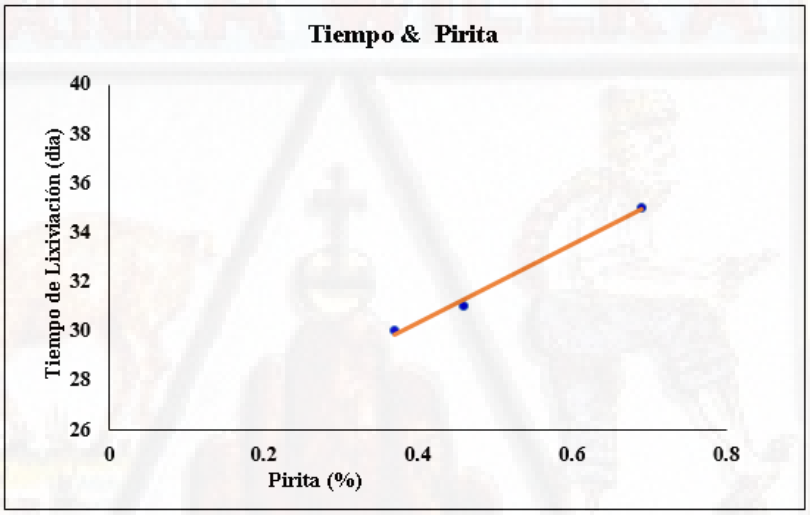


Fig.Nro 46 Efecto de pirita en tiempo de lixiviado.

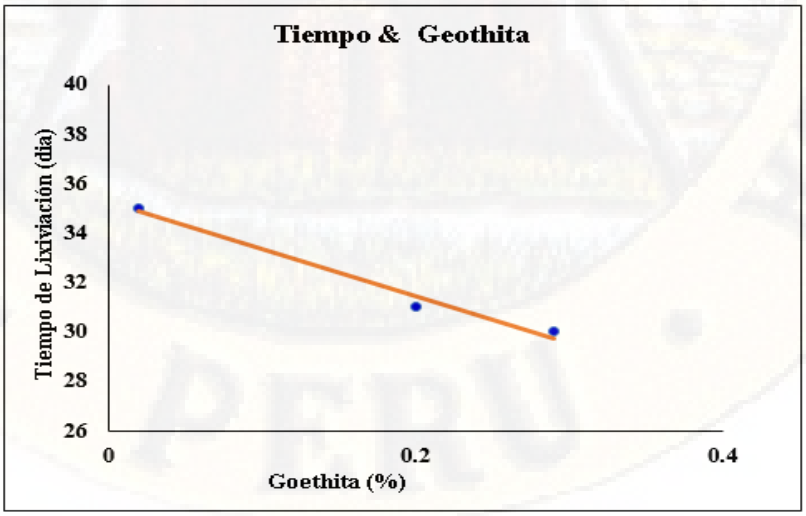


Fig.Nro 47 Efecto de goethita en tiempo de lixiviado

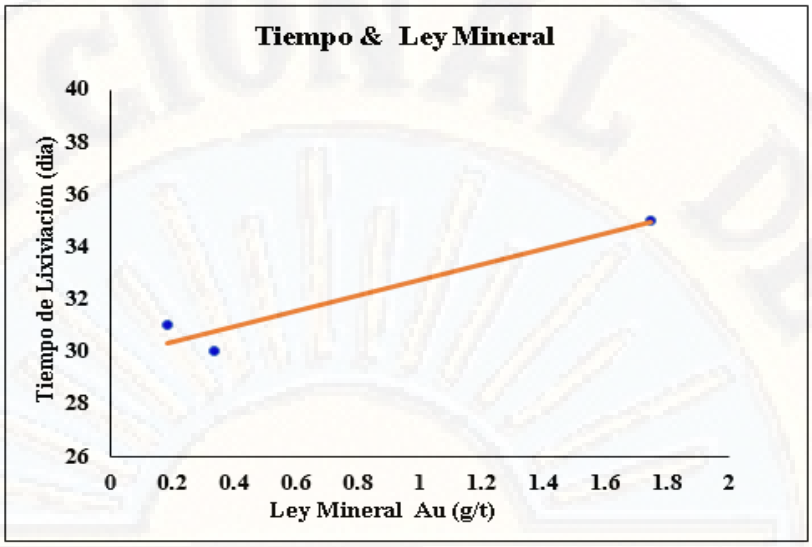


Fig.Nro 48 Efecto de ley de mineral en tiempo de lixiviado

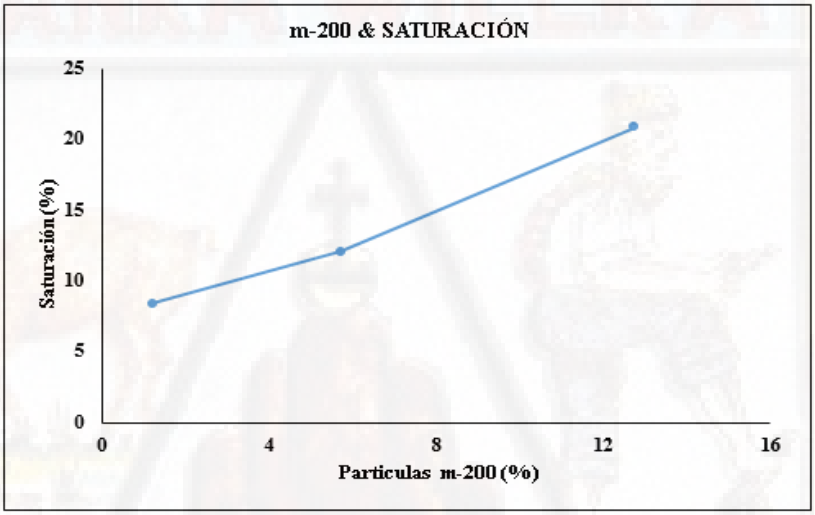


Fig.Nro 49 Efecto de partículas pasante m-200 en la saturación

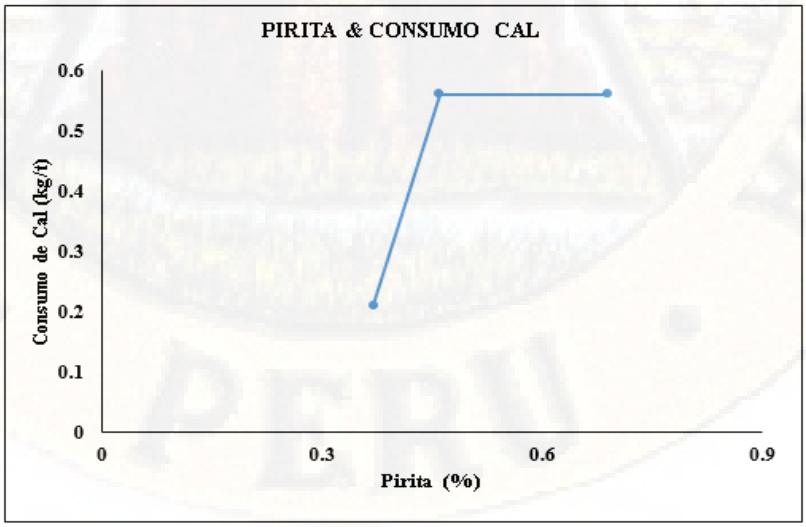


Fig.Nro 50 Efecto de pirita en consumo de cal.

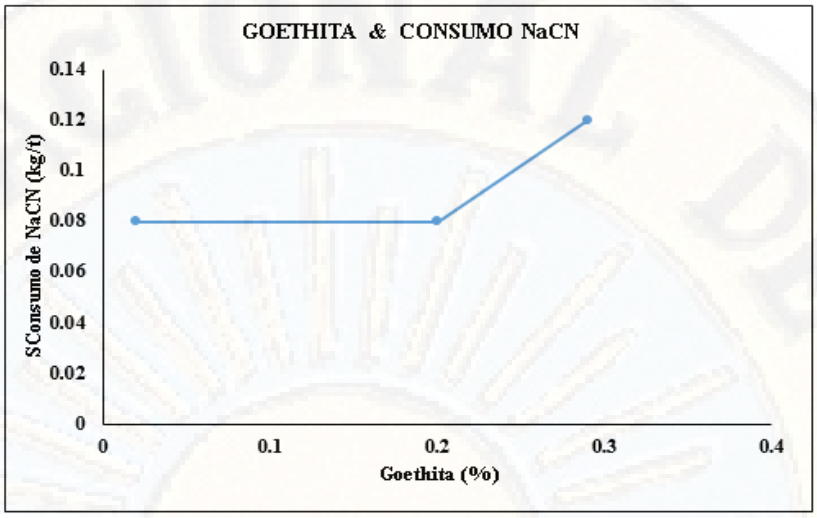


Fig.Nro 51 Efecto de goethita en consumo de NaCN.

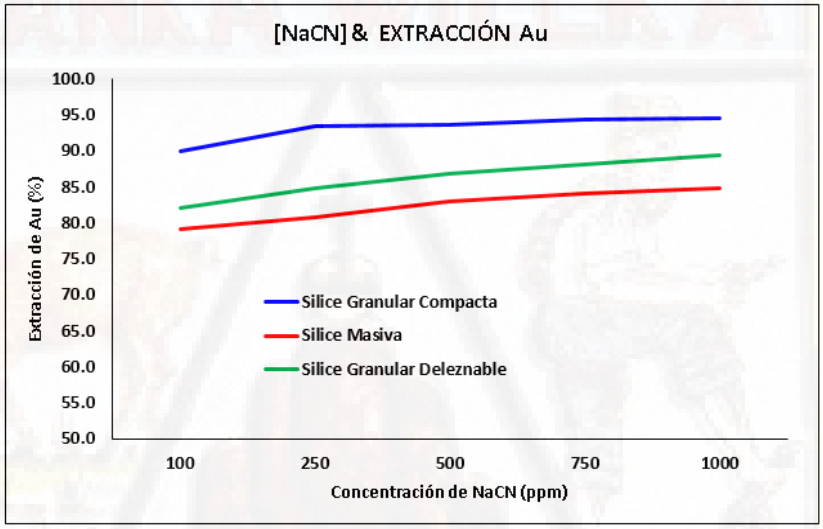


Fig.Nro 52 Efecto de [NaCN] en extracción de Au

Los efectos de las dimensiones de las variables de caracterización geometalúrgico del mineral en las dimensiones de la variable de proceso de cianuración en pilas de lixiviación se aprecia en las fig Nro 37 al 52.

La extracción de Au es afectado negativamente por amarres de especies mineralógicas y directamente proporcional por la razón de riego, pH natural de mineral, concentración de cianuro y la cianurabilidad del Au; la velocidad de percolación es afectada directamente por P_{80} del mineral y negativamente por partículas inferiores de malla 200 y % saturación; el tiempo de lixiviación es afectado inversamente proporcional por especies mineralógicas y % de goethita y directamente proporcional

por % pirita y la ley del mineral; el consumo de CaO y NaCN en el proceso está determinado básicamente por la especies mineralógicas existente en su composición química como Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+}, Mn^{2+} , Ni^{2+} y Zn^{2+} ; que forman con el cianuro complejos estables consumiendo y reduciendo su actividad retardando en el proceso de cianuración del Oro.

Cuadro Nro 52 Caracterización para el modelamiento de bloque geometalúrgico.

UGM	UGM 1	UGM 2	UGM 3
Zona	Óxida	Óxida	Óxida
Dominio de alteración hidrotermal	Sílice Granular Deleznable	Sílice Granular Compacta	Sílice Masiva
Alteración de roca	Silicificación intensa,Oxidación supérgena moderada, argilización	Silicificación intensa, oxidación supergena moderada,argilizacion	Silicificacion intensa , oxidacion supergena intenso,argilizacion debil
Litología	Bx hidrotermales, dacitico, andecita de textura pórfida	Bx hidrotermales y dacitico, Bx con protolito andecitico	Bx freatomagmaticas, dacitico, Bx hidrotermales protolito, andecitico
Textura	Relleno reemplazamineto y coloforme	Tobácea, porfiritica, relleno y reemplazamieto	Perlitico, bandeado,relleno y reemplazamiento
Especies Mineralógicas	py,cp,goe,rut, hm, oro nativo,cz	py, rut,goe,cz	py,goe,rut,mt,hm,cz
Amarres Mineralógicas	cz/py, cz/rut , GGs/rut/goe	cz/rut, cz/py/rut ,cz/goe/rut	cz/py cz/rut,hm/goe,cz/hm,cz/py/rut
Ley Au (g/t)	0.12- 0.50	0.12 - 1.70	0.12- 0.45
UCS (Mpa)	25 - 80	40 - 100	60- 170
P_{80} (pulg)	1.6-2.0	2.3 - 2.8	2.6 - 3.0
m-200(%)	8.0 - 15	4.0 - 7.0	0.8 - 3.0
Densidad roca (t/m^3)	1.6 - 1.95	1.90 - 2.30	2.10 - 2.50
Saturación (%)	12.0 - 16.0	8.0 - 10.0	5.0 -7.0
Velo. Percolación (m/dia)	0.95 - 1.40	1.8 - 2.50	2.30 - 3.00
Consumo Cal (Kg/t)	0.20 - 0.30	0.40 -0.80	0.40 - 0.80
Tiempo de riego (dias)	30	35	31
Consumo de NaCN (Kg/t)	0.12	0.08	0.08
Extracción Au (%)	75- 82	85- 94	56 - 65

Para el modelamiento geometalúrgico del yacimiento Ayahuanca se clasifican en 03 unidades geometalúrgico (UGM) según su comportamiento frente al proceso de cianuración de Au, se utiliza la misma la data del modelo de bloques geológico incrementando los atributos de las características geometalúrgica, se complementa con pruebas metalúrgicas a nivel botellas para obtener el modelo de bloques geometalúrgico, los bloques geometalúrgico es una porción tridimensional de mineral de yacimiento con sus propiedades geológicas y metalúrgicas que permite definir y cuantifica las reservas aprovechables para una evaluación técnica-económica.

La geometalúrgia aporta los conocimientos e información de la variabilidad metalúrgica de los recursos minerales en el yacimiento, generando un modelo geometalúrgico que presenta y categoriza el comportamiento metalúrgico de los distintos unidades geometalúrgico UGM, que serán aplicados para predecir el impacto del comportamiento metalúrgico en la planificación estrategia de las operaciones a corto y largo plazo con un grado de confiabilidad acertada.

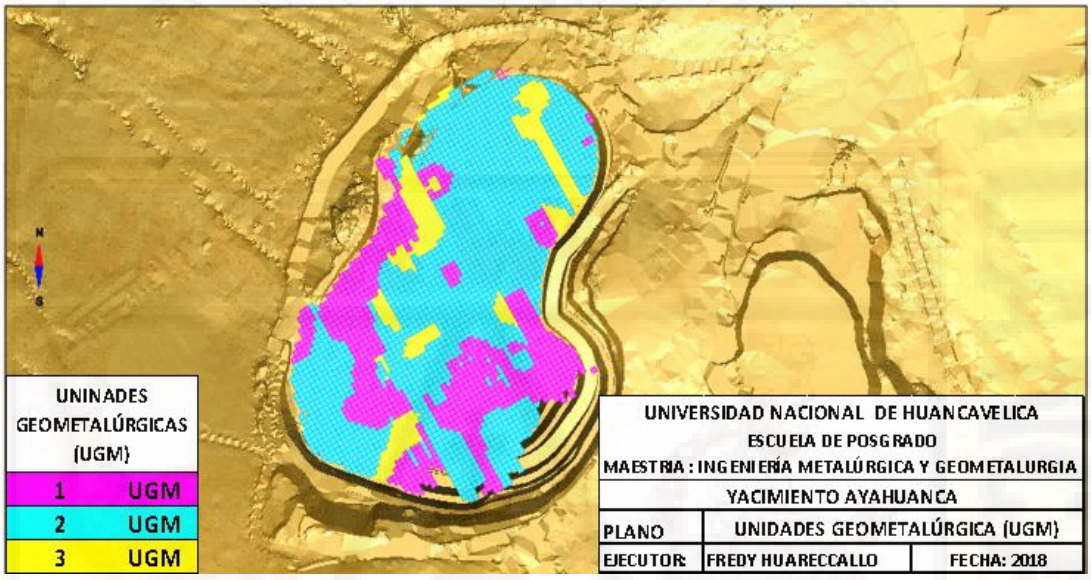


Fig.Nro 53 Modelo de bloques geometalúrgico yacimiento Ayahuanca-vista planta.

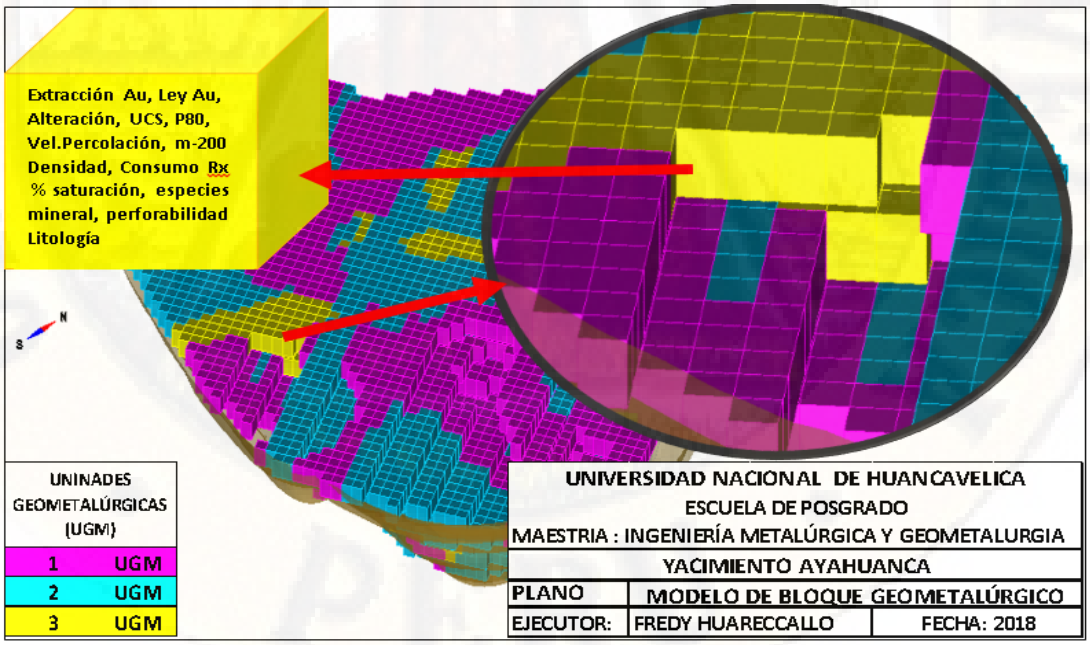


Fig.Nro 54 Geometalúrgia del yacimiento Ayahuanca.

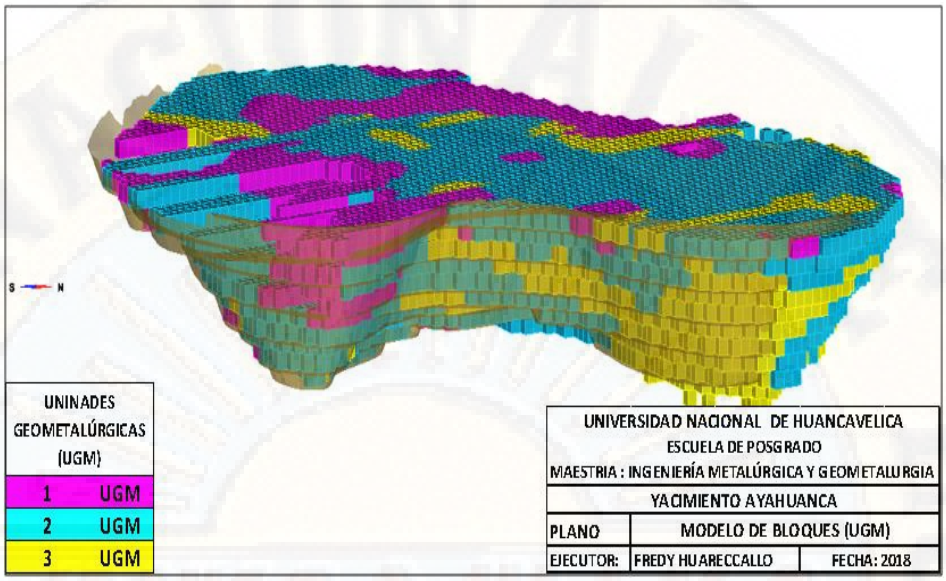


Fig.Nro 55 Modelo de bloques geometalúrgico Ayahuanca-vista lateral.

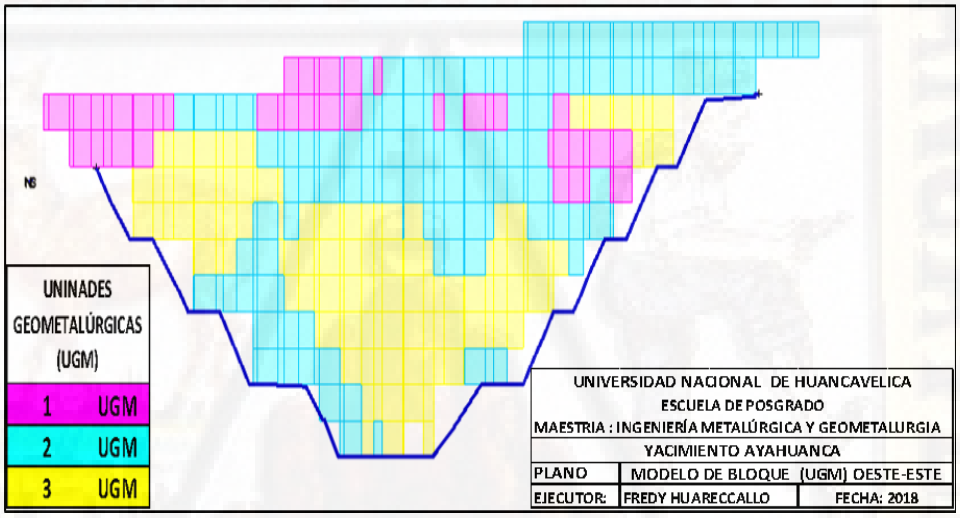


Fig.Nro 56 Modelo de bloques geometalúrgico Ayahuanca- transversal oeste-este.

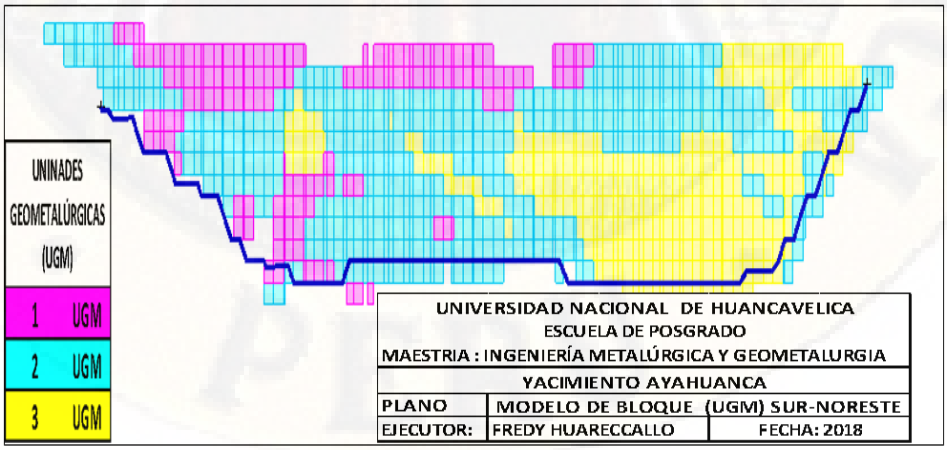


Fig.Nro 57 Modelo de bloques geometalúrgico Ayahuanca- transversal sur-noreste.

4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Formulación de Hipótesis Estadístico:

Ho: La caracterización geometalúrgica del mineral no influye significativamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca-Ayacucho 2018

Ha: La caracterización geometalúrgica del mineral influye significativamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca-Ayacucho 2018

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

Estadística de prueba: El chi cuadrado es una prueba estadística para evaluar hipótesis acerca de la relación entre dos variables (Sampiere. R, 2014)

Cuadro Nro 53 Caracterización geometalúrgica mineral Ayahuanca; Au en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación.

Alteración hidrotermal yacimiento Ayahuanca	Oro en proceso de cianuracion en pilas de Lixiviación		
	% Au Extraido proceso	% Au inventariado Proceso	% Au no cianurable
Silice Granular Compacta	90.32	4.63	5.05
Silice Granular Deleznable	79.06	7.86	13.08
Silice Masiva	61.26	22.39	16.35

X^2 Calculado = 25.464

X^2 Tabla o crítica = 9.4877

Grado Libertad = 4

Nivel de significancia (Valor-P)=0.0000

El criterio para la comprobación de la hipótesis se define:

Si, X^2 Calculado es mayor que X^2 Tabla, se rechaza **Ho** (25.464 > 9.4877) y se acepta la **Ha**

A nivel de independencia de las variables representativas de X^2 Calculado el P-Valor es 0.000 es menor que 0.05, se rechaza la **Ho** y se acepta **Ha.**

Decisión estadística:

Como el valor X^2 c > X^2 t, el nivel de significancia en menor que 0.05, rechazamos la hipótesis nula (**Ho**) y aceptamos la hipótesis alterna (**Ha**), se concluye que a un nivel de significancia de 0.05 la caracterización geometalúrgica del mineral influye significativamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca-Ayacucho 2018.

Correlación de las dimensiones de la variables en estudio:

Se determina la correlación de las dimensiones de las variables independiente y dependiente mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r).

Cuadro Nro 54 Coeficiente de correlación lineal de Pearson (r).

Caracteristicas geometalúrgia del mineralde yacimiento Ayahuanca	Proceso de cianuración en pilas de Lixiviación		
	Extracción Au (%)	Velo. Percolación (m/dia)	Tiempo riego (dias)
Extracción Au (%)	1.00		
Velo. Percolación (m/dia)	- 0.272	1.00	
Tiempo de riego (dias)	+ 0.665	+ 0.537	1.00
Especies Mineralógicas	- 0.552	+ 0.652	- 0.990
Tipo Amarres Mineralógicas	- 0.923	+ 0.621	- 0.237
Peso Pirita (%)	+ 0.598	+ 0.608	+ 0.996
Peso Goethita (%)	- 0.552	- 0.652	- 0.990
Ley Au (g/t)	+ 0.843	+ 0.288	+ 0.962
P80 (pulg)	- 0.389	+ 0.992	+ 0.429
m-200(%)	+ 0.503	- 0.969	- 0.311
Saturación (%)	+ 0.407	- 0.990	- 0.411
Razón riego (m3/t)	+ 0.985	- 0.433	+ 0.523
pH Natural mineral	+ 0.911	- 0.645	+ 0.297
Concentracion de NaCN	+ 0.963	- 0.003	+ 0.842
Au Cianurable (%)	+ 0.933	+ 0.092	+ 0.889

La características geometalúrgica como; razón de riego, pH natural de mineral, concentración de cianuro en la solución lixiviante, Au cianurable en medio alcalino se relacionan fuertemente y directamente proporcional a la extracción de Au; el tipo de amarres mineralógicos se relaciona fuertemente e inversamente proporcional a la extracción Au; la ley de mineral está relacionado considerablemente y positivamente a la extracción de Au.

La velocidad de percolación del proceso de cianuración es afectada fuertemente y directamente por la característica de P_{80} e inversamente por partículas pasante malla-200 y % saturación.

El tiempo de riego en el proceso de cianuración es afectada por la pirita y la ley del mineral fuertemente y positivamente; la concentración de cianuro y la cianurabilidad de Au en medio alcalino afectan considerablemente y positivamente, las características que afectan fuertemente e inversamente son las especies mineralógicas y la goethita al tiempo de regado del proceso de lixiviación.

Cuadro Nro 55 Índice de correlación según Sampieri, Robert (2010)

COEFICIENTE	TIPO DE CORRELACIÓN
-1.00	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación alguna entre las variables
+0.25	Correlación positiva débil
+0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1.00	Correlación positiva perfecta

CONCLUSIONES.

1. Se determina mediante la prueba de hipótesis que la caracterización geometalúrgica del mineral influye significativamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca, con un nivel de significancia de $\alpha < 0.05$ y 95% de certeza.

2. La correlación de Pearson (r) establece que las características geometalúrgica como razón de riego, pH natural de mineral, concentración de cianuro, Au cianurable, P_{80} y pirita, tiene una relación muy fuerte y directamente proporcional al proceso de cianuración, las características como el tipo de amarres mineralógicos, partículas inferiores a malla -200, % saturación, especies mineralógicas y goethita tiene una relación muy fuerte e inversamente proporcional al proceso de cianuración en pilas de lixiviación.

3. Los estudios petromineragráficos realizadas a 10 muestras de roca del yacimiento, presentan tres generaciones de cuarzo, seguida por sílice amorfa, minerales arcillosos, rutilo, clorita, óxido de hierro, Oro nativo-electrum, pequeñas cantidades de zircón, pirita y epidota. Entre los protolitos mayoritarios tenemos a tobas litocristalinas de tipo lapilli, andesita, lava y brechas volcánicas las cuales han sido reemplazados por varias generaciones de sílice, minerales arcillosos y óxidos de hierro, con presencia de pirita y diseminaciones de Oro nativo-electrum.

4.-En los estudios de microscopia electrónica se ha encontrado Oro (Au) en soluciones sólidas en especies de mineral llamado refractarios, en óxido de hierro, óxido de titanio-hierro, dichos óxidos proviene de la alteración de la pirita, ilmenita-rutilo y arsenopirita.

5.-Los óxidos de hierro entre 0.1 y 2.5%, seguida por leucoxeno-ilmenita entre 2 y 3.5%, dentro de su composición química presentan alto contenidos de Au y no presentan mayor complicaciones al proceso de cianuración. Los sulfuros de hierro como arsenopirita calcopirita y pirita la cual contiene en su red cristalina Au, dichos sulfuros se muestran libre y mixtos con cuarzo/oxido de Fe-Ti, la pirita entre 0.2 y 3%,

arsenopirita entre 0.4 y 0.6% y calcopirita en 1.43% estos sulfuros son complicados para el proceso de cianuración por su baja cianurabilidad en medio alcalino.

6. En la extracción de Au del proceso de cianuración en pilas de lixiviación no presta mayor importancia desde una evaluación técnica-económica la concentración de cianuro superiores a 250 ppm; el tamaño de partículas en muestras de sílice granular compacta y deleznable no influyen significativamente, mientras que en sílice masiva la variación es de 22.39% esta diferencia obedece a que el Au está en medio de solución sólida en mineral refractario y que a menor tamaño son liberados como especies mineralógicas.

7. El yacimiento Ayahuanca se clasificación en tres unidades geometalúrgica (UGM), para el modelamiento de bloques geometalúrgico se realiza con el criterio del comportamiento y respuesta metalúrgico en el proceso de cianuración Au. Este modelo representa y categoriza en comportamiento metalúrgico de los distintos sectores del yacimiento Ayahuanca y permite encontrar de manera objetiva el plan que garantice la producción reduciendo el impacto de incertidumbre espacial en el planeamiento de producción, debido a que documenta la variabilidad del yacimiento Ayahuanca.

8. Con los resultados experimentales se propone el modelo cinético empírico de extracción de Au en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación, con valores de constantes independientes para cada unidad geometalúrgica:

% Extracción (Au) = 100- A exp [-B (Razón riego)] + C

Donde (A) desplazamiento de la cinética, (B) velocidad del proceso de cianuración y (C) ajuste de cinética. El modelo puede ser aplicado con fines predictivos, simulación y control para el proceso de cianuración en pilas de lixiviación del mineral epitermal de alta sulfuración de yacimiento Ayahuanca.

RECOMENDACIONES

1.-El modelo de bloque geometalúrgico debe ser actualizado periódicamente con datos obtenidos de producción para ajustar el modelo inicial y generar una base con información fidedigna identificando limitaciones de cada bloque del yacimiento Ayahuanca.

2.-Considerar estudios de espectroscopia de masa de ion secundario (SIMS) y microsonda electrónica de barrido (EMPA), sobre la presencia de Au en solución solida o llamado Oro refractario que se encuentra en pirita, dentro de su red cristalina o dentro de su composición química y en su estado de oxidación que encuentre.

3.-Desarrollar modelo matemático que intervengan variables de caracterización geometalúrgica con mayor efecto, para el control y simulación del proceso de cianuración en pilas de lixiviación del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.

BIBLIOGRAFIA

1. ESTELA Juan, CARUAJULCA William, (2016). “Estudio Geológico del Yacimiento Minero Ayahuanca Norte” Departamento de Geología y Exploraciones - Minera Aruntani SAC.
2. F.A.INGENIEROS SAC. (2017) “Estudio Petromineragráficos de Muestras de Rocas tajo Ayahuanca” Laboratorio de Caracterización mineralógica-Metalúrgica Aplicada a la Minería y Medio Ambiente-Perú.
3. F.A.INGENIEROS SAC.(2017) “Estudio de Microscopia Electrónica, Estudios Mineralógicos de relave de Proceso Metalúrgico, Análisis Mineralógico de Grado de Liberación y Difracción de rayos X (DRX) con tubo de Cobalto de Muestras de tajo Ayahuanca” Laboratorio de Caracterización mineralógica-Metalúrgica Aplicada a la Minería y Medio Ambiente-Perú.
4. TAKEHARA, Lucy (2004). ”Caracterizaçâo geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros- fraçâo sinter feed”, Universidad de Federal do Rio Grande do Sul- Brasil
5. DOMIC Esteban, (2001). “Hidrometalurgia” Primera edición, Andros Impresores Ltda. Santiago de Chile.
6. TREMOLADA P. Julio (2011). “Caracterización, influencia y tratamiento de Arcillas en el proceso de Cianuración en Pilas, Universidad de Oviedo- España
7. ARROYO O, Carlos (2014). ”Caracterizaçâo geometalúrgica Modelagen Geoestatístico da Mina de Brucutu- Quadrilátero Ferrífero (MG)”, Universidad Federal de Ouro-Brasil
8. DÍAZ V, Eduardo (2017). ”Modelamiento geometalurgico del consumo de medios de molienda basado en técnicas de caracterización avanzada”, Universidad Chile-Chile
9. G.DIXON Davis, PETERSEN Jochen, (2003) “Introduction to Heap Leach Practice and Theory” University of British Columbia
10. HABASHI, Fathi, (1980). “Principles of Extractive Metallurgy” volume II Anaconda Company Arizona
11. P.G.HUTCHISON, (1988) “Introduction to Evaluation, design and Operation of Precious Metal, Heap Leaching Projects. Editorial Dirk. Van Zyl. - Colorado - EE.UU
12. CÁRDENAS DEL RIO, Efraín (2015) “Caracterización geoquímica de alteración hidrotermal en pórfidos cupríferos escondida”, Universidad de Chile-Chile
13. NAVARRETE P. Viviana (2007). ”Geometalúrgia en la planificación de una mina a cielo abierto”, Universidad de Chile- Chile
14. JÉRÔNE, Agustín (2017) “Étude des Mineralisation Auriféres du District de Mana, Burkina Faso. Évolution Hydrothermale D’ un Systéme Aurifére et

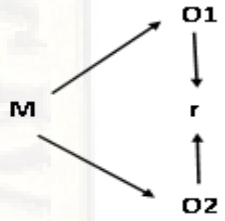
Contraintes Tectone-Métamorphiques", L'université du Québec á Chicoutimi-Canada
15. CERÓN C, Félix (2010). "Pucamarca: nuevo yacimiento de oro de alta sulfuración en el sur del Perú", Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Perú
16. SEGUEL S, Sebastián (2017). "Incorporación de atributos geometalúrgicos e incertidumbre geológica en la definición del Pit Final y la secuencia de extracción del largo Plazo", Universidad de Chile- Chile.
17. CHERICO, Lia (2017) "Development of Geometallurgical data set for the Prediction of Operating Conditions to Beneficiate base metal Sulphide Ore via Flotation "University Murdoch - Australia
18. RIOS M, Hugo(2005) "El Yacimiento Epitermal de oro de alta sulfuración de alto Chicama, Controles de mineralización y Modelo Genético Preliminar" Universidad Nacional de Ingeniería-Perú
19. CANCHAYA M. Samuel (2001) "Ensambles de alteración en yacimientos epitermales de alta sulfuración", IV Seminario Internacional de Alteraciones Hidrotermales-Guía de Exploración"- Perú
20. CANCHAYA M. Samuel (2017) " El modelo Geometalúrgico de Bloques", 33 Convención Minera PERUMIN-Perú
21. YONNOPOULOS J, (1991) "The extractive Metallurgy of Golf", Editorial Van Nostrand Reinhold - New York.
22. ACOSTA, J.,RODRIGUEZ I.,FLORES A (2011) "Metalogenia y Geología Económica por Regiones" INGEMMET-Perú, Boletín: Proyecto GE33
23. VELARDE, T.,NEYRA,A.,OSORIO,R.,(2009) "Microscopia aplicada a estudios geometalúrgicos de yacimientos minerales del Perú" INGEMMET-Perú, Programa de Metalogenia- Proyecto GE-26
24. SYLVESTER, Paul, (2014) "Real-Time Geometallurgy" Texas Tech University-Texas, Bulletin de Chair of Geosciencies.
25. LUND, Celia, LAMBERG, Pertti, (2014) "Geometallurgy-A toll for better resource efficiency" Magazine European Geologist Nro 37
26. CORBET, Greg,(2013) "Pacific Rim Epithermal Au-Ag" Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Bulletin 56
27. CAMPRUBI,A.,GONZALES, E.,LEVRESSE, G. (2013) "Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa" Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana-Tomo LVI
28. MÉRIDA, E.,FIGUEREDO M.,CASTELLANO,J., (2015) "Cinética de lixiviación por percolación con solución de cianuro de Sodio de Mineral Aurocuprífero de Menas Oxidadas" Centro de Investigaciones para la Industria Minera Metalúrgica- La Habana Cuba
29. CARMERO H, Pedro,(2015) "Modelo Matemático y diseño Optimo del Proceso de lixiviación en Pilas"-VI-Latinometalúrgia- Perú

30. ORTIZ, Julián, (2015) “Modelamiento Geo-Minero-Metalúrgico de Yacimiento” Advance Mining Technology Center-Depto. de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile
31. MONYOYA L, Andrea (2014) “Mapeo Geometalúrgico y Modelo de Mina-Estudio de Trituración: Estudio Colosa AMAIRA P843A, Universidad de Tasmania-Australia
32. PUENTES M, Carlos (2018) “Identificación de oro invisible en pirita aurífera mediante la caracterización de zonaciones asociadas a arsénico en solución sólida”, Centro de Investigaciones y Estudios de Pos Grado, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí-México
33. BARREZUETA, E., DOMINGUEZ, M (2010) “Técnicas Aplicadas a la Caracterización y Aprovechamiento de Recursos geológicos- Mineros”, Instituto Geológico y Minero de España- Volumen I.

ANEXOS

Anexo I: Matriz de consistencia.

TITULO: INFLUENCIA DE LA CARACTERIZACIÓN GEOMETALÚRGICA EN EL PROCESO DE CIANURACIÓN EN PILAS DE LIXIVIACIÓN DE MINERAL AURÍFERO EPITERMAL DE ALTA SULFURACIÓN DEL YACIMIENTO AYAHUANCA

I Problema	II Objetivo	III Hipótesis	IV Variables	V Metodología
Problema General ¿Cómo Influye la caracterización geometalúrgica del mineral, en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca? **Problema Específico** ¿Cuál es la característica geometalúrgica del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca? ¿Cómo es el comportamiento metalúrgico en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca?	**Objetivo General** Determinar la influencia de la caracterización geometalúrgica del mineral, en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca. **Problema Específico** Determinar la característica geometalúrgica de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca. Conocer el comportamiento metalúrgico en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.	**Hipótesis General** La caracterización geometalúrgica del mineral influye significativamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.- Ayacucho 2018 **Hipótesis Específico** La característica mineralógica, física y química del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca influye directamente en el proceso de cianuración en pilas de lixiviación. El comportamiento metalúrgico es la respuesta del mineral al proceso de cianuración en pilas de lixiviación del mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.	**Variables** **Independientes** V1: Características geometalúrgica de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca. **Dependientes** V2: Proceso de cianuración en pilas de lixiviación de mineral Aurífero epitermal de alta sulfuración del yacimiento Ayahuanca.	**Tipo de Investigación** - Aplicada: **Nivel de Investigación** - Nivel Descriptivo-Correlacional - Nivel explicativo: **Método de Investigación** Método científico experimental. **Diseño de Investigación** Diseño Descriptivo Correlacional:  ***Donde***: **O1** = Caracterización Geometalúrgica de mineral del yacimiento Ayahuanca **O2** = Proceso de cianuración en pilas de lixiviación del mineral de yacimiento Ayahuanca **M** = Muestra **r** = Relación entre las dos variables

Anexo II: Datos de control de las columnas de cianuración de 30” x 6 m

PRUEBA DE CIANURACIÓN EN COLUMNA 30" x 6m : MUESTRA SILICE GRANULAR DELEZNABLE																				
Dia	Solucion de Riego										Solucion Pregnant					Extraccion Au			Columna Carbon	
	Volumen (L)	Volumen Acumulado (L)	Ratio Liquido / Solido	pH	NaCN			CaO		Ley (ppm) Au	Volumen (L)	Volumen Acumulado (L)	pH	NaCN (ppm)	Ley (ppm) Au	Diario (mg)	Acum. (mg)	% Extraccion Au	Pregnant Au (ppm)	Adsor. Au (%)
					Adicion (g)	ppm	Total (g)	Adicion (g)	Total (g)											
0	132	132	0.04	10.56	39.00	240	39.00	4.00	4.00											
1	132	264	0.08	10.79	41.06	243	80.06	2.00	6.00											
2	132	396	0.11	10.86	40.33	257	120.39	2.00	8.00											
3	132	528	0.15	10.82	38.73	248	159.12	2.00	10.00											
4	132	660	0.19	10.73	41.78	248	200.90	2.00	12.00											
5	132	792	0.23	10.68	41.13	245	242.03	2.00	14.00											
6	132	924	0.26	10.69	42.00	245	284.03	2.00	16.00											
7	132	1056	0.30	11.29	18.05	240	302.08	0.00	16.00	0.010	90.05	90.05	11.46	160	4.615	415.56	415.56	35.51	4.615	99.78
8	132	1188	0.34	11.34	15.37	240	317.45	0.00	16.00	0.010	101.20	191.24	11.35	160	2.425	244.08	659.64	56.37	2.425	99.59
9	132	1320	0.38	11.05	11.65	258	329.11	0.00	16.00	0.010	97.16	288.40	12.02	213	0.974	93.31	752.94	64.35	0.974	98.97
10	132	1452	0.42	11.12	12.00	261	341.11	0.00	16.00	0.010	100.58	388.98	12.10	187	0.658	64.86	817.81	69.89	0.658	98.48
11	132	1584	0.45	11.50	14.02	256	355.13	0.00	16.00	0.010	98.45	487.42	11.97	203	0.485	46.43	864.23	73.86	0.485	97.94
12	132	1716	0.49	11.16	13.01	261	368.14	0.00	16.00	0.010	106.16	593.58	11.62	187	0.362	37.11	901.34	77.03	0.362	97.24
13	132	1848	0.53	11.08	8.55	240	376.68	0.00	16.00	0.010	97.37	690.95	11.49	213	0.133	11.63	912.97	78.02	0.133	92.48
14	132	1980	0.57	11.16	14.43	259	391.11	0.00	16.00	0.010	99.36	790.31	11.64	187	0.087	7.32	920.30	78.65	0.087	88.51
15	132	2112	0.60	11.20	6.00	267	397.11	0.00	16.00	0.010	83.21	873.51	11.18	213	0.064	4.01	924.30	78.99	0.064	84.38
16	132	2244	0.64	11.26	6.00	267	403.11	0.00	16.00	0.010	72.32	945.83	10.50	213	0.049	2.22	926.52	79.18	0.049	79.59
17	132	2376	0.68	11.13	5.00	253	408.11	0.0	16.00	0.010	90.72	1036.55	11.29	240	0.031	1.49	928.02	79.31	0.031	77.74
18	132	2508	0.72	11.36	4.00	253	412.11	0.0	16.00	0.010	87.42	1123.97	11.02	240	0.026	0.95	928.97	79.39	0.026	71.54
19	132	2640	0.76	10.98	7.00	267	419.11	0.0	16.00	0.010	105.26	1229.23	10.89	227	0.014	0.15	929.12	79.41	0.014	78.57
20	132	2772	0.79	11.00	3.00	253	422.11	0.0	16.00	0.010	115.26	1344.48	10.89	240	0.012	0.06	929.19	79.41	0.012	76.67
21	132	2904	0.83	10.00	0.00	547	422.11	0.0	16.00	0.010	105.26	1449.74	10.99	253	0.013	0.05	929.23	79.41	0.013	73.08
22	132	3036	0.87	10.00	0.00	552	422.11	0.0	16.00	0.010	105.26	1554.99	10.94	213	0.013	0.05	929.28	79.42	0.013	89.99
23	132	3168	0.91	10.00	0.00	251	422.11	0.00	16.00	0.010	105.26	1660.25	10.56	226	0.019	0.68	929.96	79.48	0.019	92.65
24	132	3300	0.94	9.95	0.00	250	422.11	0.00	16.00	0.010	105.26	1765.50	10.69	213	0.013	0.05	930.01	79.48	0.013	85.48
25	132	3432	0.98	9.81	0.00	246	422.11	0.00	16.00	0.010	132.00	1897.50	10.40	213	0.012	0.26	930.28	79.50	0.012	85.92
26	132	3564	1.02	9.65	0.00	253	422.11	0.00	16.00	0.010	132.00	2029.50	10.63	205	0.012	0.26	930.54	79.53	0.012	92.89
27	132	3696	1.06	9.42	0.00	250	422.11	0.00	16.00	0.010	132.00	2161.50	10.66	210	0.012	0.00	930.54	79.53	0.012	0.00
28	132	3828	1.10	9.43	0.00	249	422.11	0.00	16.00	0.010	132.00	2293.50	10.66	240	0.012	0.00	930.54	79.53	0.012	0.00
29	132	3960	1.13	9.36	0.00	250	422.11	0.00	16.00	0.010	132.00	2425.50	10.54	230	0.010	0.00	930.54	79.53	0.010	0.00
30	132	4092	1.17	9.58	0.00	250	422.11	0.00	16.00	0.010	132.00	2557.50	10.50	235	0.010	0.00	930.54	79.53	0.010	0.00

PRUEBA DE CIANURACIÓN EN COLUMNA 30" x 6m : MUESTRA DE SILICE GRANULAR COMPACTA																				
Dia	Solucion de Riego										Solucion Pregnant					Extraccion Au			Columna Carbon	
	Volumen (L)	Volumen Acumulado (L)	Ratio Liquido / Solido	pH	NaCN			CaO		Ley (ppm) Au	Volumen (L)	Volumen Acumulado (L)	pH	NaCN (ppm)	Ley (ppm) Au	Diario (mg)	Acum. (mg)	% Extraccion Au	Pregnant Au (ppm)	Adsor. Au (%)
					Adicion (g)	ppm	Total (g)	Adicion (g)	Total (g)											
0	60	60	0.02	10.53	33.01	240	33.01	2.50	2.50											
1	132	192	0.05	10.94	29.20	240	62.21	1.85	4.35											
2	117	309	0.08	10.81	40.00	240	102.21	2.00	6.35											
3	126	435	0.11	10.88	43.00	242	145.21	2.00	8.35											
4	132	567	0.15	11.39	30.00	240	175.21	0.00	8.35	0.010	78.44	78.44	10.86	106	32.975	2586.56	2586.56	36.01	32.975	99.97
5	112	679	0.18	11.15	20.00	249	195.21	0.00	8.35	0.010	106.26	184.70	10.52	160	17.280	1834.85	4421.41	61.56	17.280	99.94
6	132	811	0.21	11.38	18.00	265	213.21	0.00	8.35	0.010	103.49	288.19	10.39	187	9.110	941.67	5363.09	74.67	9.110	99.89
7	132	943	0.24	11.37	13.00	253	226.21	0.00	8.35	0.010	103.59	391.78	10.60	200	5.740	593.29	5956.37	82.93	5.740	99.83
8	132	1075	0.28	11.54	13.18	267	239.39	0.00	8.35	0.010	89.29	481.07	10.72	208	1.958	173.51	6129.88	85.35	1.958	99.49
9	132	1207	0.31	11.39	11.45	251	250.84	0.00	8.35	0.010	110.78	591.85	11.05	213	1.016	111.23	6241.11	86.90	1.016	99.02
10	132	1339	0.35	11.26	6.50	244	257.34	0.00	8.35	0.010	119.80	711.65	10.91	240	0.538	63.13	6304.25	87.77	0.538	98.14
11	132	1471	0.38	11.43	11.20	253	268.54	0.00	8.35	0.010	99.68	811.33	10.72	227	0.362	34.76	6339.01	88.26	0.362	97.24
12	132	1603	0.41	11.53	10.00	260	278.54	0.00	8.35	0.010	107.40	918.73	10.52	213	0.244	24.89	6363.90	88.60	0.244	95.90
13	132	1735	0.45	11.74	7.00	267	285.54	0.00	8.35	0.010	94.49	1013.22	10.13	213	0.194	17.01	6380.91	88.84	0.194	94.85
14	132	1867	0.48	11.68	5.50	267	291.04	0.00	8.35	0.010	97.86	1111.08	10.65	213	0.172	15.51	6396.42	89.06	0.172	94.19
15	132	1999	0.52	11.58	3.00	267	294.04	0.00	8.35	0.010	109.62	1220.70	10.77	213	0.149	15.01	6411.43	89.27	0.149	93.29
16	132	2131	0.55	11.57	3.00	256	297.04	0.00	8.35	0.010	114.84	1335.54	10.64	244	0.120	12.46	6423.89	89.44	0.120	91.67
17	132	2263	0.58	11.14	0.00	253	297.04	0.0	8.35	0.010	101.01	1436.55	10.61	240	0.115	10.30	6434.19	89.58	0.115	91.30
18	132	2395	0.62	11.46	0.00	250	297.04	0.0	8.35	0.010	113.56	1550.11	10.44	251	0.098	9.81	6444.00	89.72	0.098	89.80
19	132	2527	0.65	11.63	3.00	253	300.04	0.0	8.35	0.010	115.87	1665.98	10.62	245	0.088	8.88	6452.87	89.84	0.088	88.64
20	132	2659	0.69	11.47	3.00	256	303.04	0.0	8.35	0.010	105.21	1771.19	10.80	247	0.081	7.20	6460.08	89.94	0.081	87.65
21	132	2791	0.72	11.51	5.00	257	308.04	0.0	8.35	0.010	100.09	1871.28	10.55	216	0.069	5.59	6465.66	90.02	0.069	85.51
22	132	2923	0.75	11.58	4.00	259	312.04	0.0	8.35	0.010	93.28	1964.56	11.00	245	0.070	5.21	6470.87	90.09	0.070	85.71
23	132	3055	0.79	11.60	3.00	259	315.04	0.00	8.35	0.010	108.54	2073.10	11.01	248	0.069	6.17	6477.04	90.18	0.069	85.51
24	132	3187	0.82	11.66	0.00	253	315.04	0.00	8.35	0.010	77.47	2150.57	10.80	280	0.058	3.17	6480.21	90.22	0.058	82.76
25	132	3319	0.86	11.43	0.00	255	315.04	0.00	8.35	0.010	87.16	2237.73	10.57	253	0.047	2.78	6482.99	90.26	0.047	78.72
26	132	3451	0.89	11.29	0.00	257	315.04	0.00	8.35	0.010	117.24	2354.97	10.96	267	0.048	4.31	6487.30	90.32	0.048	79.17
27	132	3583	0.93	11.42	0.00	257	315.04	0.00	8.35	0.010	105.53	2460.50	10.92	267	0.039	2.80	6490.09	90.36	0.039	74.36
28	132	3715	0.96	11.42	0.00	257	315.04	0.00	8.35	0.010	104.92	2565.42	10.26	240	0.034	2.25	6492.34	90.39	0.034	70.59
29	132	3847	0.99	11.08	0.00	253	315.04	0.00	8.35	0.010	106.31	2671.73	11.03	240	0.033	2.19	6494.53	90.42	0.033	69.70
30	132	3979	1.03	11.08	0.00	240	315.04	0.00	8.35	0.010	120.00	2791.73	10.50	240	0.039	3.36	6497.89	90.47	0.039	74.36
31	132	4111	1.06	11.10	1.00	243	316.04	0.00	8.35	0.010	123.00	2914.73	10.17	227	0.038	3.35	6501.24	90.52	0.038	73.68
32	132	4243	1.10	11.13	0.50	256	316.54	0.00	8.35	0.010	120.00	3034.73	10.68	240	0.036	3.00	6504.24	90.56	0.036	72.22
33	132	4375	1.13	11.11	0.50	251	317.04	0.00	8.35	0.010	125.00	3159.73	10.08	245	0.030	2.43	6506.67	90.59	0.030	66.67
34	132	4507	1.16	11.08	0.90	245	317.94	0.00	8.35	0.010	116.00	3275.73	10.37	240	0.015	0.42	6507.09	90.60	0.015	33.33
35	132	4639	1.20	11.10	1.00	253	318.94	0.00	8.35	0.010	132.00	3407.73	10.91	240	0.010	0.00	6507.09	90.60	0.010	0.00

PRUEBA DE CIANURACIÓN EN COLUMNA 30" x 6m : MUESTRA DE SILICE MASIVA																				
Dia	Solucion de Riego										Solucion Pregnant					Extraccion Au			Columna Carbon	
	Volumen (L)	Volumen Acumulado (L)	Ratio Liquido / Solido	pH	NaCN			CaO		Ley (ppm) Au	Volumen (L)	Volumen Acumulado (L)	pH	NaCN (ppm)	Ley (ppm) Au	Diario (mg)	Acum. (mg)	% Extraccion Au	Pregnant Au (ppm)	Adsor. Au (%)
					Adicion (g)	ppm	Total (g)	Adicion (g)	Total (g)											
0	132	132	0.03	10.57	33.03	240	33.03	2.50	2.50											
1	117	249	0.06	10.77	43.00	240	76.03	2.00	4.50											
2	112	361	0.09	10.82	43.00	240	119.03	0.00	4.50											
3	132	493	0.13	11.01	43.00	240	162.03	0.00	4.50	0.010	105.12	105.12	10.70	160	1.844	193.84	193.84	25.36	1.844	99.46
4	132	625	0.16	11.08	14.75	235	176.78	0.00	4.50	0.010	122.75	227.87	10.82	200	0.955	115.91	309.75	40.53	0.955	98.95
5	132	757	0.19	11.20	19.50	265	196.28	0.00	4.50	0.010	103.57	331.44	10.87	200	0.583	59.06	368.81	48.26	0.583	98.28
6	132	889	0.23	11.36	9.00	227	205.28	0.00	4.50	0.010	124.06	455.50	10.88	200	0.303	36.27	405.08	53.00	0.303	96.70
7	132	1021	0.26	11.40	13.18	267	218.46	0.00	4.50	0.010	106.92	562.42	10.84	213	0.227	22.95	428.03	56.01	0.227	95.59
8	132	1153	0.29	11.16	9.13	256	227.59	0.00	4.50	0.010	118.87	681.29	10.84	213	0.140	15.32	443.35	58.01	0.140	92.86
9	132	1285	0.33	11.14	6.93	247	234.52	0.00	4.50	0.010	125.60	806.89	10.88	240	0.077	8.35	451.70	59.10	0.077	87.01
10	132	1417	0.36	11.15	10.50	256	245.02	0.00	4.50	0.010	110.23	917.12	10.88	213	0.053	4.52	456.22	59.70	0.053	81.13
11	132	1549	0.40	11.15	9.00	272	254.02	0.00	4.50	0.010	115.15	1032.27	10.89	213	0.041	3.40	459.62	60.14	0.041	75.61
12	132	1681	0.43	11.18	7.00	267	261.02	0.00	4.50	0.010	95.41	1127.68	10.91	213	0.033	1.83	461.45	60.38	0.033	69.70
13	132	1813	0.46	11.11	3.70	267	264.72	0.00	4.50	0.010	67.70	1195.38	10.89	213	0.031	0.78	462.23	60.48	0.031	67.74
14	132	1945	0.50	11.17	3.00	262	262.72	0.00	4.50	0.010	108.95	1304.33	10.81	213	0.030	1.95	464.18	60.74	0.030	66.67
15	132	2077	0.53	11.12	3.00	251	270.72	0.00	4.50	0.010	97.52	1401.85	10.84	240	0.025	1.12	465.30	60.88	0.025	60.00
16	132	2209	0.56	11.11	0.00	253	270.72	0.00	4.50	0.010	58.09	1459.94	10.73	240	0.025	0.13	465.43	60.90	0.025	60.00
17	132	2341	0.60	11.16	0.00	248	270.72	0.00	4.50	0.010	112.39	1572.33	10.81	244	0.020	0.93	466.36	61.02	0.020	50.00
18	132	2473	0.63	11.16	3.00	253	273.72	0.0	4.50	0.010	110.89	1683.22	10.90	245	0.020	0.90	467.25	61.14	0.020	50.00
19	132	2605	0.67	11.16	3.00	256	276.72	0.0	4.50	0.010	102.05	1785.27	10.85	245	0.014	0.11	467.36	61.15	0.014	28.57
20	132	2737	0.70	11.18	0.00	249	276.72	0.0	4.50	0.010	105.00	1890.27	10.90	251	0.014	0.15	467.51	61.17	0.014	28.57
21	132	2869	0.73	11.12	4.00	255	280.72	0.0	4.50	0.010	95.20	1985.47	10.88	247	0.014	0.01	467.53	61.18	0.014	28.57
22	132	3001	0.77	11.15	3.00	253	283.72	0.0	4.50	0.010	111.30	2096.77	10.84	245	0.012	0.02	467.54	61.18	0.012	16.67
23	132	3133	0.80	11.18	0.00	267	283.72	0.0	4.50	0.010	115.00	2211.77	10.87	253	0.012	0.06	467.60	61.19	0.012	16.67
24	132	3265	0.83	11.11	0.00	267	283.72	0.00	4.50	0.010	115.00	2326.77	10.86	267	0.012	0.06	467.66	61.19	0.012	16.67
25	132	3397	0.87	11.14	10.00	246	293.72	0.00	4.50	0.010	125.00	2451.77	10.85	267	0.011	0.05	467.72	61.20	0.011	9.09
26	132	3529	0.90	11.19	0.00	267	293.72	0.00	4.50	0.010	125.00	2576.77	10.86	240	0.011	0.05	467.77	61.21	0.011	9.09
27	132	3661	0.94	11.19	0.00	267	293.72	0.00	4.50	0.010	125.00	2701.77	10.85	267	0.011	0.05	467.83	61.21	0.011	9.09
28	132	3793	0.97	11.14	0.00	253	293.72	0.00	4.50	0.010	132.00	2833.77	10.87	240	0.010	0.00	467.83	61.21	0.010	0.00
29	132	3925	1.00	11.16	0.00	267	293.72	0.00	4.50	0.010	132.00	2965.77	10.84	240	0.010	0.00	467.83	61.21	0.010	0.00
30	132	4057	1.04	11.07	2.00	240	295.72	0.00	4.50	0.010	132.00	3097.77	10.82	227	0.010	0.00	467.83	61.21	0.010	0.00
31	132	4189	1.07	11.10	1.00	248	296.72	0.00	4.50	0.010	132.00	3229.77	10.83	240	0.010	0.00	467.83	61.21	0.010	0.00

Anexo III: Panel fotográfico

Foto. Nro.01 Operaciones mineras en yacimiento Ayahuanca

Foto. Nro.02 Preparación mecánica de muestra.

Foto. Nro.03 Clasificación por tamaño de partículas de muestra.

Foto. Nro.04 Mesa de rodillo para prueba de cianuración en botellas.

Foto. Nro.05 Batería de columna para prueba por percolación en columna mediana.

Foto. Nro.06 Columna 30" x 6m para prueba de cianuración a tamaño ROM

Foto. Nro.07 Descarga de mineral lixiviado de columna para preparación mecánica.

Foto. Nro.08 Operaciones en pilas de lixiviación

Anexo IV: Validación de modelo empírico cinético

Para la validación de los modelos experimentales se recurrió al cálculo del factor de ajuste (A_f) y factor de exactitud (B_f) descritos por ROSS (1996).

Factor de precisión (Af): Mide la distancia mínima entre cada punto promedio y la línea de equivalencia, La (A_f) es por tanto una medida de la desviación media y puede utilizar como una medida de nivel de confianza que tiene.

$$A_f = 10^{\left(\frac{\sum\left|\log\left(\frac{Vp}{Vo}\right)\right|}{n}\right)}$$

Factor de sesgo (B_f): responde a la pregunta de si el promedio, los valores observados se encuentran por encima o por debajo de la línea de equivalencia y en cuanto.

B_f < 1 : Valor predicida es menor al valor Observado

B_f > 1 : Valor predicida es mayor al valor Observado

$$B_f = 10^{\left(\frac{\sum\log\left(\frac{Vp}{Vo}\right)}{n}\right)}$$

Raíz del error cuadrado medio (RMSE): Mide la desviación media entre los valores observados y los valores predecidos, cuanto menor sea el valor de este índice mejor el ajuste del modelo a los datos experimentales.

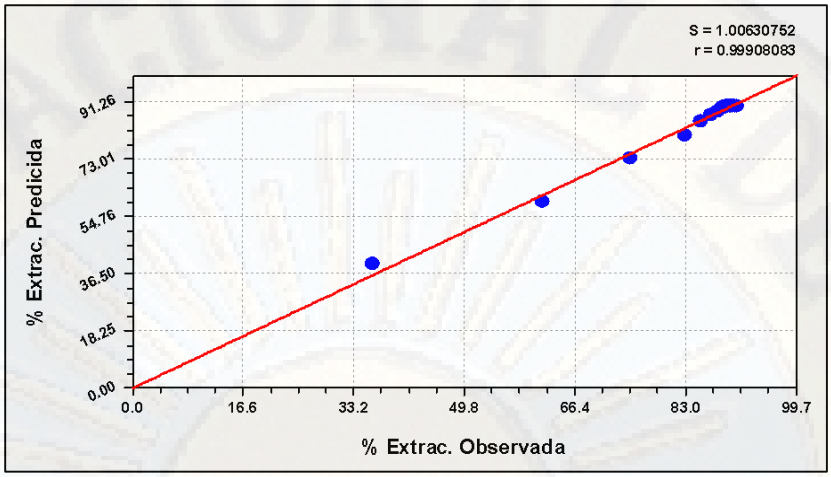
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Vp - Vo)^2}{n - p}}$$

RESULTADOS DE CÁLCULO DE VALIDACIÓN

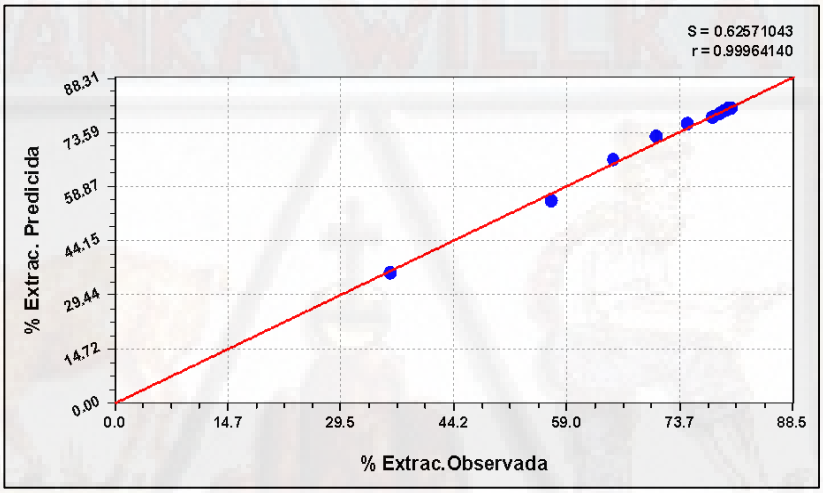
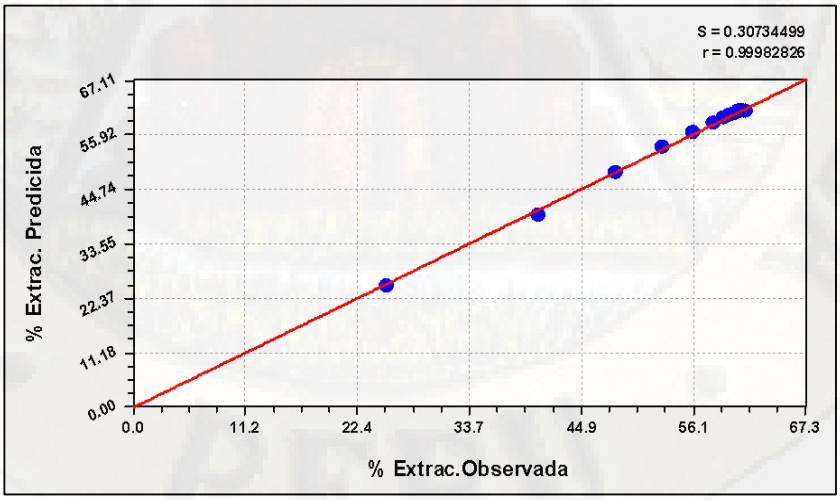
Validación del Modelo empirico Cinético del Proceso de Cianuración				
Domino de Alteración	R^2	Bf	Af	RMSE
Silice Granular Compacta	0.998	1.002	1.009	0.976
Silice Granular Deleznable	0.999	0.999	1.004	0.301
Silice Masiva	0.999	0.999	1.005	0.612

GRAFICO DE EQUIVALENCIA.

SILICE GRANULAR COMPACTA:



SILICE GRANULAR DELEZNABLE:



SILICE MASIVA: