

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Control de calidad de mineral de oro en la mina Pierina - Ancash-
Perú**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

Elaborado por

Isaac Lozano Chulán

 [0009-0003-0282-0002](https://orcid.org/0009-0003-0282-0002)

Asesora

M.Sc. Nora Nelly Revolle Alvarez

 [0000-0003-1818-9561](https://orcid.org/0000-0003-1818-9561)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Lozano Chulán [1]
Referencia/Reference	[1] I. Lozano Chulán, “Control de calidad de mineral de oro en la mina Pierina - Ancash - Perú” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Lozano, 2025)
Referencia/Reference	Lozano, I. (2025). <i>Control de calidad de mineral de oro en la mina Pierina - Ancash - Perú</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi creador, mi padre Rosendo, a mi amada esposa Leticia y a mis dos hijos Fernando y Carlos, por su apoyo incondicional en todo momento que me fortalece diariamente para seguir adelante.

Agradecimientos

A mi creador, por ser el líder de mi vida

A mi esposa, hijos y padres que siempre están a mi lado en momentos difíciles.

A mis colegas de la compañía Minera Barrick Misquichilca Pierina, por su compañerismo y enseñanza en todo momento.

A la asesora Ing. Nora Revolte, especialista Ing. Alfonso Huamán por las observaciones y sugerencias para realizar este trabajo.

Resumen

El objetivo del trabajo es el control de calidad en la mina Pierina, es un yacimiento epitermal de alta sulfuración, alojado en rocas volcánicas dacíticas y andesíticas del Grupo Calipuy, el zoneamiento de alteración se presenta de adentro hacia afuera con vuggy silica seguida de argílica avanzada (cuarzo - alunita ± pirita, dickita ± pirofilita ± caolinita, caolinita), argílica (illita, smectita, pirita) y propilítica (clorita, epidota, pirita, carbonatos).

El control de calidad en el minado de Au-Ag se realizó en todas las etapas, comenzando con el modelo geológico de largo plazo, seguido del logueo y muestreo de blast hole, entregando datos geológicos (alteración, dureza, porcentajes de fino, mineralización, posición de roca) y leyes reportadas por laboratorio químico de Au, Ag, S²⁻, SO₄, STOTAL, toda la información recolectada y validada se le proporciona a planeamiento para la creación de los polígonos de mineral y desmonte.

Posteriormente en campo se supervisa los polígonos de mineral para un minado selectivo, el mineral malo (fino y húmedo), regular (contaminado con arcillas) va al stock para realizar el blending respectivo con el mineral bueno (mineral competente sin arcillas, sin humedad) en la proporción de 2:1, se debe evitar el envío de arcillas, materia orgánica por ser cianizadas e impermeabiliza la cianuración.

Palabras clave — Investigación del muestreo primario, caracterización del logueo, control de mineral, mineralización en estructuras y diseminada.

Abstract

The objective of the work is quality control at the Pierina mine, it is a high-sulfidation epithermal deposit, housed in dacitic and andesitic volcanic rocks of the Calipuy Group, the alteration zoning occurs from the inside out with vuggy silica followed by advanced argillic (quartz - alunite ± pyrite, dickite ± pyrophyllite ± kaolinite, kaolinite), argillic (illite, smectite, pyrite) and propylitic (chlorite, epidote, pyrite, carbonates).

Quality control in Au-Ag mining was carried out in all stages, starting with the long-term geological model, followed by blast hole logging and sampling, providing geological data (alteration, hardness, fine percentages, mineralization, rock position) and grades reported by the chemical laboratory of Au, Ag, S²⁻, SO₄, STOTAL, all the information collected and validated is provided to planning for the creation of the mineral polygons and dismantle. Subsequently, in the field, the mineral polygons are monitored for selective mining, the bad mineral (fine and moist), regular (contaminated with clays) goes to the stock to carry out the respective blending with the good mineral (competent mineral without clays, without humidity). In the proportion of 2:1, the shipment of clays and organic matter should be avoided because they are cyanide and prevent cyanidation.

Keywords — Primary sampling investigation, logging characterization, mineral control, structural and disseminated mineralization.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Planteamiento del problema de investigación	1
1.2.1 Situación problemática	1
1.2.2 Formulación del problema	2
1.2.3 Justificación de la investigación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis	3
1.4.1 Hipótesis general	3
1.4.2 Hipótesis específicas	3
1.5 Metodología de estudio	4
1.6 Ubicación y accesibilidad	4
1.7 Hidrología e hidrogeología	6
1.8 Clima y vegetación	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	7
2.1 Antecedentes referenciales	7
2.1.1 Antecedentes internacionales	7
2.1.2 Antecedentes nacionales	8
2.2 Marco teórico	9
2.2.1 Control de calidad	10
2.2.2 Yacimiento de oro de alta sulfuración	17

2.3	Marco conceptual	19
2.3.1	Logueo de blast hole	19
2.3.2	Cartografiado.....	20
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación		23
3.1	Marco geológico	23
3.1.1	Geomorfología.....	23
3.1.2	Estratigrafía.....	24
3.1.3	Litología.....	26
3.1.4	Geología estructural	31
3.1.5	Alteración y mineralización	33
3.2	Control de calidad	39
3.2.1	Calidad de mineral y desmonte	39
3.2.2	Dilución	40
3.2.3	Muestreo y logueo.....	43
3.2.4	Cartografiado.....	49
3.3	Categorización de mineral	50
3.4	Investigaciones.....	51
3.4.1	Procesos	51
3.4.2	Operaciones mina	57
3.4.3	Servicios técnicos.....	62
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados		68
4.1	Caracterización mineralógica y lito estructural del yacimiento	68
4.1.1	Control de finos en la perforación de blast hole	68
4.1.2	Muestreo primario	72
4.1.3	Generación de polígonos de mineral	75
4.1.4	Minado selectivo en frentes de mineral.....	78
4.1.5	Dispatch	80
4.1.6	Celdas de mineral en el pad de lixiviación	81

4.1.7	Reconciliación	83
4.2	Modelo del yacimiento en la caracterización y calidad del mineral	84
4.2.1	Mineralización norte	85
4.2.2	Mineralización sur	85
	Conclusiones	87
	Recomendaciones	89
	Referencias bibliográficas	91

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Resumen de fallas de la mina Pierina	33
Tabla 2: Clasificación de las durezas en función de la alteración.....	40
Tabla 3: Cota de mineralización.....	54
Tabla 4: Clasificación de granulometría	68
Tabla 5: Tiempo de perforación según la alteración.....	69
Tabla 6: Leyes de Au (g/t) según la granulometría.....	71

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Plano de ubicación de la mina Pierina	4
Figura 2 : Aeropuerto de Anta.....	5
Figura 3 : Distancia Lima – mina Pierina.....	5
Figura 4 : Caracterización geológica mina Pierina	10
Figura 5 : Características de muestras	13
Figura 6 : Línea de corte realizada por el geólogo	15
Figura 7 : Alteración hidrotermal	18
Figura 8 : Logueo de blast hole.....	19
Figura 9 : Conos de perforación.....	20
Figura 10: Cartografiado de bancos.....	22
Figura 11: Topografía	23
Figura 12: Estratigrafía de la mina Pierina	26
Figura 13: Roca con más alta ley Au	29
Figura 14: Zona de contacto toba pómez y domo QFP	29
Figura 15: Plano litológico de la mina Pierina	30
Figura 16: Plano estructural de la mina Pierina.....	32
Figura 17: Alteración y mineralización	33
Figura 18: Plano de alteraciones de la mina Pierina	37
Figura 19: Alteraciones en el tajo Pierina.....	38
Figura 20: Dilución por producción.....	41
Figura 21: Dilución por origen geológico.....	41
Figura 22: Polígonos de mineral y desmonte	43
Figura 23: Muestreo por canales	44
Figura 24: Muestreo selectivo	45
Figura 25: Muestreo secundario	46
Figura 26: Cuadro comparativo reporte original y reanálisis Au	47

Figura 27: Muestra con 2 tipos de alteraciones.....	47
Figura 28: Datos de logueo.....	48
Figura 29: Polígonos de alteración.....	49
Figura 30: Mapeo de bancos	50
Figura 31: Recuperación del Au.....	51
Figura 32: Reporte de análisis y reanálisis del Au.....	53
Figura 33: Chancadora, stock y faja transportadora.....	56
Figura 34: Celdas de lixiviación	57
Figura 35: Carguío en frentes de minado.....	59
Figura 36: Voladura controlada en taludes finales	60
Figura 37: Características de la perforadora	61
Figura 38: Desplazamiento del polígono por voladura	63
Figura 39: Falla proyectada del talud al polígono a disparar	64
Figura 40: Plan de minado.....	67
Figura 41: Terreno horizontal para la perforación de blast hole	69
Figura 42: Pérdida de finos.....	70
Figura 43: Relación ley de Au según su granulometría en cuarzo alunita	72
Figura 44: Muestras antes de los controles.....	73
Figura 45: Volumen representativo de la muestra.....	74
Figura 46: Perforación (cilindro) y muestra (tronco de cono).....	75
Figura 47: Mejoras en el muestreo.....	75
Figura 48: Posición espacial del mineral.....	76
Figura 49: Polígonos de mineral proyectados	77
Figura 50: Creación de polígonos de mineral y desmonte en mine sight.....	78
Figura 51: Características de polígonos de mineral y desmonte	79
Figura 52: Reporte dispatch.....	80
Figura 53: Diferencias de avance entre dispatch y campo	81
Figura 54: Celda con charcos de cianuro en el pad	81

Figura 55: Relación entre la recuperación Au y el ion sulfuro.....	82
Figura 56: Niveles de mineralización en el tajo Pierina	83
Figura 57: Reconciliación positiva (+ 25 % onzas de Au).....	84
Figura 58: Mineralización (Au) en la mina Pierina	86

Introducción

El control de calidad del mineral de Au es muy importante porque las pérdidas por ineficiencia que son fácilmente controlables, perjudican enormemente los ingresos de la mina. El muestreo primario y secundario de blast hole es la actividad más importante y la que más errores tiene.

Las diferentes actividades realizadas en una mina son componentes vitales durante todas las etapas de la cadena de valor de la mina. Entre ellos está por ejemplo el muestreo. Las acciones incorrectas de cualquiera de las actividades pueden generar incertidumbre y crear un error significativo general llevando este error a una serie de contribuciones a lo largo de toda la cadena de valor (desde la planificación hasta el proceso de ensayo-medición). Los errores se acumulan a lo largo de esta vía, lo que inevitablemente crea pérdida de valor en la mina. Casi no hay ningún otro campo de aplicación en el que el trabajo eficiente sea tan importante como en la estimación de los recursos minerales de oro, debido a las muy bajas leyes y la heterogeneidad de la mineralización extremadamente irregular.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Para el desarrollo de este trabajo se tomó como referencia principal el control de calidad del Au en la mina Pierina perteneciente a la Minera Barrick Misquichilca, ubicada en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz, región Ancash.

1.2 Planteamiento del problema de investigación

Enfocarse en realizar un buen control de calidad para una recuperación óptima y programada en ley de Au, es un problema muy común en las operaciones mineras, se asegura que el mineral triturado y enviado al área de procesos es confiable en ley, sin contaminantes y la cantidad de sulfuros permisibles para asegurar una recuperación óptima en Au y cumplir el objetivo mensual y anual.

1.2.1 Situación problemática

El control de calidad del Au debe realizarse en todos los procesos, desde el muestreo primario de blast hole hasta la recuperación del Au en planta de procesos, pasando por diferentes áreas involucradas como el blending, acarreo, carguío, colocación de polígonos en campo, horizontalidad de plataformas, evitar la pérdida de finos en la perforación de blast hole.

Para solucionar esta problemática se deben tener procedimientos de trabajo conjuntamente con las diferentes áreas de operaciones, se deben cumplir diariamente y con eficiencia los protocolos de control de calidad, el geólogo debe de supervisar que se cumplan todos los protocolos para evitar pérdidas en la cadena de valor de la mina.

Del mismo modo Abzalov (2008) señala que la calidad de los datos geoquímicos utilizados en la exploración y el desarrollo de minerales se determina y se informa en términos de precisión y exactitud (JORC, 2004). La precisión, o repetibilidad, es una medida de qué tan cerca están los valores de la muestra replicada entre sí, mientras que la exactitud es una medida de qué tan cerca están los valores de la ley verdadera. Los

procedimientos involucrados en el monitoreo de la precisión y la exactitud se conocen como Garantía de Calidad y Control de Calidad (QAQC).

A pesar del reconocimiento unánime de la importancia del QAQC en la industria de los minerales, no se han establecido procedimientos uniformes para toda la industria, y los métodos utilizados varían significativamente en complejidad y eficacia. Dada la creciente necesidad en la industria minera y de exploración de desarrollar un enfoque estandarizado para cuantificar la calidad de los valores de ensayo, es importante comparar las técnicas de QAQC utilizadas actualmente. Este análisis comparativo ayudará a desarrollar procedimientos de control de calidad estandarizados, lo que, a su vez, facilitará la evaluación de los méritos técnicos de un proyecto minero.

1.2.2 Formulación del problema

Problema general

¿Es confiable el control de calidad del mineral de Au utilizado en la mina Pierina?

¿Es confiable el control de calidad del mineral de Au utilizado en la mina Pierina en el proceso de muestreo?

¿Es confiable el control de calidad del mineral de Au utilizado en la mina Pierina en el proceso de minado?

¿Es confiable el control de calidad del mineral de Au utilizado en la mina Pierina en el proceso metalúrgico?

1.2.3 Justificación de la investigación

Existen discrepancias entre los planes de producción corto plazo, mediano plazo, largo plazo de la empresa minera y los resultados obtenidos en el reporte de tonelaje y ley de Au. Estas discrepancias han generado incertidumbre en el proceso de muestreo primario y secundario, supervisión de campo, acarreo, chancado. Por ello se justifica la realización de este estudio. Así, el propósito principal de este estudio radica en mejorar el muestreo, supervisión, acarreo, chancado, lo que facilitará la toma de decisiones y la optimización de los procesos operativos en la mina Pierina.

Esta investigación contribuirá a un mejor control en la perforación de blast hole, muestreo primario, muestreo secundario, QA/QC de muestras de campo, supervisión de campo, acarreo, blending.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el control de calidad del mineral de Au en la mina Pierina

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el control de calidad del mineral de Au en la mina Pierina en el proceso de muestreo
- Evaluar el control de calidad del mineral de Au en la mina Pierina en el proceso de minado
- Evaluar el control de calidad del mineral de Au en la mina Pierina en el proceso metalúrgico

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

Al evaluar el control de calidad del mineral de Au en la mina Pierina se asegura la recuperación del Au programada en ley a corto y mediano plazo.

1.4.2 Hipótesis específicas

- Al evaluar el control de calidad del mineral de Au en la mina Pierina en el proceso de muestreo se asegura que la data obtenida es confiable para el cálculo de reservas.
- Al evaluar el control de calidad del mineral de Au en la mina Pierina en el proceso de minado se asegura que la calidad del mineral enviada a planta metalúrgica es la óptima.
- Al evaluar el control de calidad del mineral de Au en la mina Pierina en el proceso metalúrgico se asegura la recuperación de la ley programada.

1.5 Metodología de estudio

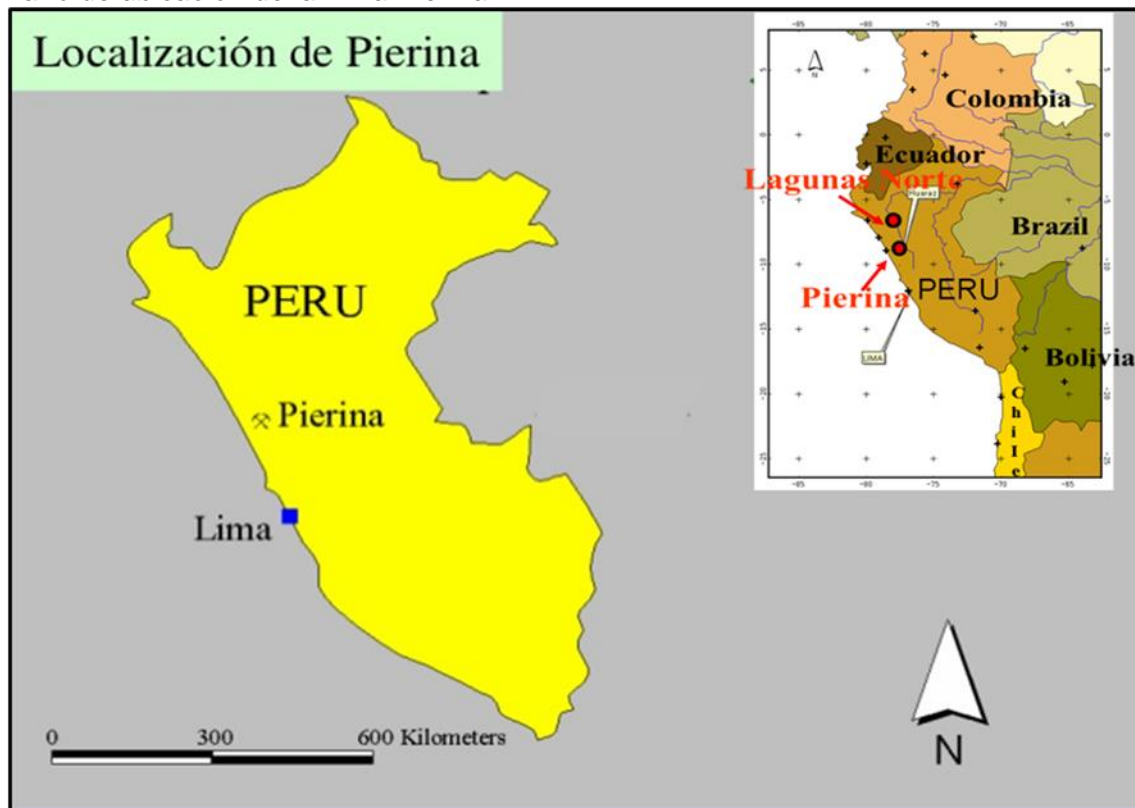
Se comenzó identificando las posibles causas de ineficiencia en todas las áreas de la mina. Seguidamente se establecieron protocolos de trabajo para mejorar los procesos hasta llegar a la estandarización. Luego se monitoreo de manera permanente y constante a todas las áreas involucradas para asegurar las buenas prácticas de trabajo. Finalmente establecido el QAQC se obtuvo la recuperación del Au programada.

1.6 Ubicación y accesibilidad

La mina Pierina está ubicada en la Cordillera Negra del Callejón de Huaylas, distrito de Jangas, provincia de Huaraz, región Ancash, con coordenadas UTM (PSAD 56): 211 300E - 218 200E, 8 948 700N - 8 956 500 N. Véase Figura 1.

Figura 1

Plano de ubicación de la mina Pierina



Fuente: Mina Pierina (2005)

El acceso aéreo desde la ciudad de Lima inicia en el aeropuerto Jorge Chávez (1hora) llega al aeropuerto de Anta (véase Figura 2), ubicado a 22 km al norte de Huaraz, el acceso terrestre a la mina desde la ciudad de Lima es por la Carretera Panamericana

Norte hasta Pativilca, donde se toma un desvío que se dirige a la ciudad de Huaraz, y desde Huaraz por la carretera que va a Carhuaz hasta llegar a Jangas; luego se toma un desvío con dirección Nor-Oeste que conduce a la mina, véase Figura 3.

Figura 2

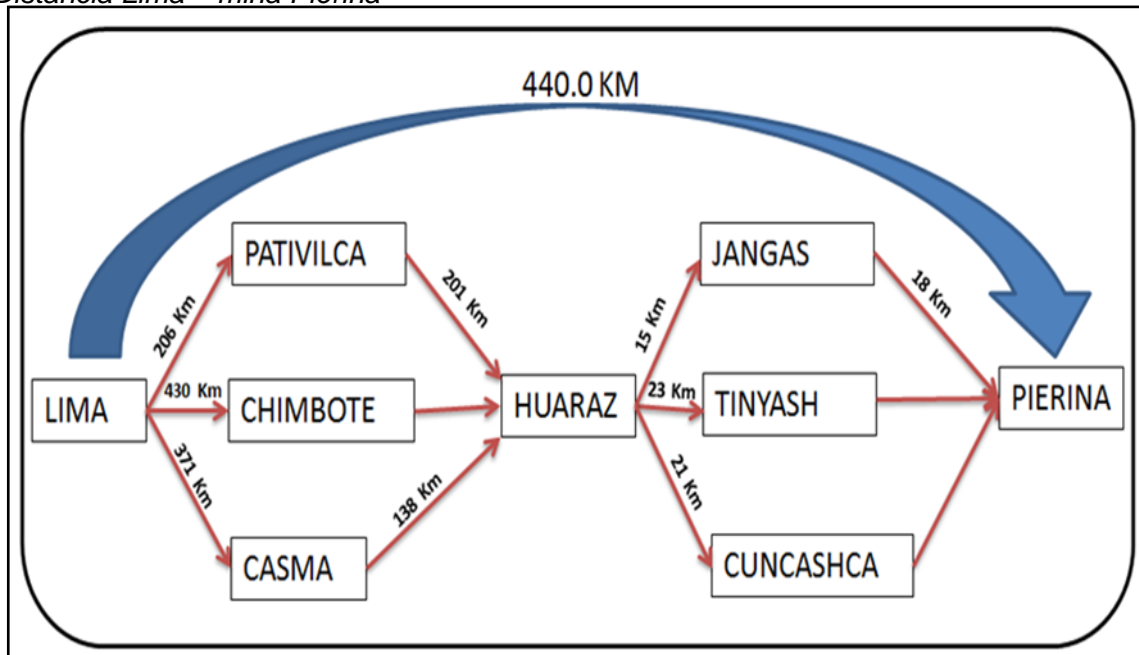
Aeropuerto de Anta



Fuente: Mina Pierina (2005)

Figura 3

Distancia Lima – mina Pierina



Fuente: Elaboración propia.

1.7 Hidrología e hidrogeología

Acuíferos porosos no consolidados que se ubicados en el piso del valle del río Santa, y acuíferos fracturados en rocas volcánicas, se determinaron 79 manantiales y 43 manantiales captados.

Los acuitardos en las calizas y areniscas tienen fuentes de descarga con caudales bajos entre 1 a 2 L por segundo, el pozo DW 25 se encuentra en la mina de 200 m de profundidad, arroja 17 L/s que se encuentra en la intersección de las fallas NO-SE y NE-SO, que también controla la mineralización y alteración de la mina Pierina, son tres los cuerpos de agua superficiales que forman los límites naturales del sistema local de flujos de agua subterránea: el río Santa, el sistema de la quebrada Cuncashca, el río Llancash y el de la quebrada Pacchac.

1.8 Clima y vegetación

Pierina está localizado a una altitud que oscila entre 3750 a 4200 m s.n.m. tiene un clima templado y seco, típico del Callejón de Huaylas, variado épocas de lluvia desde diciembre hasta marzo, el resto de los meses es frío y generalmente seco entre 1200 y 1400 mm año, su temperatura varía desde 2 °C a 18°C, conforme se asciende a las partes más altas el clima se torna más frío y seco, la flora registrada en el área es de 285 especies, los cultivos principales son: papas, maíz, cebada, trigo, habas, arvejas, y el tarhui. 76 especies de vertebrados se registraron: 16 mamíferos, 56 aves, 2 reptiles. La zona de la colina donde se encuentra el yacimiento de la mina Pierina tendrá un impacto conforme se vaya desarrollando las operaciones y profundizando el tajo abierto, quedará como un rasgo permanente del terreno luego del cierre de la mina.

Durante el cierre, todas las demás instalaciones industriales serán demolidas y se emprenderán los trabajos de rehabilitación. La rehabilitación del tajo abierto incluirá un nuevo contorno para controlar el drenaje.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Antecedentes referenciales

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Barry (1998) en su trabajo de investigación "Control de Calidad" señala que la mina Veladero-Argentina es un yacimiento de alta sulfuración que se aloja en rocas volcánicas. También Barry indica que se implementó procedimientos estandarizados de control de calidad y aseguramiento de la calidad para muestras de producción, que incluyeron la inserción regular de muestras estándares internas, muestras en blanco (controla la contaminación), duplicados de campo, rechazos y pulpa (precisión), surge la necesidad de estandarizar los procesos y fortalecer el QA/QC en las operaciones mineras, para obtener credibilidad de laboratorio en sus reportes de leyes de Au, como el muestreo primario realizado por el área de Geología.

Pinedo (2023) en su trabajo de investigación titulado: Formulación del aseguramiento y control de calidad en las labores de exploración y explotación de la mina El Gran Porvenir del Líbano, Tolima, señala que la mina el Porvenir es un yacimiento vetiforme de tipo orogénico. Pinedo realizó actividades de apoyo y supervisión de programas de exploración y explotación del proyecto, identificando limitaciones en torno al aseguramiento y QA/QC, además de fallas sistemáticas en el suministro de información oportuna y ejecución de labores previas al muestreo geológico, que retrasan y obstaculizan la correcta aplicación de las técnicas de extracción; de manera que, surge la necesidad de establecer un manual de trabajo y control orientado a estandarizar los procesos y fortalecer el QA/QC en las operaciones mineras, dada la naturaleza heterogénea de la mineralización los métodos más idóneos para el control de leyes y estimación de recursos, en términos de calidad y representatividad del muestreo son los de canal y perforación diamantina.

Rivas (2018) en su trabajo de tesis titulado Control Geológico en la Dilución Mineral, de la Universidad de Concepción-Chile, señala que uno de los aspectos críticos en la extracción del mineral es la dilución, la cual tiene un efecto directo en todo el proceso de

producción. Diversos factores pueden generar e influir en ella y determinan el impacto económico de este proceso. La metodología utilizada para caracterizarla fue la validación de la información geológica en las bases de datos, los criterios en la definición de las zonificaciones minerales y en los modelos de bloques, más la implementación de controles geológicos y operacionales. Se utilizaron las conciliaciones como herramienta de control y se realizó un análisis económico para medir su impacto. Los resultados de esta evaluación muestran la importancia de la representatividad y validación del macizo rocoso base de los modelos de bloques y cómo influyen en la dilución planificada; y el control operacional, a través de la identificación y corrección de desviaciones durante este proceso. Se determinó lo relevante del control geológico en los procesos de dilución planificada y operacional, y que la estimación de la pérdida económica justificó ampliamente este control, pues es uno de los fenómenos que más afecta a toda la extracción de mineral.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Cáceres (2015) en su tesis "Estudio de validación de Muestreo de Blast Hole Lagunas Norte" señala que la mina es un yacimiento epitermal de alta sulfuración ubicado en la Libertad. Cáceres validó el muestreo que se viene realizando en las operaciones de Lagunas norte, para ello realizó la mejora del muestreo de perforación de blast hole, incluido en todo el proceso el material fino de la perforación, evitando el sesgo y evitando muestrear la sobre perforación, control del peso de la muestra. Con los resultados del muestreo evaluó los polígonos de mineral, aseguró el control de calidad para medir los estándares de calidad de las muestras y los resultados de laboratorio, controló los procesos mineros, generó polígonos de minado con los criterios estandarizados por el área de control de mineral.

Lazo (2019) en su tesis "Análisis del método de muestreo de detritos de los taladros para voladura y control de envío de mineral en la Mina Justa", señala que la mina es un yacimiento tipo IOCG, Cáceres concluyó que el muestreo debe ser representativo y operativo, sugiere un aseguramiento y control de la calidad dinámico, definió un control de envío de mineral eficiente. obteniendo resultados granulométricos y químicos, analizados

con una metodología cuantitativa. Concluyó demostrando que el mejor método de muestreo es el que utiliza el auger como herramienta de muestreo, recolectando un volumen medio de detritos (12.5 kg), además se confirmó que existe una relación importante entre el método de muestreo y la granulometría de los detritos obtenidos, así mismo, definió el muestreo para cada tipo de taladro basado en su ocurrencia de mineral. Igualmente, sugirió una frecuencia de inserción de muestras de control basada en la cantidad de muestras y el contenido de mineral, así como una metodología aleatoria estratificada de inserción de muestras de control. Finalmente, concluyó que, analizados estos procesos previos, facilitará el control de envío de mineral con mínima posibilidad de dilución, propone un eficiente control de envío de mineral. Los resultados fueron eficaces con el método de inserción de muestras basada en la cantidad y contenido mineral. obteniendo conciliaciones positivas en las plantas de procesamiento.

Canchaya (2010) "QA/QC" ¿REALIDAD O FANTASIA? señala que la fase del muestreo primario no sólo es la más importante, sino la que genera la mayor proporción de los errores. Por tal motivo, hay que revertir el contrasentido actual, muy generalizado, de aplicar los procedimientos QA/QC prioritariamente a la fase del análisis químico y a la preparación mecánica previa, la preferencia esta aplicada. a las etapas de análisis químico y/o a la preparación mecánica previa, mas no así al muestreo primario de blast hole.

2.2 Marco teórico

Se analizaron los conceptos fundamentales del aseguramiento y control de calidad en la mina, y se detallan sus implicaciones en la etapa de prevención y detección de errores con énfasis en el muestreo; la preparación, análisis de las muestras geoquímicas y el registro de la información geológica. Se describen las principales fuentes de error, los procedimientos de control apropiados para su detección, los métodos de evaluación de los errores, los requerimientos y las nuevas regulaciones internacionales vigentes con relación a la calidad de la información.

2.2.1 Control de calidad

Alvarado (2007) indica que el control de calidad del mineral aurífero en tajo abierto se realiza con la finalidad de optimizar la selección del mineral y desmonte para realizar los movimientos de los materiales a los destinos determinados, se logran definir polígonos de minado con características, de acuerdo a una serie de variables económicos, geológicas, metalúrgicas y de operatividad que son actualizados cada vez que hay algún tipo de variación, el control y el manejo de estos polígonos utilizamos una serie de herramientas desde los análisis económicos, evaluaciones geoestadísticas, software y dispatch.

En el control de mineral reúne una serie de conceptos que involucra a las áreas de Geología, Planeamiento Mina, Geotecnia, Hidrogeología, Operaciones Mina y Procesos.

A continuación, se describe caracterizaciones geológicas de la mina Pierina, véase Figura 4.

Figura 4

Caracterización geológica mina Pierina

GEOLOGIA MINA PIERINA-CODIFICACIONES		
LITOLOGIA	Abreviatura	OBSERVACIONES
Porfido Andesítico	PAN	Ferromagnesianos, < 5% Cz, gris-verdoso
Porfido Dacítico (QFP)	PDA	> 5 de Cz, claro
Tobas (pómez litica y cristales)	TX	matriz silicea, oquedades y cristales
Brecha	BH	clastos irregulares, matriz y cemento
Cobertura	CV	lastre
Cohrvo	CO	materia organica
Toba dacítica	TD	pomez
Toba andesítica	TA	liticos y de cristales
No existe/sin recuperación	NE/SR	

MINERALIZACION	CODIGO
OXIDOS	1
MIXTO	2
SULFUROS	3

ALTERACION	Abreviatura	OBSERVACIONES
PROLITICO	PR 1	Verdoso-marron, carbonatos, py, cloritas
ARG. OXIDOS	AO 2	Arcillas con oxidacion, illita, esmectita
ARG. SULFUROS	AS 3	Arcillas con py diseminada, illita
STEAM HEAD	SH 4	Areno alunita muy fina
ALUNITA ARCILLA	AA 5	Arcillas con alunita, finos
CUARZO ALUNITA	QA 6	silice con alunita
VUGGY SILICA	VS 7	silice oquerosa con py
COLUVIO	CO 8	material preeistente, clastos de VS, QA

PS _ ROCK	CODIGO
ARCILLAS	0
ROCA ARRIBA	1
ROCA ABAJO	2
TODO ROCA	3

DUREZA	CODIGO	OBSERVACIONES
SH, AO, AS, CO	0	Plastilina, y muy fina
PR, AS, AA, SH	1	material fino con incipiente clastos
PR, AA, QA, AS	2	material suave,
PR, QA, VS	3	buen material, mineral- para geotecnia
QA, VS	4	mineral, buen material
VS	5	alta dureza con buena ley

PORCENTAJE DE FINOS	CODIGO
AS-AO	0
QA-VS	1--15
QA	16--30
QA-AA	> 30

Fuente: Elaboración propia.

Torres (2018) determina la definición de control de mineral en tener controlado todo el proceso en forma completa, partiendo desde el mineral, pasando la ejecución del carguío de acuerdo a lo planificado y terminando en control y seguimiento permanente de resultados. El sistema de control de mineral toma como base las causas y soluciones propuestas identificadas en la etapa de levantamiento y busca implementar medidas que se hagan cargo de las deficiencias detectadas. La construcción de este sistema considera, por tanto, diferentes etapas que en una mirada global buscan estandarizar el proceso de control de mineral para alinear a la organización en la búsqueda de un objetivo común, que con mejora continua permita procesos eficientes y asegure no solo el cumplimiento de los objetivos propuestos sino el desarrollo de las personas en la organización.

La estandarización identifica la eficiencia en términos de la calidad del material alimentado y de cuenta explícita de los materiales no deseados ingresados al proceso, con esto se busca asegurar que todos los integrantes de la organización que participan y tienen injerencia en los resultados entiendan el concepto y se muevan por un objetivo común, a continuación, se detalla las etapas del control de calidad:

- Responsabilidades y roles
- Diseño de líneas de calidad y zonas de materiales
- Metodología marcación en terreno
- Metodología de carguío
- Control de destino
- Reportes de desviación
- Instancias de seguimiento

2.2.1.1 Muestreo. La definición de muestreo de acuerdo con Paredes (1998) son las actividades para obtener el material en estudio, se realiza el muestreo de acuerdo a determinadas normas; las muestras obtenidas se destinan para análisis, los resultados del análisis proporcionan información de la calidad y cantidad de sustancia útil. Al ser muestras estadísticas son muestras representativas de un grupo más grande que se utiliza para calcular el valor de uno o varios elementos útiles y de un conjunto.

Por otro lado, Valle (1992) define al muestreo como el primer proceso de investigación que va condicionar en gran parte, la viabilidad económica de la explotación, presenta una serie de características que la confieren un carácter crítico. Si las muestras no son representativas del yacimiento, el resto de la evaluación carece de interés, de allí lo decisivo y gran importancia de un buen muestreo, casi todas las decisiones que se hacen respecto de un Proyecto Minero, desde la exploración hasta el cierre de mina, están basadas en los valores analíticos obtenidos del material muestreado y de su correspondiente valor económico, pues podría conllevar hasta miles de millones de dólares en inversión.

En esa línea Alfaro (2022) define al muestreo como una porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo, es imprescindible cumplir con la planificación, tipo, forma, distancia y cantidad, si se consigue que la muestra se tome de forma adecuada, su equidistancia sea correcta y el peso obtenido sea suficiente con el adecuado cuidado de evitar la contaminación, se podrá tener la seguridad, de que el proceso se ha llevado a cabo de forma satisfactoria y que el resultado analítico a obtener será confiable. Véase figura 5. Alfaro también señala las siguientes definiciones:

Precisión:

Es la habilidad de repetir consistentemente los resultados de una medición en condiciones similares

Exactitud:

Es la proximidad de una medición a un valor “real” o aceptado como “apropiado”, donde se tiene rangos de sesgo:

- Bueno cuando el sesgo es menor del 5 %
- Aceptable cuando el sesgo esta entre 5 % y 10 %
- Inaceptable cuando el sesgo es mayor a 10 %

Contaminación:

Es la transferencia involuntaria del material de una muestra o del medio circundante a otra muestra.

En todo muestreo, debe estar bien establecido lo siguiente:

- Objetivo del muestreo
- Población a muestrear
- Datos a recolectar
- Manera de recolectar los datos
- Grado de precisión deseado
- Método de medida.

Figura 5

Características de muestras



Fuente: Amec Chile (2015)

Peña (2016) concluye que el muestreo geológico en minería es la técnica a través de la cual se obtiene una muestra representativa de una porción mayor, con el fin de determinar el tipo, cantidad, distribución espacial y si este mineral resulta económico para su explotación. Estas se determinan a partir de las leyes de mineral.

Muestreo de blast hole

Alfaro (2002) define el muestreo de blast hole como una recolección de detritus del taladro perforado, dicho muestreo debe ser representativo, equiprobable, evitar el sesgo y de varianza pequeña. El método de muestreo es por canales.

Se debe tener presente algunas consideraciones:

- **Concentración de partículas:**

Las partículas más pesadas tienen la tendencia de localizarse en el fondo, sin embargo, el fenómeno de segregación es más complejo y depende de granulometrías, formas y pesos de las partículas.

- **Delimitación de las muestras:**

Los taladros de blast hole, deben ser lo más representativo del banco a perforar, no considerar la sobre perforación ya que traería errores en el muestreo y reporte de leyes de Au.

- **Diseño de la pala:**

La pala tiene que tener un diseño recto con bordes laterales para no perder material, evitar el problema de la concentración y obtener muestras equiprobables.

- **Contaminación:**

Evitar materiales extraños, para lo cual nuestra pala es de fácil manejo y permanente limpio.

- **Perdida de material:**

La manipulación manual o mecánica que implique la pérdida de una parte de la muestra, debe ser evitada.

- **Modificación de las propiedades químicas:**

Los minerales a través del tiempo sufren transformaciones químicas importantes como oxidación, sulfatación y carbonatación que al momento de tomar cada muestra se debe anotar e identificar.

Muestreo de cores.

Condori (2015) define como una muestra continua, confiable, si la contaminación está presente se lava el testigo, aunque en ocasiones la posible presencia de recuperación puede minimizar esta ventaja. En este sentido recuperaciones inferiores al 75% hay que tomarlos muy en cuenta, pues pueden incidir en errores en la etapa de evaluación.

Quispe (2005) señala que el muestreo de cores divide el núcleo a lo largo de su longitud en dos mitades idénticas respecto a la distribución de minerales, esta línea de corte lo realiza el geólogo. Véase figura 6, una mitad se muele, se reduce y se envía al laboratorio para su análisis químico. La otra mitad se conserva en las cajas de núcleos como un registro primario para futuros estudios de verificación. La segunda mitad también se puede utilizar como una muestra compuesta para trabajos de prueba metalúrgica durante la etapa inicial de exploración para desarrollar un diagrama de flujo del proceso de beneficio a escala de laboratorio. El trabajo de prueba metalúrgica indicará la capacidad de adaptación, la molienda óptima, la liberación y la recuperación que conducen a la producción de concentrados comercializables limpios.

Figura 6

Línea de corte realizada por el geólogo



Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.2 QA/QC en el muestreo. Simons (2011) define el QA/QC como un conjunto de acciones sistemáticas y técnicas para monitorear, identificando errores y realizar acciones correctivas durante el muestreo y análisis, asegurando la calidad y confianza en el muestreo, la información obtenida debe ser precisa y representativa sobre las características de los minerales. También Simons señala que QA (Quality Assurance) es prevención y QC (Quality Control) es detección.

Por otro lado, Gy (1982) define al QA/QC como un conjunto de acciones y procedimientos que se implementan para asegurar la calidad, mediante mediciones

precisas y confiables como para cumplir con los requisitos específicos. Este procedimiento se aplica desde la toma de muestra en campo hasta el análisis químico de la muestra.

A su vez Vélez (2015) menciona que gracias al QA: Aseguramiento de Calidad, se toman medidas de prevención para minimizar los errores propios del proceso y con el QC: Control de calidad, se implementan técnicas de control.

Rojas (2019) menciona que la muestra extraída del taladro de producción, al dividirse en dos muestras de detritos (original y gemela) determina la precisión y exactitud en el muestreo, cumpliendo las siguientes características:

- Igual peso
- Homogeniza
- Cuarteo
- Condiciones iguales
- Preparadas en el mismo laboratorio
- Codificar con diferentes códigos para diferenciar

Rojas (2019) también hace las siguientes definiciones:

Duplicado de campo:

Es la segunda muestra generada (de un mismo cono) durante el Muestreo de blast hole, esto con la finalidad de controlar la repetitividad de las técnicas, precisión y calidad del muestreo.

Duplicado de rechazo:

Muestra duplicada en la primera etapa de la preparación (Chancado a granulometría de $\frac{1}{4}$ ") mediante el proceso de Cuarteo, con la finalidad de controlar la calidad de preparación (Chancado).

Duplicado de pulpa:

Muestra duplicada generada en la segunda etapa de la preparación (Pulverizado a la malla-200) mediante el proceso de cuarteo, con la finalidad de controlar la calidad preparación (Pulverizado).

Blancos gruesos:

Son muestras de roca estéril, de granulometría gruesa, permitiendo evaluar si se produce contaminación durante la preparación.

Estándares:

Son muestras elaboradas que deben formar parte de los lotes analizados. Los estándares se utilizan para evaluar la exactitud analítica, en conjunto con las muestras de control externo. Al elegir los estándares se recomienda seleccionar, en lo posible, materiales de composición aproximadamente similar a la de las muestras ordinarias, a los efectos de reducir al mínimo el efecto analítico de la matriz mineral.

Quispe (2011) define a las muestras estándares como valor conocido en los elementos que se requieren controlar, estas pulpas se generan mediante las técnicas de pulverizado, homogeneizado y analizado en por lo menos 7 a 9 laboratorios para hallar sus valores promedios y sus desviaciones estándar. Permiten controlar la exactitud de los análisis del laboratorio.

2.2.2 Yacimiento de oro de alta sulfuración

. Lindgren (1933) definió por primera vez como un yacimiento de poca profundidad, que típicamente alberga depósitos de Au, Ag y metales base, estima una profundidad máxima de formación 1000 m aproximadamente. El límite superior de presión es de 100 atmósferas, que corresponde a la de agua de baja salinidad y bajo contenido en gas hirviendo a 1,000 m de profundidad. También manifiesta un rango de temperatura de 50° a 200°C a partir de los límites de estabilidad percibidos por varios minerales.

White (1995) indica que los minerales de alta sulfuración se forman en un intervalo de temperaturas <150°C a ~ 300°C, desde la superficie hasta una profundidad de 1 a 2 km, donde destaca que el oro es el metal económico dominante. Llegando a esta conclusión después de realizar estudios de inclusiones fluidas.

Hendenquist (2011) define a este yacimiento como depósito de minerales que se forma a partir de fluidos hidrotermales ácidos y oxidados, donde la mineralización ocurrió dentro de 1 a 2 km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de

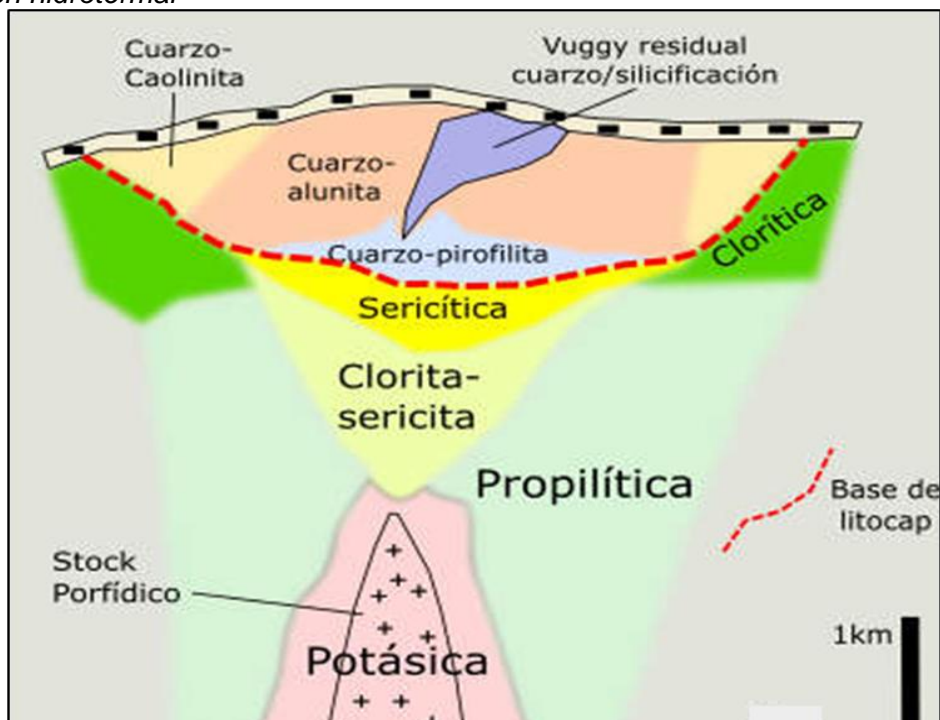
fluidos hidrotermales calientes. Los fluidos se estiman en el rango desde $< 100^{\circ} \text{C}$ hasta unos 320°C y durante la formación del depósito estos fluidos hidrotermales pueden alcanzar la superficie como fuentes termales, fumarolas o solfataras. Estos yacimientos se encuentran de preferencia en áreas de volcanismo activo alrededor de los márgenes activos de continentes o arcos de islas y los más importantes son los de metales preciosos (Au, Ag), aunque pueden contener cantidades variables de Cu, Pb, Zn, Bi. Los fluidos se caracterizan por ser extremadamente ácidos, es decir que tienen azufre en estado de oxidación +6 o +4.

Bendezú (2021) describe a este yacimiento, mayormente de edad Miocénica. Sus profundidades menores a 1 km, se caracterizan por la presencia de oro y plata, así como sulfuros de metales base como el cobre, el plomo y el zinc.

Se asocian con ambientes magmático-hidrotermales adyacentes a volcanes jóvenes. se caracterizan por lixiviación ácida, alteración silícea, argílica avanzada y propilítica. Véase la figura 7. La mineralización se da en diseminado, brechas con oquedades y reemplazos de sulfuros.

Figura 7

Alteración hidrotermal



Fuente: Tomado de Hendenquist (2004)

2.3 Marco conceptual

Este estudio se realizó con la necesidad de asegurar la calidad del mineral del Au y un reconocimiento del sistema del ciclo de minado, desde la malla generada por planeamiento hasta el mineral puesto en el pad; para ello se involucró a todas las áreas comprometidas con la producción para obtener una optimización en el proceso, por lo tanto, se definen los siguientes conceptos:

2.3.1 Logueo de blast hole

Ccapa (2019) define como una descripción petro-mineralógica de los detritos en campo para indicar las alteraciones del cono de perforación, ver Figura 8 (estimación visual de alteración, litología, finos, dureza, posición, mineralización), el geólogo de campo se encarga de visualizar el tipo de material (mineral / desmonte).

Además, Yalico (2019) aporta cuando describe al logueo de blast hole como una descripción litológica previo lavado, tamizado y secado de los detritos acumulados en superficie tras la perforación de pozos para voladura.

Por otro lado, Quispe (2006) define al logueo de blast hole como una descripción de las características geológicas y físicas de las rocas perforadas a partir de detritos. Véase Figura 9.

Figura 8

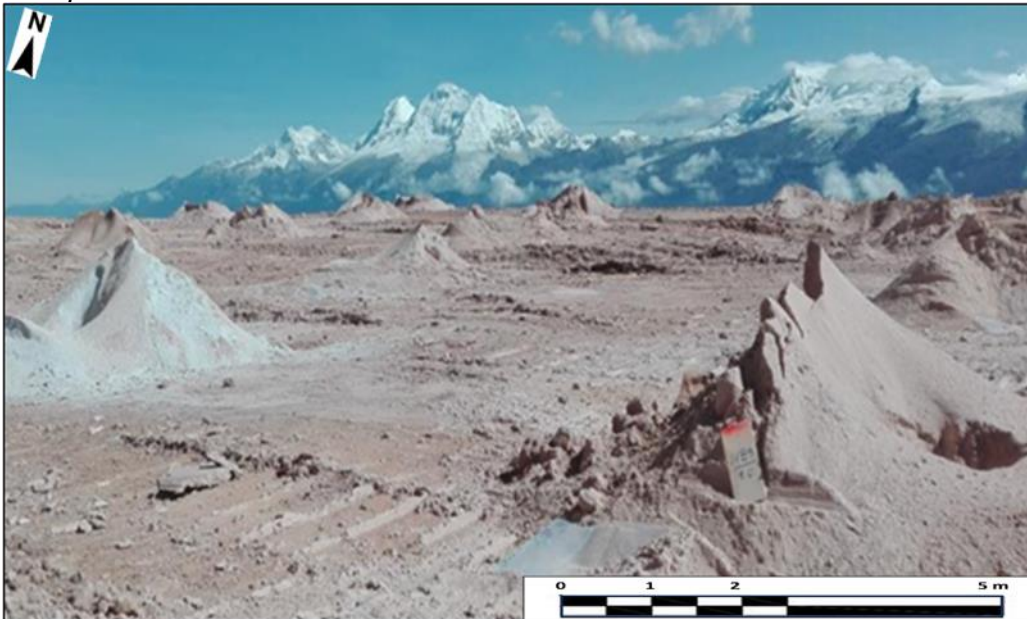
Logueo de blast hole



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Conos de perforación



Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Cartografiado

Cárdenas (2006) define al cartografiado como un mapa de campo donde muestra elementos geológicos que ayudan a interpretarlos, representando las tres dimensiones espaciales, Este plano interpretado contiene diversos símbolos:

- Leyenda cronológica
- Columnas estratigráficas
- Cortes geológicos, contienen la misma escala que el plano de planta
- Tipos de litología, alteración, mineralización de la superficie terrestre
- Tipo de contacto entre ellas
- Estructuras geológicas
- Elementos geomorfológicos
- Leyenda, donde indica el significado de cada símbolo con sus colores respectivo según las normas internacionales
- Escala, variable depende del estudio a realizar
- Norte, para una buena orientación

En esa línea Moreno (2017) mejora cuando señala que el cartografiado es una tarea compleja que exige un conocimiento multidisciplinar, expresando superficialmente la configuración geológica de una región, permitiendo una reconstrucción tridimensional de los objetos geológicos, el diseño de estos mapas se ha mantenido bastante estable desde los primeros ejemplos aparecidos y constituye un ejemplo de normalización y cooperación internacional.

El geólogo usa criterios para clasificar los fenómenos que observa y que le permita reducirlos a clases discretas. En la mayor parte de los casos, este criterio corresponde a la litología y alteración. Véase Figura 10.

Consideraciones a tomar en cuenta en un plano geológico:

- **Base topográfica:**

Es una información planimétrica que permite ubicar espacialmente los objetos geológicos, curvas de nivel y cotas conocidas.

- **Leyenda:**

Describe unidades distinguidas del mapa, las unidades geológicas son los rasgos más importantes.

- **Cortes geológicos:**

Son secciones verticales que muestran la distribución de las unidades geológicas del subsuelo, ayudando a comprender la disposición tridimensional del cuerpo rocoso.

- **Escalas:**

Los planos se pueden dar a distintas escalas, dependiendo el objetivo.

- **Mapa geológico:**

Tarea compleja y exigente, previa al cartografiado se debe tener conocimiento previo concienzudo del lugar a trabajar, recopilar información previa del lugar.

- **Utilidad del mapa geológico:**

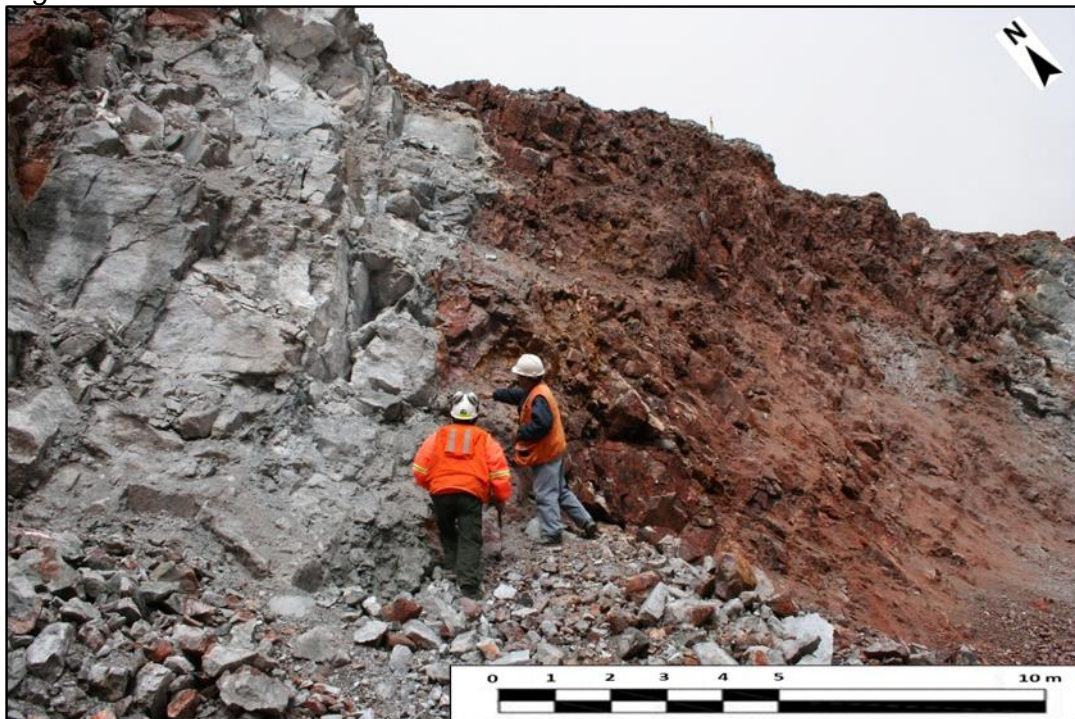
Documento científico de primer nivel, ofreciendo múltiples utilidades, el geólogo clasifica, ordena y establece relaciones entre los datos que analiza ofreciendo una hipótesis de evolución geológica.

- **El desarrollo del cartografiado geológico en la sociedad:**

Es una herramienta de investigación y enseñanza, en empresas privadas como documento de trabajo para la prospección de recursos.

Figura 10

Cartografiado de bancos



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Marco geológico

3.1.1 Geomorfología

Reyes (1995) describe la topografía de la zona de trabajo como variada y accidentada, principal rasgo geográfico es la Cordillera Negra, Blanca y valle del río Santa. En la Cordillera Negra las montañas sobrepasan los 4000 m s.n.m. El flanco nororiental de esta cordillera se presenta disectado por quebradas que llegan al río Santa. El valle del río Santa tiene una longitudinal de 200 km de largo aproximadamente. La zona de la Cordillera Negra comprende diversas geoformas como colinas, planicies y montañas. Geomorfológicamente el valle superior del río Santa se ubica en la base de un graben (fosa tectónica) regional que separa a la Cordillera Negra de la Cordillera Blanca, ubicadas al oeste y al este respectivamente. Los límites de la fosa serían la actual falla activa de la Cordillera Blanca y el cauce del río Santa.

Las partes altas tienen una topografía casi plana ondulada de naturaleza volcánica, las zonas de moderada pendiente están compuesta por rocas volcánicas y sedimentarias con pendientes mayores a 30°. Las geoformas que se observan son acumulación de material detrítico: abanicos aluviales, depósitos de deslizamientos (Antauran) ocasionado por movimientos gravitacionales, fluvio-glaciario en superficies onduladas. Véase Figura 11.

Figura 11

Topografía



Fuente: Mina Pierina (2005)

3.1.2 Estratigrafía

3.1.2.1 Cretácico. Se divide en inferior y superior, en el inferior Wilson (1995) reconoce como la unidad litológica más antigua que aflora a la formación santa, ubicada a 5 km al norte del yacimiento Pierina.

Grupo Goyllarisquizga: conformado por:

- **Formación Chimú:**

Está constituida de capas de arenisca cuarzosa de grano medio a fino, color blanco grisácea, ocasionalmente intercalada con capas de lutitas pardo amarillentas conteniendo hacia el tope algunos mantos de carbón en conjunto alcanza 350 m de espesor.

- **Formación Santa:**

Está constituida por capas de lodolitas calcáreas de color gris oscuro, intercaladas con lutitas arenosas de color gris. En conjunto alcanzan 220 m de espesor.

- **Formación Carhuaz:**

Está constituida de una intercalación de areniscas de grano medio rojo a violáceo, areniscas cuarzosas de grano fino, lutitas rojizas, areniscas gris rojizas y limo arcillitas pardo rojizas. En conjunto alcanza 800 m de espesor, se observa al oeste de la mina Pierina.

En el superior se tiene:

- **Formaciones Pariahuanca, Chúlec y Pariatambo:**

Estas formaciones sobre yacen una discordancia erosionando la Formación Carhuaz. Como no se han logrado individualizar estas formaciones, se les llama "indiviso". De la base al techo es una intercalación de limo arcillitas rojo amarillentas, areniscas grises y calizas grises a negras y en conjunto alcanzan 650 m aproximadamente. Estas formaciones afloran a 1,5 km al oeste del tajo Pierina, y en profundidad yacen por debajo del tajo entre las cotas 3 450 m s.n.m. a 3 650 m s.n.m.

3.1.2.2 Terciario.

- **El Grupo Calipuy.**

Suprayaciendo a las rocas sedimentarias en discordancia angular, se localiza en la parte oriental del yacimiento Pierina. Esta unidad litológica es producto de dos centros eruptivos: Huarancayoc y Huicnoc Alto Ruri, y de tres eventos eruptivos cada una. Está constituida por depósitos de flujos de lava gris verdoso a gris azulina, depósito de flujos piroclásticos de cenizas, flujos piroclásticos de pómez, cenizas soldadas, entre otros. En la cordillera negra el volcánico Calipuy alberga depósitos minerales de plata, plomo, zinc, cobre y oro controlados estructuralmente y estarían asociados a un cinturón de alteración hidrotermal de 70 km de longitud. Esta secuencia piroclástica se encuentra intruídas por pórfidos y domos de composición diorítica, andesítica, dacítica. El tajo Pierina está excavado en la roca volcánica del grupo Calipuy. Véase figura 12.

- **Formación Yungay:**

Esta formación consiste en intercalaciones de depósitos de flujos piroclásticos de cenizas grises blanquecinas, depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas de color gris blanquecina. Esta formación yace en la quebrada Tranca en las cercanías del poblado de Tarica. No hay presencia de esta unidad litológica en la zona del tajo.

3.1.2.3 Cuaternario. Se tiene a los coluviales, aluviales y fluviales:

- **Coluviales:**

Conformados por detritos de ladera y conos de escombros. presencia de materiales angulosos volcánicos y sedimentarios de diferentes tamaños. Como consecuencia de deslizamientos, derrumbes, desprendimientos de rocas.

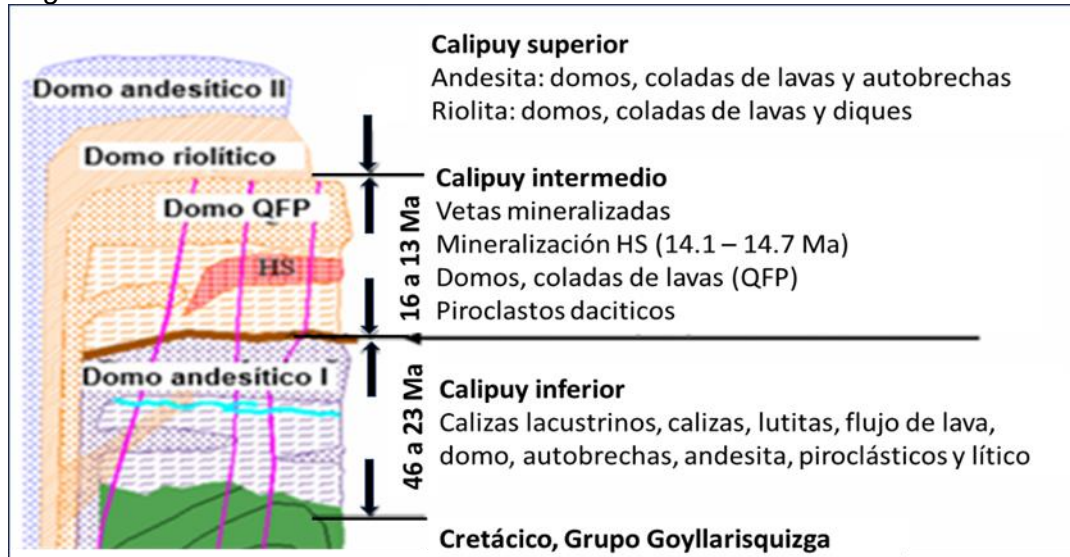
- **Aluviales y fluviales:**

Conformado por arenas, gravas, arcillas y conglomerados. Son depósitos heterométricos semiconsolidados. Se ubican a lo largo del lecho y márgenes del río

Santa. Los depósitos aluviales constituyen en la mayoría de los casos el soporte de terrenos de cultivo, construcciones viales, viviendas, canales de irrigación, riego.

Figura 12

Estratigrafía de la mina Pierina



Fuente: Tomado de Manrique (2007)

3.1.3 Litología

3.1.3.1 Rocas sedimentarias. Al suroeste de la mina Pierina, aflora la Fm. Carhuaz, constituida por areniscas sucias y limolitas arenosas, con intercalaciones de calizas lenticulares alargadas. Las rocas son de color gris a gris oscura a negro, cuando están alteradas por procesos hidrotermales tienen colores rojizos, cremosos a amarillo ocre.

3.1.3.2 Rocas volcánicas. Se encuentran en discordancia angular sobre las rocas sedimentarias de edad Mesozoica, se diferenciaron tres unidades litológicas volcánicas, subdivididas por su posición estratigráfica y mineralógica.

- **Calipuy inferior:**

Strusievicz (2000) describe a la roca como andesita (tobas, lavas y flujos domicos), depositada entre 46 a 23 Ma. Formando el basamento volcánico, en discordancia angular y fallada sobre las rocas sedimentarias de la Fm. Carhuaz. En la base, presenta depósitos conglomerádicos de 3 a 15 cm, soportados en matriz de arena y toba, los clastos están redondeados, compuestos por orto cuarcitas y calizas,

presentando abundantes cristales rotos de plagioclasas brecha y aglomerados volcánicos bastante compactos; son de color cremoso, gris verdoso a marrón rojizo, todo de composición andesítica.

▪ **Calipuy intermedio:**

Constituido por tobas y domos de composición dacítica, mineralógicamente tiene cuarzo y feldespato porfiritico (QFP) véase figura 14. Se inicia con la intrusión y flujo de una serie de domos; en los alrededores del tajo de la mina Pierina se han ubicado varios domos de pórfido dacítico (QFP); durante la segunda mitad del vulcanismo dacítico (tobas y QFP), sucedió la mineralización del yacimiento Pierina. Estos domos presentan bandeamiento de flujo “flow banding” e imbricados, se caracterizan por su color gris cremoso, con abundantes fenocristales de feldespato, contiene proporciones variables de cuarzo, hornblenda y biotita. Esta unidad se observa al NE y S de la mina, en estos lugares parcialmente han sufrido una alteración supérgena. Estas tobas han sido datadas entre 16 a 13 Ma. Strusievicz, (2000). Los domos ubicados por la zona de los deslizamientos Milagros, se presentan parcialmente argilizados, con los planos de contacto entre flujos, buzando hacia el norte. El QFP ubicado en el Cerro Torta (zona este del tajo Pierina), está intensamente tectonizado y fracturado con generación de material coluvial insitu de la misma composición, esta Interceptado por una gran cantidad de estructuras mineralizadas con azimut de 80° a 125° y buzamiento hacia el sur. Las rocas de estos domos, presentan una fuerte alteración a vuggy silica – cuarzo/alunita, casi simultáneo con la intrusión de los domos QFP, se ha depositado una toba de composición dacítica que en el tajo se encuentra intensamente alterada por acción de procesos hidrotermales y muy disturbada conjuntamente con la toba de composición andesítica.

La toba dacitica presenta abundantes líticos de tamaños de lapilli y textura eutaxítica (fíame).

En Pierina estas tobas fueron propicias para la mineralización, véase figura 15, encontrándose:

- **Tobas líticas:**

Primera secuencia piroclástica de composición andesíticas con fragmentos líticos aproximadamente 10 %, este tipo de roca sobre la alteración y mineralización está dominado por estructuras aproximadamente de 10 - 15 m. de espesor.

- **Tobas pómez:**

Segunda secuencia piroclástica, de composición mayormente dacítica, esta roca es la más importante del yacimiento, posee la mayor concentración de ley en Au. Véase figura 13.

- **Toba de cristales:**

Tercera secuencia piroclástica, de composición mayormente riolítica, este tipo de roca sobre la alteración y mineralización está dominado por cuerpos.

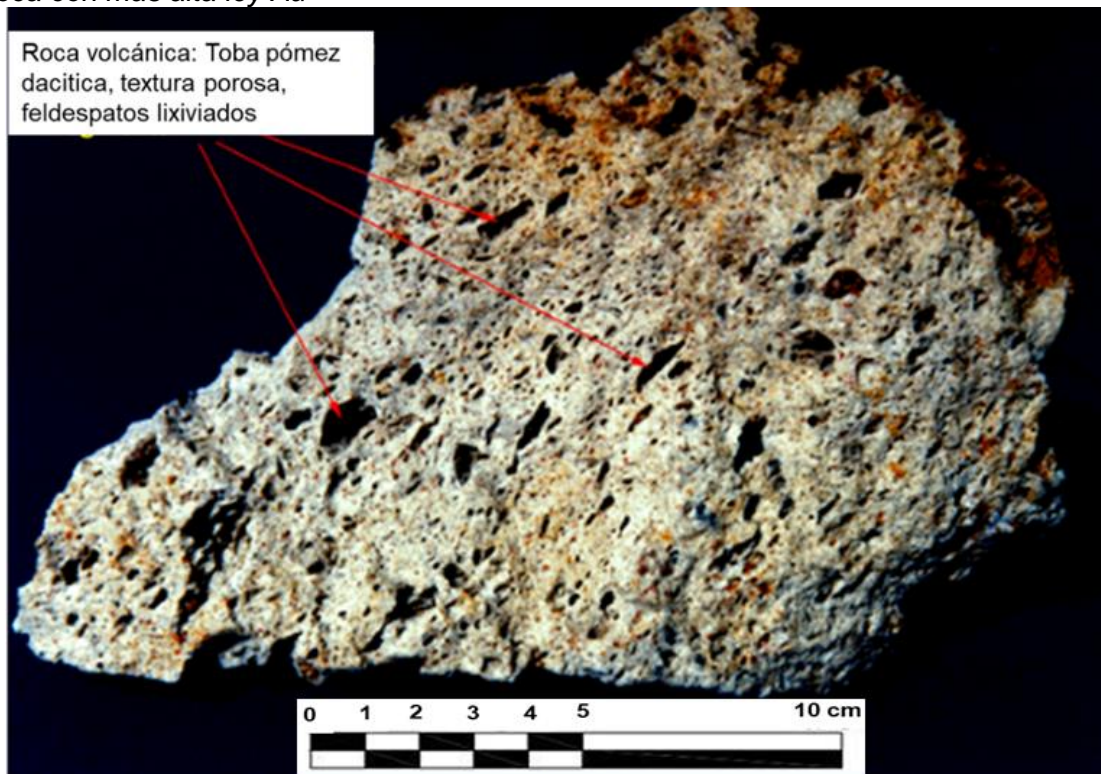
▪ **Calipuy superior:**

Constituido por domos de andesita, tiene una edad de 9.96 Ma (Strusiewicz, 2000), ubicada a unos 3 a 4 kilómetros al SW del tajo Pierina, Son coladas de lavas depositadas directamente sobre tobas de la primera unidad volcánica.

Son flujos lávicos macizos o autobrechadas en su frente de flujo, engloban clastos de riolita descritas.

Figura 13

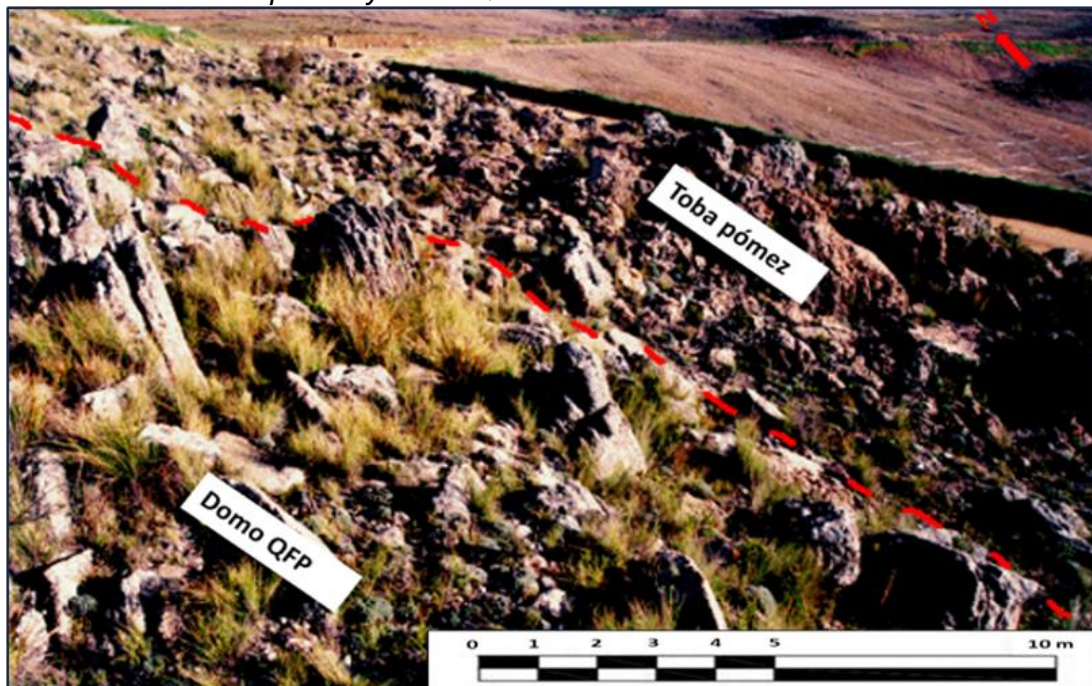
Roca con más alta ley Au



Fuente: Mina Pierina (2005)

Figura 14

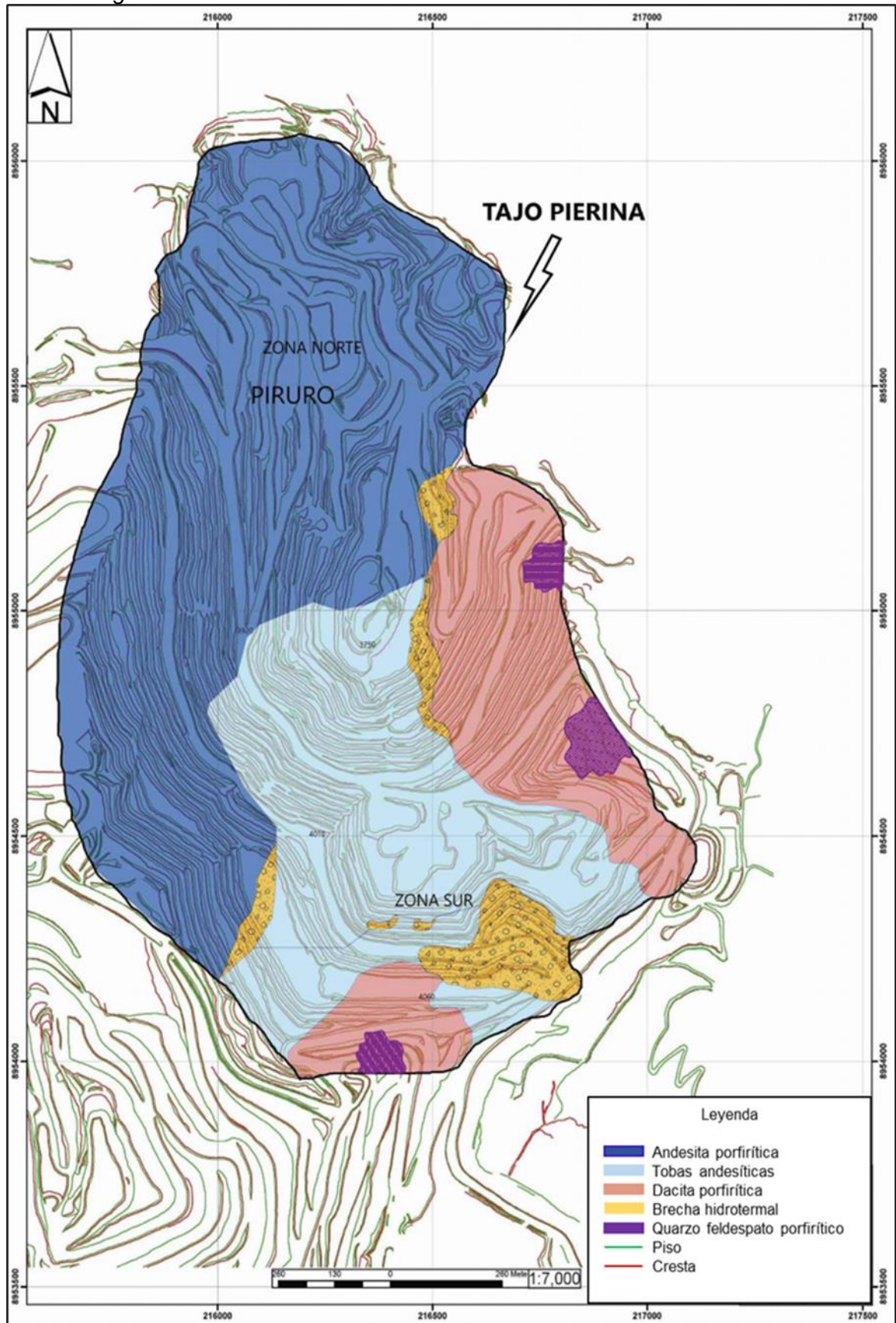
Zona de contacto toba pómez y domo QFP



Fuente: Mina Pierina (2001)

Figura 15

Plano litológico de la mina Pierina



Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Geología estructural

Gaboury (2001) describe dos sistemas de estructuras:

- **Primer orden:**

2 lineamientos estructurales denominados Tinyash y Mirador. Este último está expuesto en el tajo Pierina y es denominado como la Falla Roxana. Entre las fallas Tinyash y Roxana de rumbo andino NW buzando al SW, este sigmoide de cinemática siniestral ha dado lugar a fallas y fracturas de Riedel, las cuales originaron de forma alternada sistemas de fallas inversas, tensionales y de rumbo. Véase figura 16.

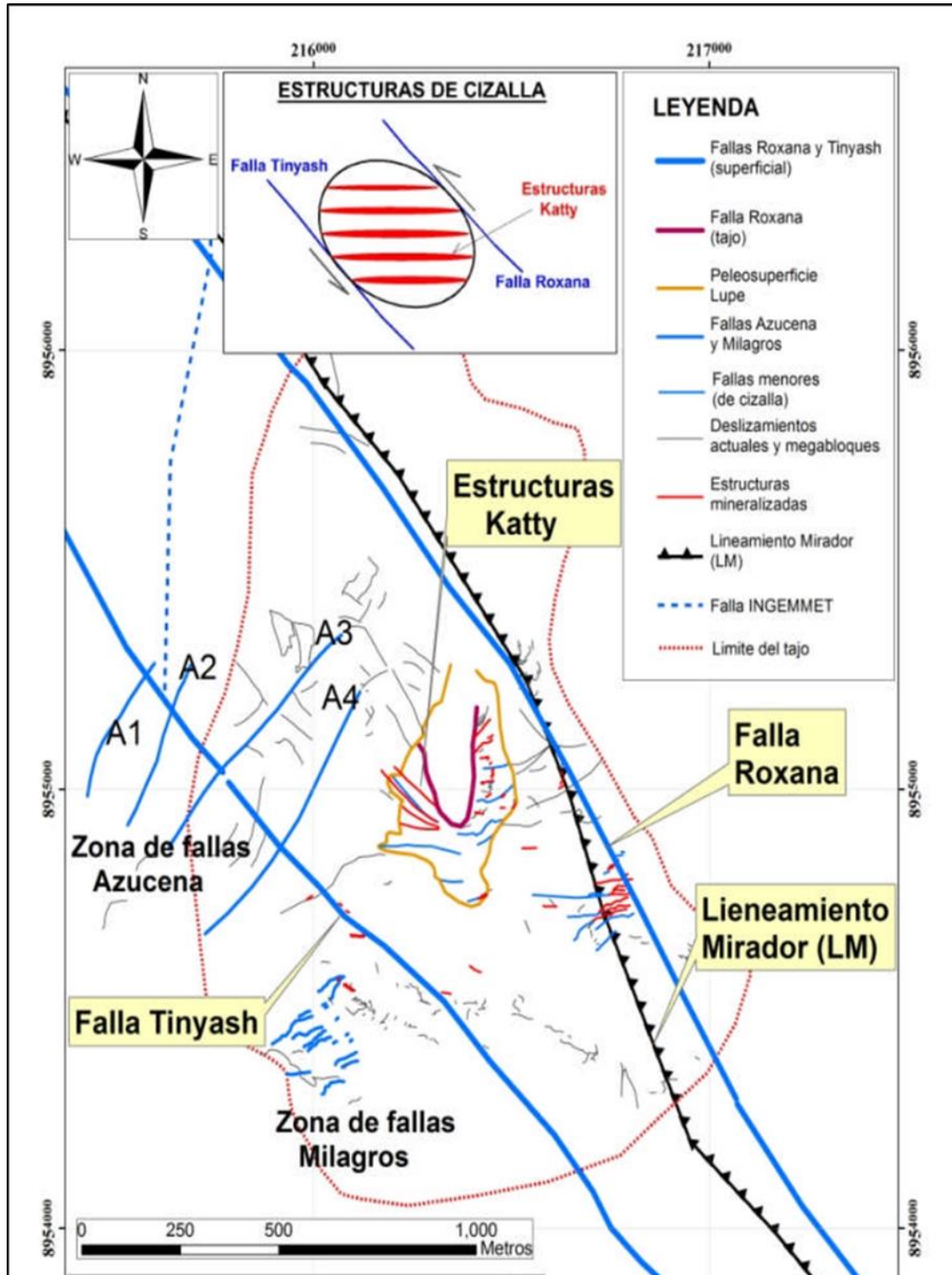
- **Segundo orden:**

De dirección EW-NS-NE, de sistemas distensivos han controlado los procesos de alteración hidrotermal y circulación de las aguas subterráneas. Los fluidos hidrotermales transportados a través de la estructura de cizalla Katty, fueron de naturaleza pervasiva y se hizo más pervasivo aun cuando ingresó al dominio de las tobas de composición dacítica ubicadas en los niveles superiores de la secuencia volcánica. Las estructuras Katty ubicadas al oeste del tajo, actuaron como canales de alimentación para la mineralización, convertidas a vuggy silica que pasan lateralmente a cuarzo alunita. estas presentan una variación en la mineralización, pues en los niveles más bajos de la mineralización se presentan cristales de enargita en cavidades y pulverulenta en las fracturas, interpretadas como producto del fracturamiento de las estructuras y consiguiente arrastre, trituración y milonitización. Los valores de oro son mayores a 1 g/t, pero, esta mineralización no es rentable por ahora por estar en sulfuros, las fallas N-S: son de características regionales, y controlan los alineamientos QFP. La reactivación de las fallas dio origen a la formación del graben en el cual se depositaron las secuencias gruesas de tobas de pómez. Véase tabla 1.

Los fluidos mineralizantes provienen del lado sur, restringidos por rocas de composición andesítica y flujos dómicos QFP y alcanzando su máxima mineralización y diseminación en tobas de composición ácida.

Figura 16

Plano estructural de la mina Pierina



Fuente: Mina Pierina (2005)

Tabla 1

Resumen de fallas de la mina Pierina

ORDEN	FALLAS	RUMBO	BUZAMIENTO
1	Tinyash y Roxana (NW)	N 40° a 70° W	45° a 70° SW
2	Katty, Torta (E-W)	N 73° a 86° E	74° a 80° NW/SE
2	NE	N 37° a 40° E	40° a 89° SE
2	NS	N 05° a 13° E	66° E

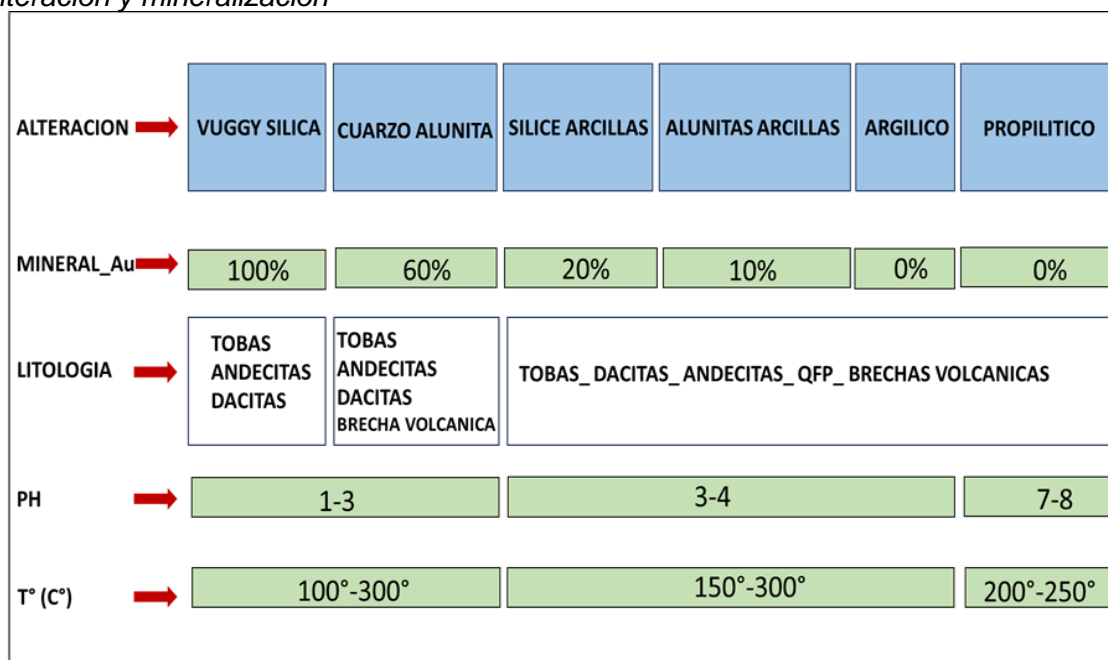
Fuente: Mina Pierina (2018)

3.1.5 Alteración y mineralización

Pierina es un yacimiento epitermal de alta sulfuración de Au-Ag, las rocas han sido afectadas por diferentes tipos, grados de alteración hidrotermal y supergénica. Los tobos dacíticos pómez son las rocas más alteradas y mineralizadas; proporcionan un fuerte control litológico de la mineralización y alteración. La alteración vuggy sílica está asociada con las leyes más altas de Au, la mayor parte de este mineral se encontraba en la zona norte del depósito. Seguido de una alteración cuarzo-alunita que se localiza en gran parte del tajo, sílice arcillas localizándose en la parte central del tajo; alunitas arcillas localizadas en las partes superficiales del tajo; la alteración argílica y propilitica se encuentra en los bordes del yacimiento. Véase figura 17.

Figura 17

Alteración y mineralización



Fuente: Elaboración propia

La mineralización de Pierina presenta una dirección preferencial NW-NS, esta datada entre los 14 y 14,7 Ma. La zona de óxidos considerado desde el 3920-4200 con valores de sulfuros que no deben sobrepasar el 1.5 % ($S_2 < 1,5 \%$), zona mixta considerado entre los niveles 3850-3920 con valores de $1,5 \% < S_2 < 2,5 \%$, zona de sulfuros considerado entre los niveles 3850-3700 con valores de $S_2 > 2,5 \%$, estos sulfuros con leyes de Au mayores a 1 g/t Au, donde el Au se encuentra encapsulado en la pirita, no son llevados al pad por ser cianizadas.

Respecto a la paragénesis, primaria-secundaria la mineralización y alteración del yacimiento. Véase Figura 18, está definida por 5 estadios:

▪ **Estadio I.**

El principal control de mineralización en Pierina, fueron las alteraciones hidrotermales vuggy silica y cuarzo-alunita las más favorables. Véase Figura 19.

Vuggy silica: Representa la alteración principal en el yacimiento por su alta concentración de oro, viene a ser formado como un cuerpo tabular, en los niveles 3850 se puede observar presencia de azufre nativo y covelita en las cavidades. El mayor predominio de esta alteración se encuentra en las tobas de pómez (formando un cuerpo tabular), pero también en las tobas líticas, tobas de cristales, incluso en las andesitas. El control en estos tipos de rocas ocurre principalmente como estructuras mineralizadas con una zonación bien marcada, en la parte central la vuggy y hacia la periferia las alteraciones argílicas avanzada, argílica y propilitica.

Argílica avanzada:

Constituida por los siguientes ensambles:

- Alunita, de color rosada rellenando cavidades en la toba de pómez, alunita blanca reemplazando feldespatos, el steam head que viene a ser una alunita fina. Véase Figura 18.
- Dickita, se localiza en la periferia de la alteración vuggy silica, puede estar asociada a caolín y alunita. Asociada a estructuras mineralizadas en el domo QFP y andesitas.

- Caolinita, está asociada a la alunita, dickita, illita.
- Pirofilita, bordes del yacimiento asociada a caolín, diáspora

Argílica:

Esta alteración se encuentra a la periferia del yacimiento, como ensamble se tiene:

- Illita
- Smectita
- Caolín
- Pirita
- Limonitas
- óxido de manganeso.

Propilitica:

Se localiza en los extremos del yacimiento, como ensamble se tiene a la pirita, clorita, calcita, dolomita.

▪ **Estadio II.**

Mineralización polimetálica de sulfuros, este estadio se divide en 2 eventos. Una etapa temprana de cuarzo con pirita aurífera, seguido por un evento posterior de enargita, pirita, bismutinita y estibina. La tenantita, esfalerita y galena, fueron depositadas en niveles profundos y muy localmente en venillas en etapas más tardías. Los sulfuros de cobre y metales base se depositaron típicamente después de la pirita. Los eventos tempranos de sulfuros gradan de venillas blanquecinas micro finas a vetillas que progresivamente aumentan en pirita fina. Esta pirita fina es la que se encuentra enriquecida en Au. Los sulfuros rellenan principalmente estructuras E-W, oquedades y después clastos líticos o de cristal en las tobas de pómez, o fenocristales en la andesita. La descomposición de sulfuros después de la alteración hidrotermal es típico de estos yacimientos, se interpreta que hay cambios de los fluidos magmáticos, para los que son principalmente salmueras

magmáticas. La mineralización de Au-Cu-Ag se formó como consecuencia de la mezcla con aguas meteóricas.

- **Estadio III.**

Precipitación de baritina y acantita, la baritina ocurre como relleno en oquedades o relleno de fracturas en alteración vuggy silica.

Se ha observado que la pirita y acantita están intercrecidas de manera local como inclusiones en la baritina. Estudios isotópicos demuestran que la baritina se depositó a partir de un fluido meteórico, probablemente de un steam-head de agua acida sulfatada.

En el tajo se puede observar la baritina invadida por covelita, azufre, hematita y goethita, lo que haría indicar que es anterior a estos eventos. Es también, lógico pensar, que a la secuencia es como sigue: primero la depositación de sulfuros, luego sulfatos, posteriormente azufre-sulfuro y finalmente precipitación de óxidos, durante eventos progresivamente oxidantes.

- **Estadio IV.**

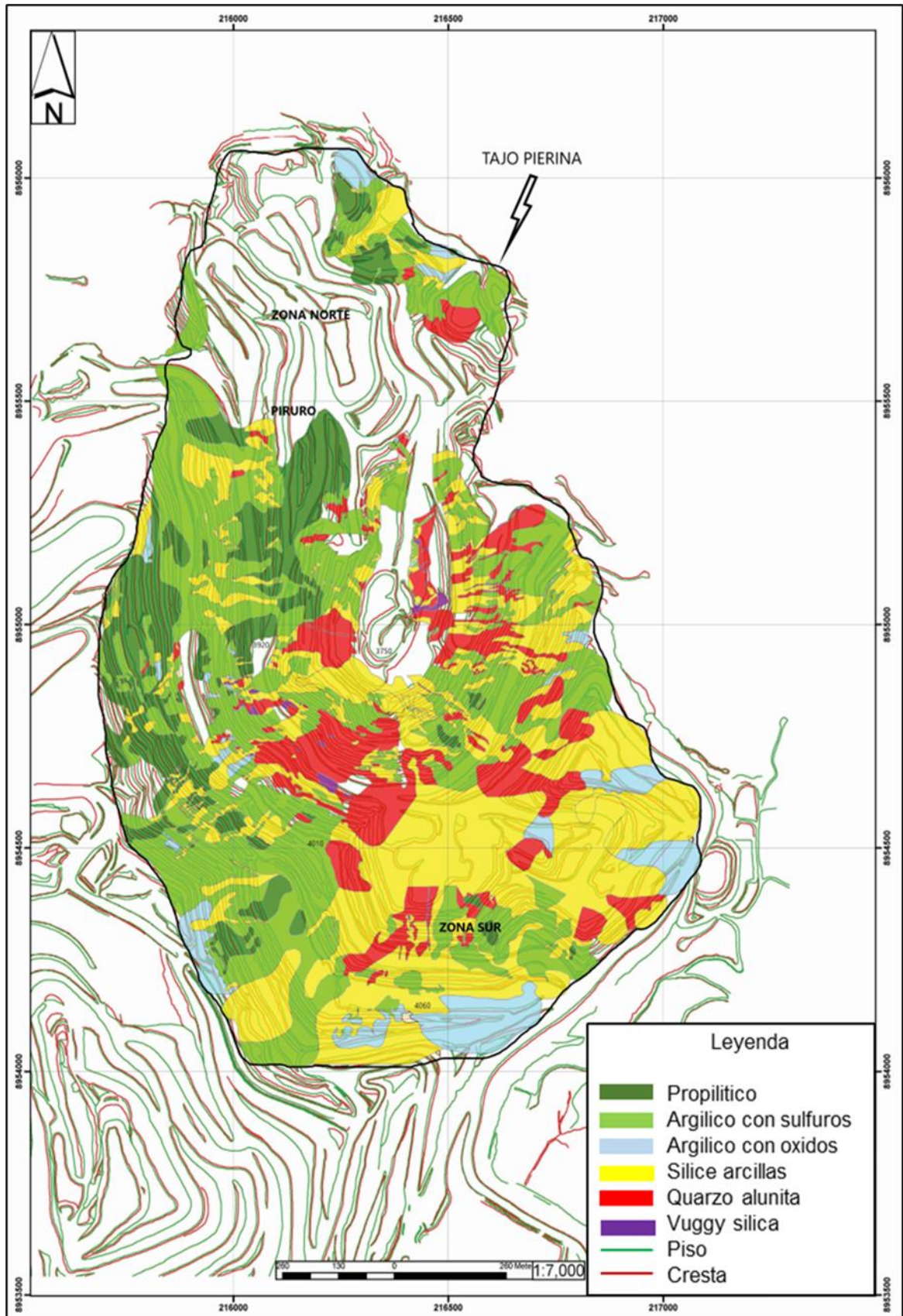
Oxidación hipógena, se postula que esta oxidación hipógena se da probablemente en respuesta a la acción de los fluidos de alteración steam-head oxidados en etapas finales del sistema hidrotermal.

- **Estadio V.**

Oxidación supergena, en la oxidación de sulfuros y óxidos hipógenos, en respuesta a la erosión y la circulación de agua y aire en la zona expuesta a la superficie o cerca de ellas, esta fase se caracteriza por la oxidación generalizada de los sulfuros de la fase II y III y óxidos de la fase IV. Los sulfuros son reemplazados principalmente por hematita y goethita. La covelita se forma como una alteración de los sulfuros de la fase II en oquedades abiertas. El azufre nativo rellena las oquedades abiertas y comúnmente en exceso.

Figura 18

Plano de alteraciones de la mina Pierina



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Alteraciones en el tajo Pierina



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Control de calidad

El control de calidad del mineral de Au en Mina Pierina se realiza con el fin de optimizar la selección del mineral de Au, realizando movimientos de los materiales a su destino correcto, las técnicas operativas que se utilizan determinan un buen nivel del control de calidad en la operación evitando pérdidas por ineficiencia.

3.2.1 Calidad de mineral y desmonte

La calidad del mineral y desmonte en la mina Pierina es muy variada, está en función al grado de alteración y dureza (véase Tabla 2), clasificándose de la siguiente manera:

- Mineral de buena calidad (vuggy silica, sílice masiva y cuarzo alunita) de durezas 5, 4, 3, sin problemas en chancado y muy permeable en el pad. Muchas veces se realiza blending con mineral de menor calidad.
- Mineral de mediana calidad (cuarzo alunita y alunitas arcillas) de dureza 2, normalmente este mineral no va directo a la chancadora tiene que hacerse blending con otro mineral de mayor dureza.
- Mineral de mala calidad (alunitas arcillas, steam heat, coluvio) de durezas 1; es obligatorio el blending de este mineral para evitar atoros en chancado y así evitar las pérdidas en el proceso.
- Mineral con sulfuros (sulfuros negros con contenido alto de enargita, pirita) con valores mayor a 1 g/t en Au, guardados en un stock por ser cianizada, este mineral se localiza debajo de la cota 3850.
- Desmonte de buena calidad (cuarzo alunita, propilitica, sílice arcillas) durezas 4 y 3 que sirve para la base de los botaderos y se guarda como lastre para épocas de lluvias, diques de contención y contención de taludes (butress).
- Desmonte argílico (arcillas con gran plasticidad) con óxidos de durezas 0, para remediación y como base en las geomembranas para las celdas de lixiviación.
- Desmonte de arcillas (con poca plasticidad) con óxidos, de durezas 2, 1, 0, que se utiliza para tapar los sulfuros, evitando que los sulfuros reaccionen con el agua.

- Desmonte, suelos orgánicos (top soil) para remediación de medio ambiente.
- Desmonte con sulfuros (argílico con pirita diseminada). Este desmonte se encapsula, para evitar generar aguas acidas por la reacción del Fe con el agua.

Tabla 2

Clasificación de las durezas en función de la alteración

DUREZA	DESCRIPCIÓN	ALTERACIÓN
0	Rayadura por la uña	Argílico con óxidos y sulfuros, coluvio, steam heat
1	Desmoronamiento con un golpe de martillo o rayadura por la cuchilla.	Argílico con óxidos y sulfuros, coluvio, steam heat, alunitas arcillas, propilitico
2	Rayado con dificultad por la cuchilla y al golpe con la punta del martillo para fracturarlo	Argílico con sulfuros, alunitas arcillas, propilitico, cuarzo alunita
3	No puede ser rayado por la cuchilla y requiere un golpe del martillo para fracturarlo	Propilitico, cuarzo alunita, vuggy silica
4	Requiere más de 2 golpes del martillo para fracturarlo	Cuarzo alunita, vuggy silica, silice arcillas
5	Requiere muchos golpes del martillo para fracturarlo	Vuggy silica, silice masiva

Fuente: Mina Pierina (2001)

3.2.2 Dilución

Es la mezcla del mineral con material estéril o mineral de baja ley. El control de la dilución se produce a través de los mecanismos de voladura como la fragmentación y desplazamiento.

Estudios han demostrado que, si el movimiento de voladura no es considerado, hasta un 25 % del mineral económico total puede terminar en el botadero, traduciéndose en millones de dólares de ingresos perdidos al año, siendo el mayor desplazamiento en la parte central del polígono.

Se distingue 2 tipos de dilución:

▪ **La primera dilución:**

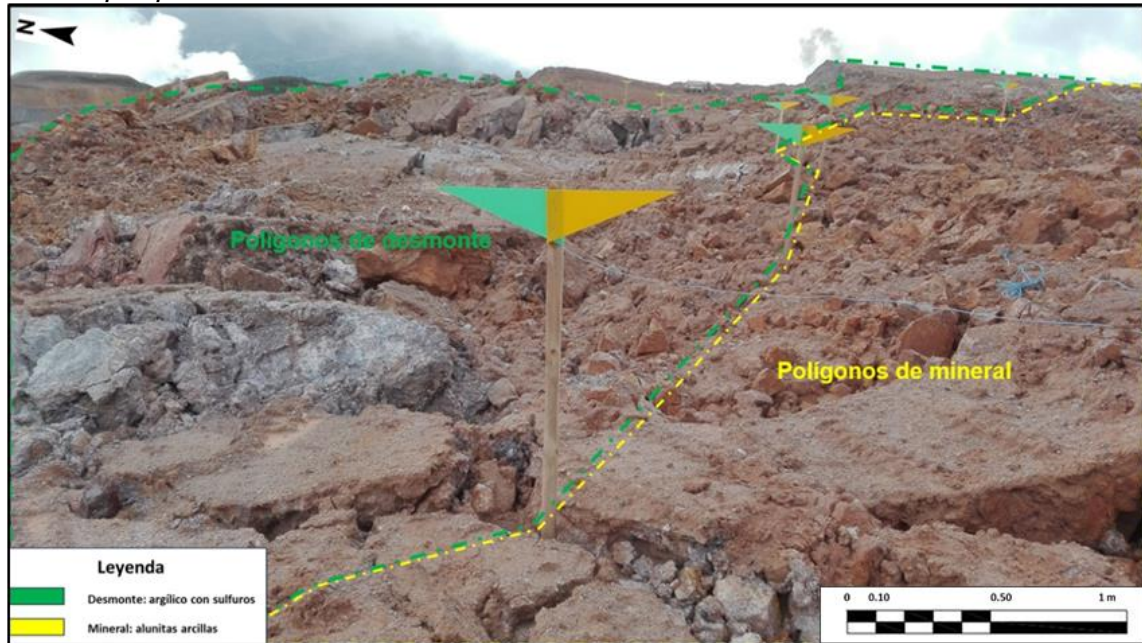
Relacionada al proceso de producción, interviene la voladura, topografía, el acarreo y dispatch. Véase Figura 20.

▪ **La segunda dilución:**

Relacionada al origen geológico estructural que afecta a las estructuras mineralizadas. El mineral para ser extraído necesita del apoyo de un tractor para el minado selectivo. Teniendo en cuenta que la pala de acarreo (20 TM) es demasiado grande para dichas estructuras irregulares. Véase Figura 21.

Figura 20

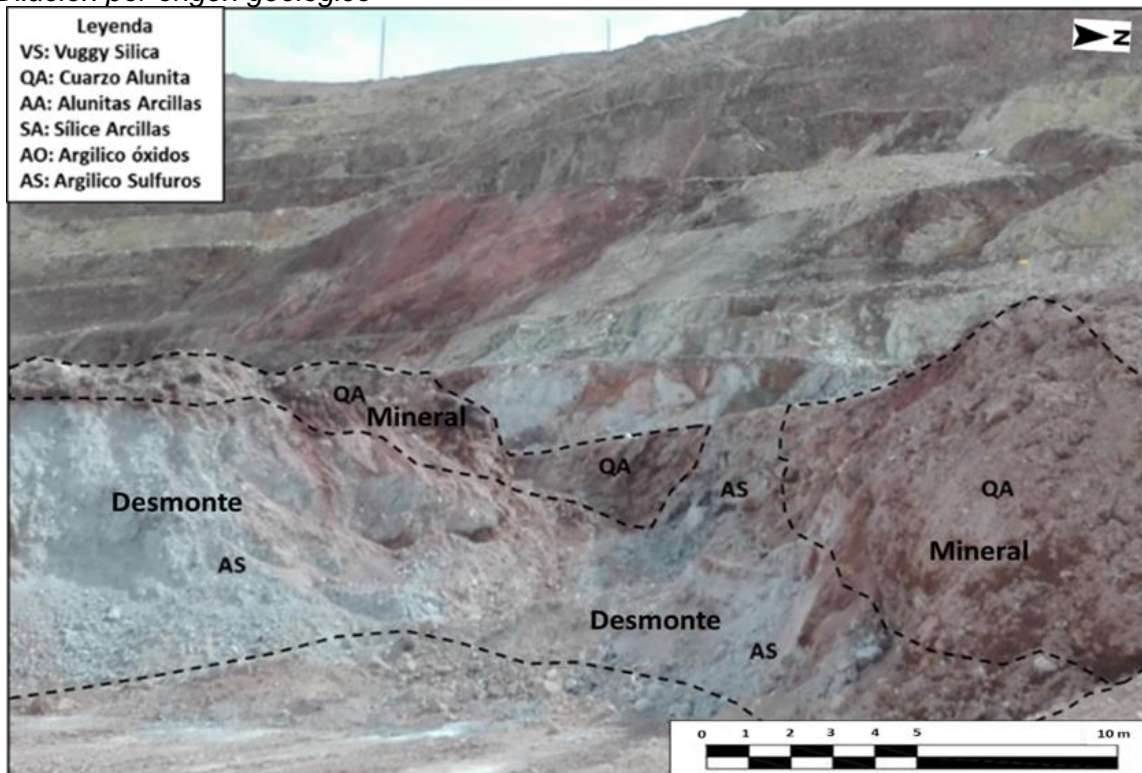
Dilución por producción



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Dilución por origen geológico



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.1 Causas de dilución. Las causas de la dilución son descritas a continuación:

- En zonas de contacto entre mineral y desmonte, por el proceso de la voladura siempre existe un desplazamiento de la carga estéril y que esta carga vaya en excesiva cantidad hacia la zona mineralizada.
- Falta de control del nivel de piso por topografía en zonas de carguío.
- Voladura no controlada da una mala fragmentación, inestabilidad de taludes y un mal control del desplazamiento.
- Falta de auditorías regulares para un mejor control de parámetros como longitud de barreno, diámetro y ángulo de perforación, carga de explosivo por barreno, calidad del explosivo, longitud y calidad de retacado, tipo de detonadores.
- Mal marcado de polígono de mineral y desmonte, los banderines deben estar bien direccionados.
- Antes de iniciar el carguío, la falta de marcado con banderines en los polígonos de mineral y desmonte en campo, la confusión es mayor cuando tiene la misma alteración cuarzo alunita, pero con diferentes leyes de Au, diferentes durezas. Véase figura 22.
- Falta de calibración en los GPS de dispatch y camiones de acarreo.
- Falta de marcado de los polígonos de mineral con banderines en el tajo por el área de topografía, sabiendo que su equipo tiene un error menor a 1cm, comparando con dispatch y los camiones que su Gps tiene errores de metros.
- Se debe respetar el espaciamiento entre taladros en la malla de perforación:
 - Mineral tienen un espacio de 6.5 m entre taladros.
 - Desmonte tiene un espacio de 8.5 m entre taladros
- Presencia de bancos mal perfilados que se acumulan material en la base del banco provenientes de otros polígonos de mineral con diferentes leyes de Au.
- Falta de limpieza a los equipos de carguío, para evitar la contaminación.

- En zonas de contactos irregulares, se usa la ayuda de tractores para una mejor separación del mineral, por ser más pequeño la cuchara del tractor respecto a los cargadores de 20 toneladas.
- La no presencia del Geólogo de campo en los frentes de carguío.

Figura 22

Polígonos de mineral y desmante



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Muestreo y logueo

3.2.3.1 Muestreo. Es la recolección de detritus acumulada en el cono de perforación que representa 10 m de perforación, esta muestra debe ser representativa, proporcional y libre de contaminación.

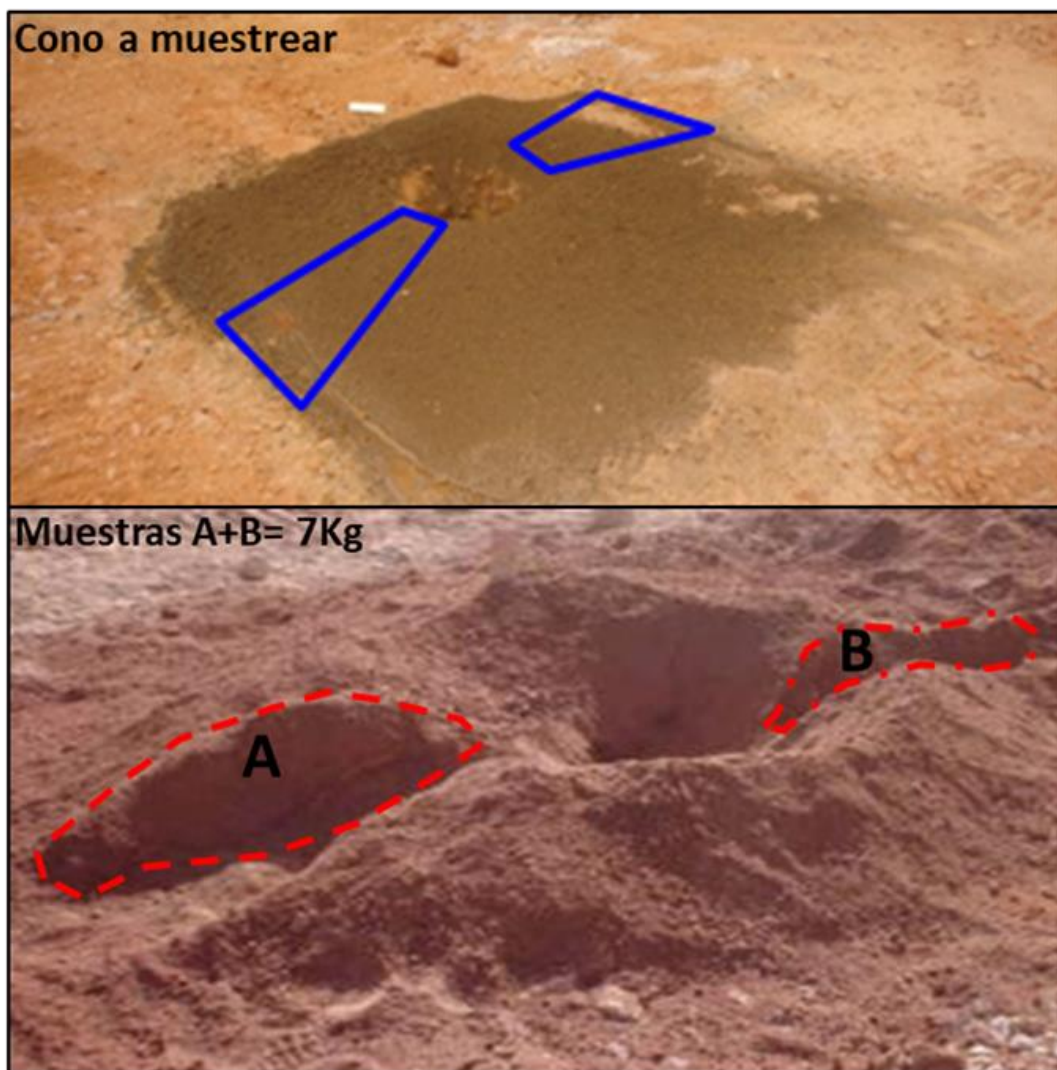
El método de muestreo de blast hole realizado es el de canales, caracterizándose por:

- Cada cono de blast hole a muestrear cumple características como tablillas enumeradas con el número de muestra, profundidad del taladro.
- Se codifica las bolsas de muestreo tomando en cuenta el proyecto de disparo y el código del talado. El proyecto de disparo se codifica tomando en cuenta el número de banco y el número de disparo que corresponde.

- Se procede a excavar dos canales en el cono de muestras, llegando hasta la base de la plataforma, posteriormente se retira la sobre perforación menor a 2 cm.
- El muestreo se realiza en rebanadas a toda la columna en los dos canales haciendo un total de 7 kg. Véase Figura 23.
- Cuando se tiene una mezcla de mineral y desmonte solo se muestrea el mineral. Véase Figura 24.
- En las muestras duplicadas, se realiza la extracción en rebanadas a toda la columna en los dos canales haciendo un total de 14 kg. Luego se procede al cuarteo y se divide en 2 muestras.

Figura 23

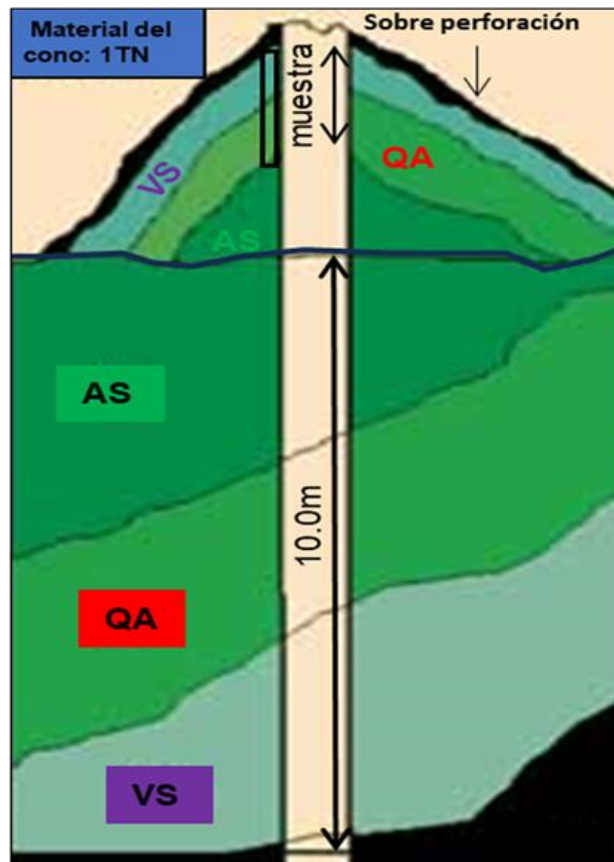
Muestreo por canales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Muestreo selectivo



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2 QA/QC del muestreo. La inserción de las muestras de control en mina Pierina se realiza en el muestreo primario (QA) y secundario (QC). Véase Figura 25, cada lote de muestras enviadas a laboratorio químico es variable, esto dependerá del avance de las maquinas perforadoras, se consideran batches de 20 muestras como mínimo al que le corresponde 3 controles.

El reporte de leyes de Au se da después de 24 horas, para ello se tiene un tiempo estimado en la entrega de muestras a laboratorio químico.

Posterior al reporte de leyes se realizan reanálisis en Au, una vez obtenido ambos datos se realizan cuadros comparativos. Véase figura 26, no debiendo superar el 10 % en valor como máximo permisible.

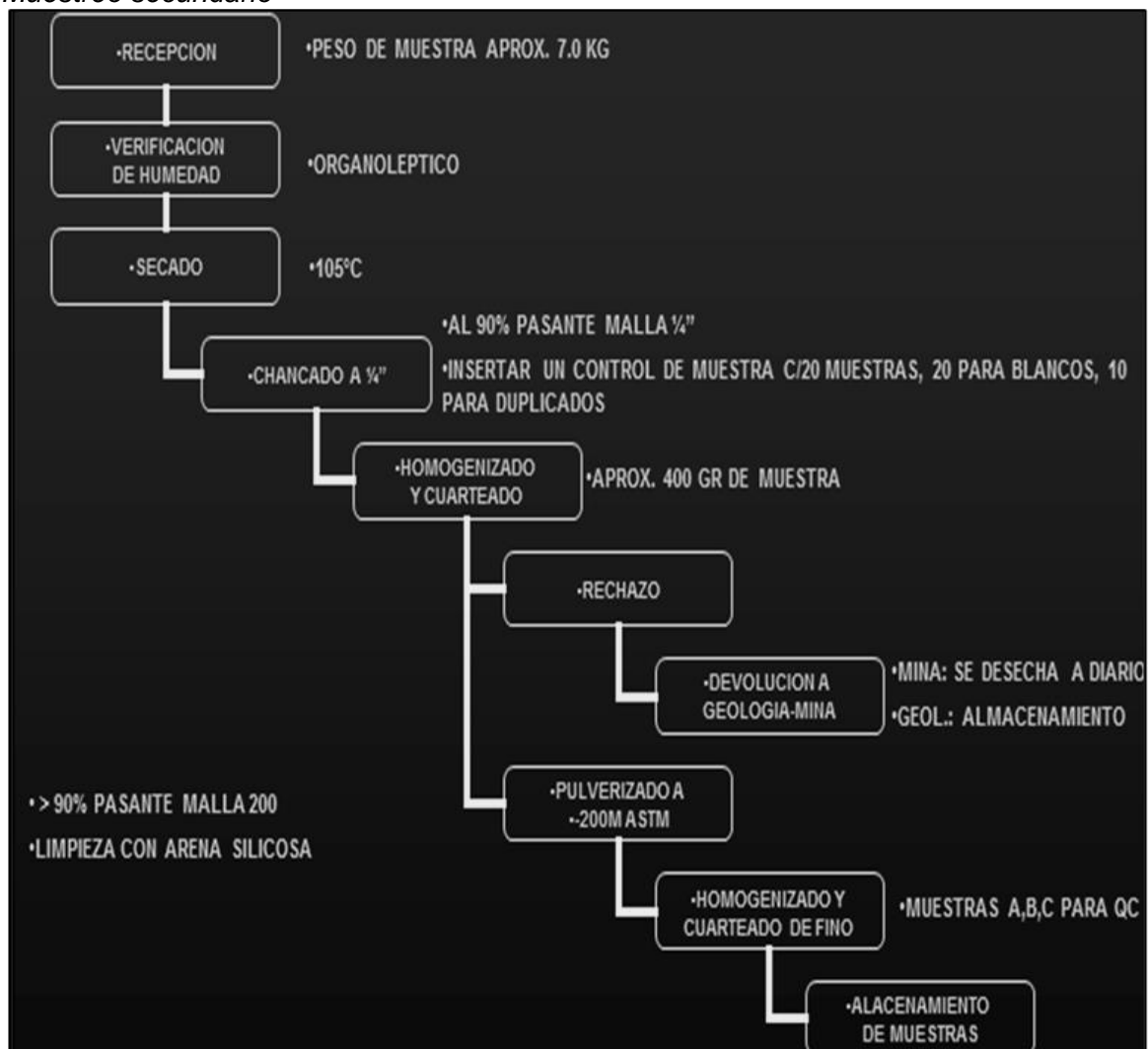
En Pierina los controles que se usan son:

- Muestras estándares, existen 4 tipos de muestras estándares que se listan seguidamente:

- Ley debajo de la ley de corte (STD1), 0.13 g/t Au
- Ley baja (STD2), 0.33 g/t Au
- Ley media (STD3), 0.45 g/t Au
- Ley alta (STD4), 1.13 g/t Au
- Muestras duplicadas, existen 3 muestras duplicadas que se listan seguidamente:
 - Duplicado de campo, evalúa la precisión del muestreo primario
 - Duplicado de rechazo, evalúa la precisión del cuarteo
 - Duplicado de pulpa, evalúa la precisión de análisis de laboratorio
- Muestra blanca, donde su límite de detección es 0.002 g/t Au.

Figura 25

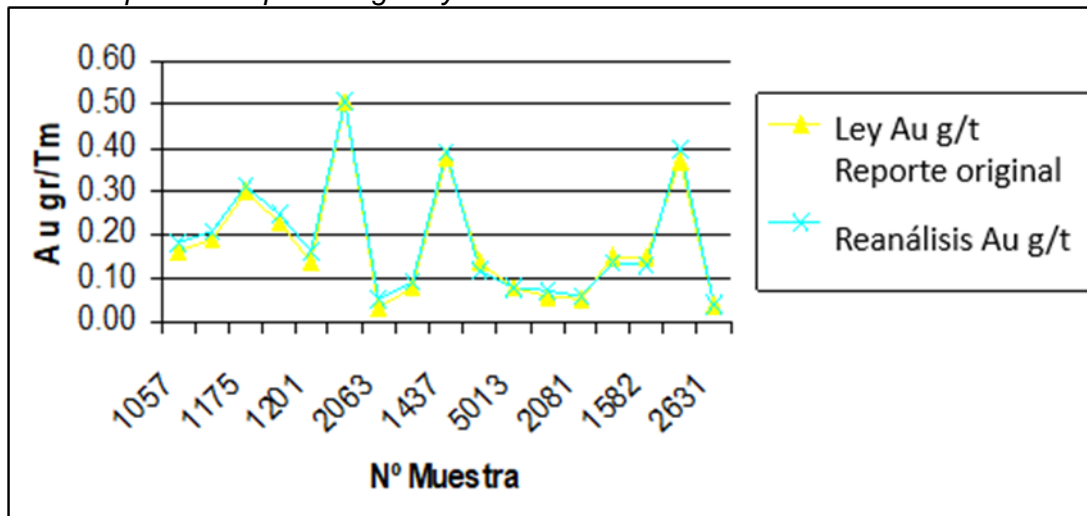
Muestreo secundario



Fuente: Mina Pierina (2015)

Figura 26

Cuadro comparativo reporte original y reanálisis Au



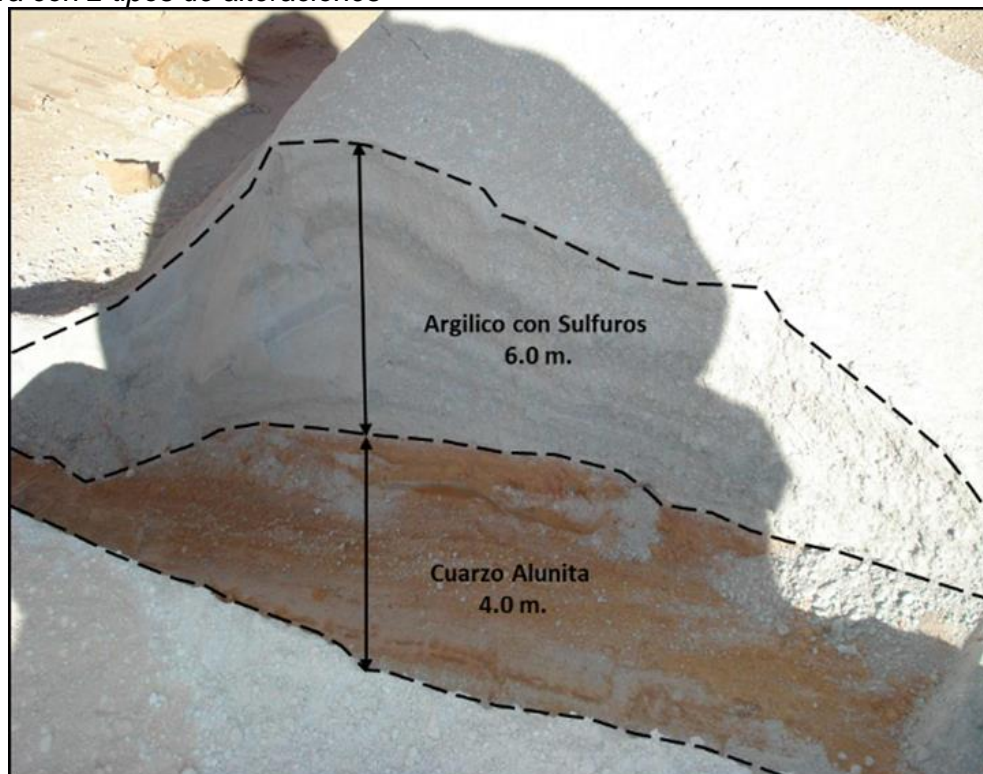
Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.3 Logueo. El logueo de blast hole es una caracterización geológica, las características del logueo son:

- El logueo de los conos de detritus se realiza en toda la columna de muestra, como máximo se representa dos alteraciones. Véase Figura 27.

Figura 27

Muestra con 2 tipos de alteraciones



Fuente: Elaboración propia

- Cuando se realiza el logueo de taladro de blast hole se registran 14 datos, Véase Figura 28.
- Con el logueo se determina la posición del mineral, si está localizada en la parte alta o baja del banco, se representa en una sección para presentar al área de operaciones e indicarles que se necesitará apoyo de un tractor para un minado selectivo.
- Los datos del logueo, se cargan en el Acquire (x,y,z), enlazándose con el mine sight, donde se muestra el polígono de la malla muestreada y logueada,
- Se obtiene los taladros de blast hole en el mine sight en 2D; realizando el contorno por alteración, dureza, porcentaje de fino y posición de roca. Dicha información mencionada se le proporciona al área de corto plazo, conjuntamente con las leyes de Au, donde se empieza a generar los polígonos de mineral y desmonte. Véase Figura 29.

Figura 28

Datos de logueo

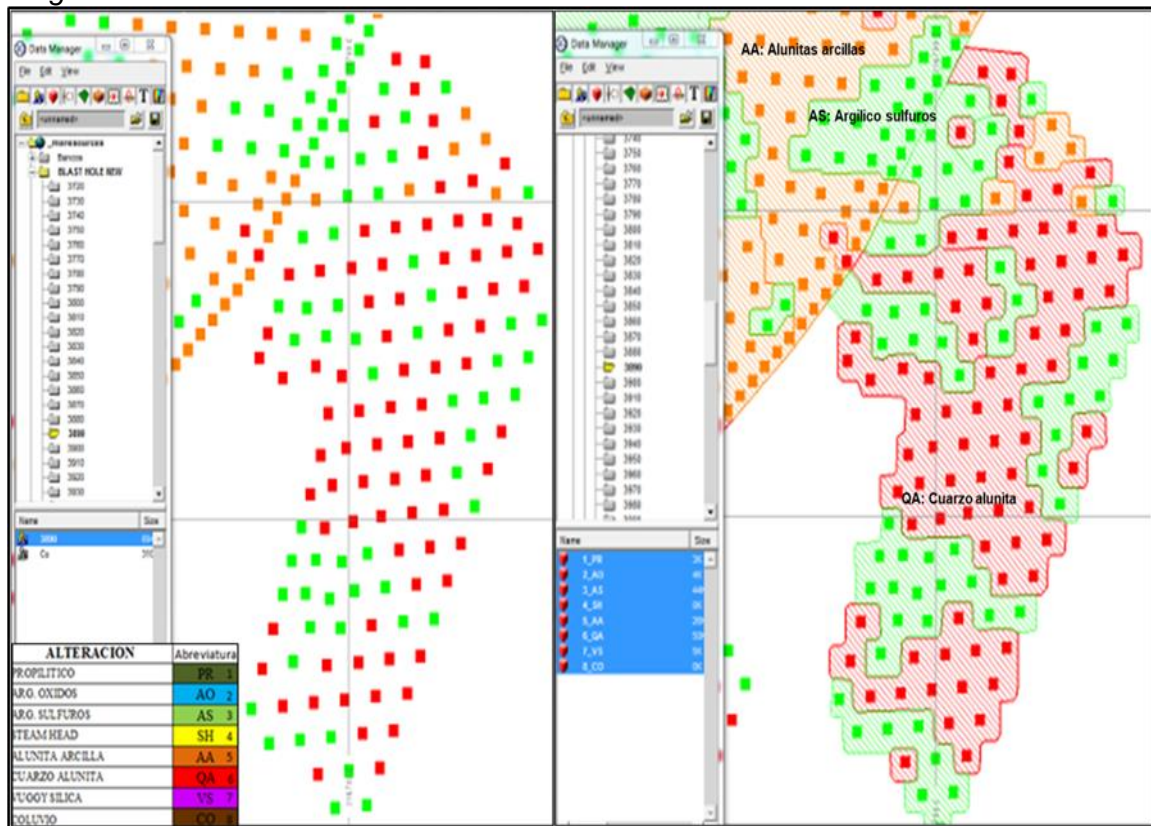
BANK	BH	TRT	TRB	T	B	DT	DB	AR	HD	MIN	MINER	PFIN	PS ROCK
35123	3033	6	3	3	7	3	1	70	3	2		25	1
35123	3034	6	3	7	3	3	1	30	3	2		25	1
35123	3035	6		10		3		0	3	2		25	3
35123	3036	5	3	7	3	2	1	75	2	1		35	1
35123	3037	5	3	7	3	2	1	75	2	1		35	1
35123	3038	6	3	8	2	3	1	20	3	2		25	1
35123	3039	5	3	7	3	2	1	75	2	1		35	1
35123	3040	5	3	6	4	2	1	70	2	2		35	1
35123	3086	6	3	4	6	3	1	60	3	2		25	1
35123	3087	5		10		2		50	2	3		35	3
35123	3088	6		10		2		0	2	2		29	3
35123	3089	5	3	8	2	2	1	60	2	2		35	1
35123	3090	6		10		3		0	3	2		25	3
35123	3091	6	3	8	2	3	1	20	3	2		25	1

Fuente: Mina Pierina (2007)

Nota: BANK: Numero de banco y proyecto, BH = Número del blast hole, TRT = Tipo de alteración al tope, TRB= Tipo de alteración a la base, T = Metraje al tope, B = Metraje a la base, DT, DB, HD = Dureza del tope de la base y dureza promedio, MIN = Mineralización, AR = % de material argílico con sulfuros y argílico con óxidos, PFIN = Porcentaje de finos, PS ROCK:= Posición de roca..

Figura 29

Polígonos de alteración



Fuente: Elaboración propia.

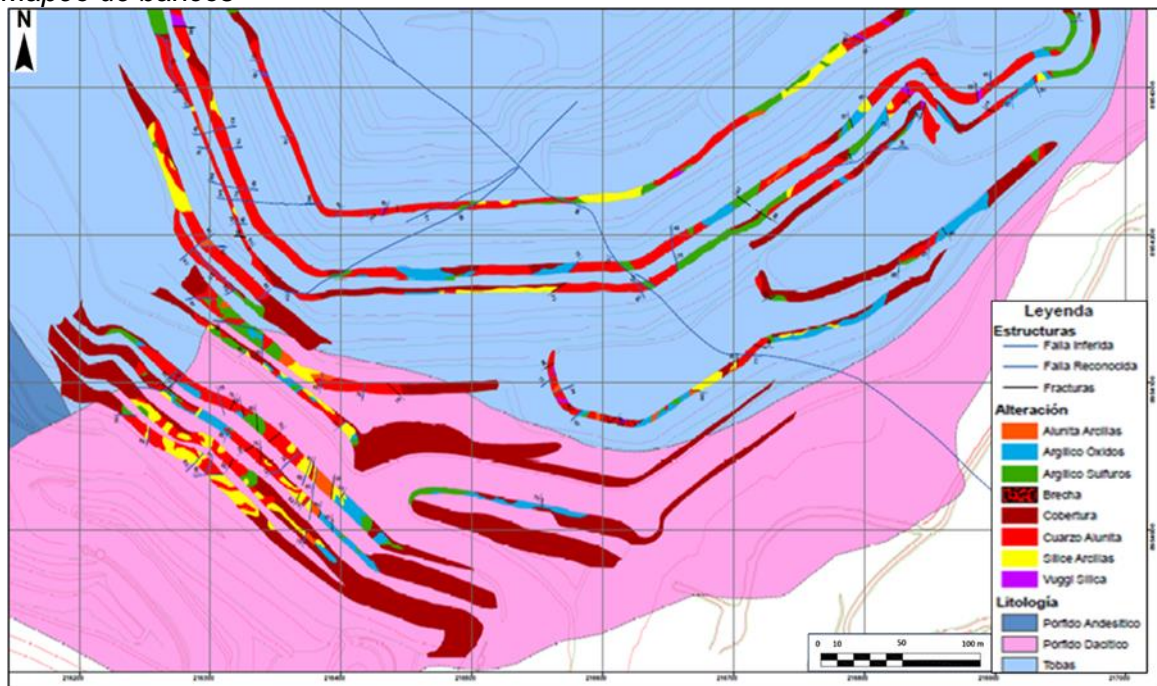
3.2.4 Cartografiado

El trabajo de cartografiado se realiza periódicamente para actualizar el modelo geológico. En Pierina se realiza el mapeo sobre una tablet tipo Fujitsu, para lo cual, antes de comenzar con el proceso, es necesario crear un proyecto de mapeo en el GV-Mapper, cargando toda la información topográfica y geológica necesaria (cresta, TOE y puntos de referenda actualizados), así como fotos, secciones, primero se marcan los puntos en el campo al pie del talud que delimiten contactos litológicos, alteración, mineralización, estructuras y todo lo que se quiera mapear.

Antes del inicio del mapeo, se debe colocar puntos de control topográfico cada 50 m en línea recta y menor metraje en curvas de acuerdo a la topografía, el mapeo se realiza a escala 1/500, véase figura 30.

Figura 30

Mapeo de bancos



Fuente: Elaboración propia.

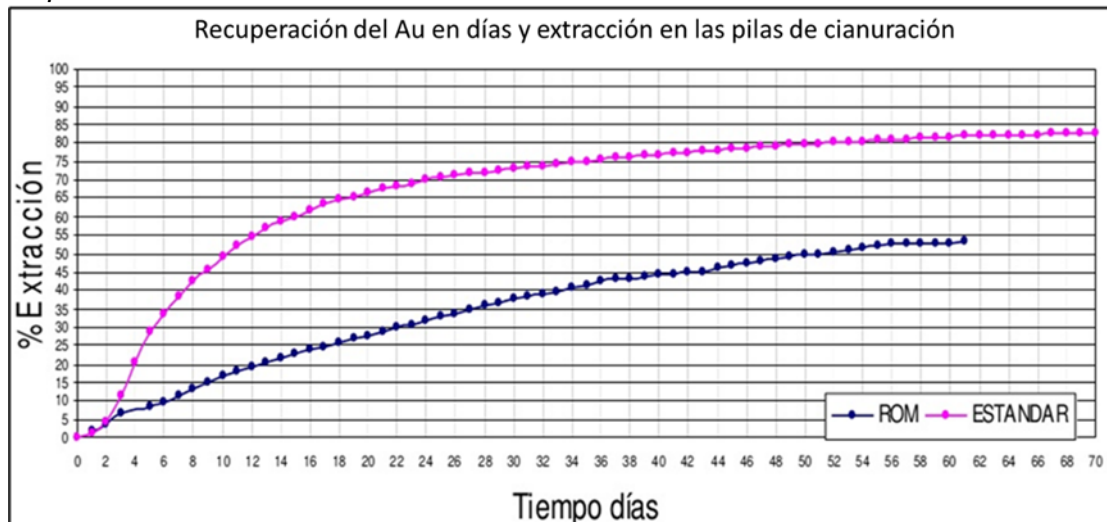
3.3 Categorización de mineral

La ley de corte de Au en mina la Pierina es de 0.20 g/t, variando según el precio del Au internacional, para abril del año 2018 el precio internacional estaba en 1,320 dólares la onza.

- Alta ley > 1 g/t, minerales en las zonas de vuggy silica, aportando el 34 % de mineral.
- Mediana ley 0,35-1 g/t, minerales en las zonas de alteración de cuarzo alunita y alunitas arcillas, aporta el 57% de mineral.
- Baja ley 0,2-0,35 g/t, mineral en la zona de alteración de alunitas arcillas, steam head, aporta el 2 % de mineral.
- Stock piles, de alta ley, aporta el 7 % de mineral.
- ROM, mineral que no pasa por el proceso de chancado, este mineral es enviado directo al pad para evitar el sobre costo, tiene una ley de Au que oscila entre 0,12-0,20 g/t la recuperación de Au en planta es del 55 % y es el doble de tiempo (2 meses aproximadamente), véase Figura 31.

Figura 31

Recuperación del Au



Fuente: Mina Pierina (2005)

3.4 Investigaciones

3.4.1 Procesos

El área de procesos recibe el mineral proveniente del tajo, una vez puesto el mineral en las celdas de riego se realiza la cianuración y después de un mes se obtiene la barra dore, esta área de procesos es responsable de:

- Laboratorio químico: análisis de las muestras
- Geometalurgia: caracterización mineralógica
- Stock de mineral: realización del blending
- Chancado primario y secundario: granulometría de la roca permisible, menor a 1.5 pulgadas para las celdas de riego
- Faja transportadora: transporte del mineral hacia el ore bing
- Ore Bing: es una tolva de forma cilíndrica, donde se deposita el mineral de la faja transportadora, este ore bing opera mediante un sistema electrónico, llenando de mineral a los camiones de acarreo para trasladarlos a las celdas de riego

3.4.1.1 Laboratorio químico. Los resultados del análisis de las muestras de control, así como los resultados obtenidos del análisis de laboratorio, demuestran que el Sistema de Control de Calidad (QA/QC) empleado en las fases de muestreo de mineral y

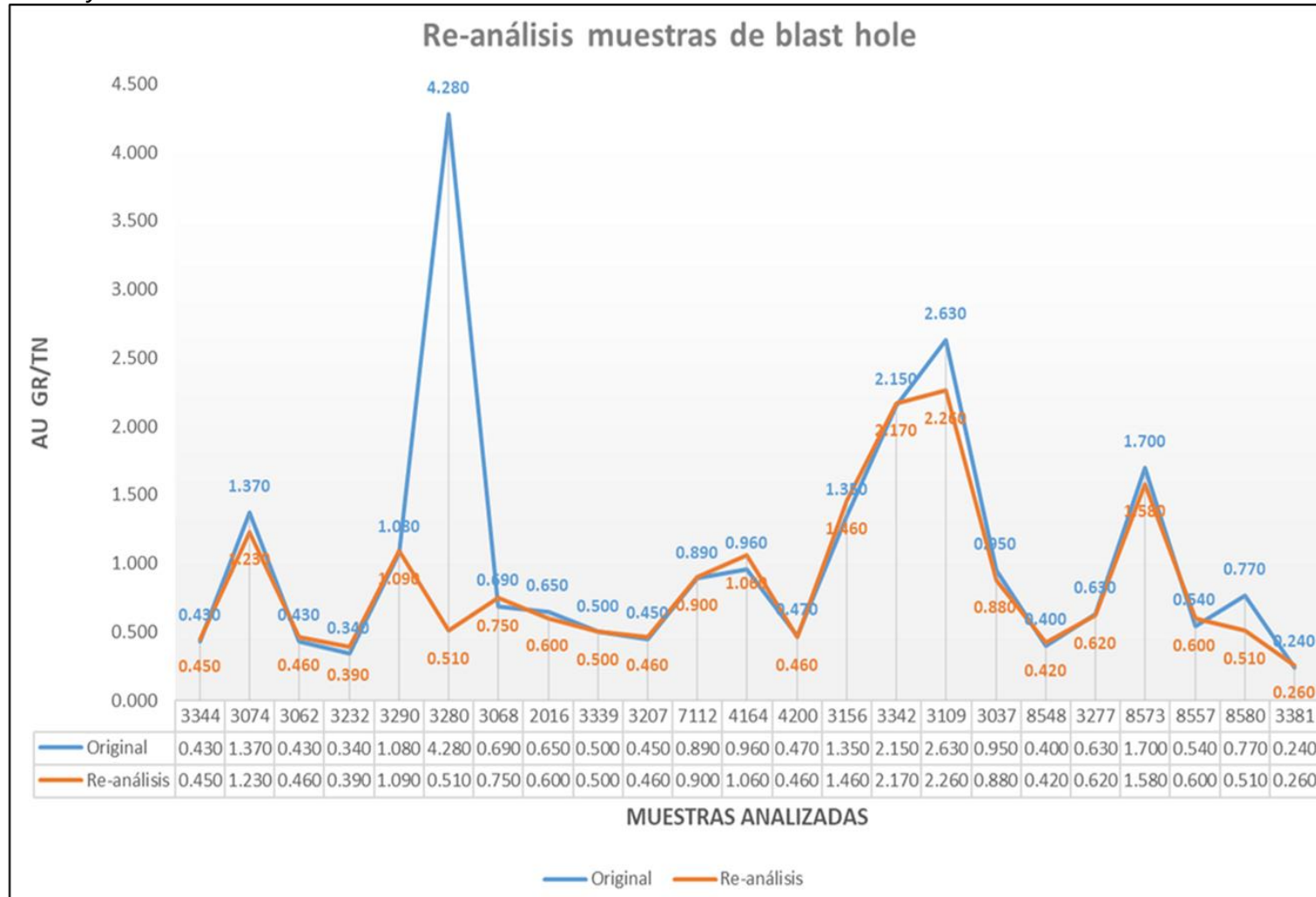
en los procesos de análisis del laboratorio en la mina Pierina son altamente confiables.

Para ello se realizaron muchos procesos de control:

- Error fortuito: error que se comete en forma casual por falla humana que siempre existe y es frecuente, se pide la repetición del análisis en el mismo laboratorio.
- Error sistemático: es aquel error que genera desviación en el mismo sentido. Para poder comprobar, se envía duplicados a otro laboratorio y se compara resultados.
- Verificación de la humedad: las muestras húmedas se ponen al horno un tiempo de aproximado 1–2 horas (120° a 150°c).
- Preparación de Muestras: reducir de tamaño en promedio de $\frac{3}{4}$ ", realizando operaciones de tamizado, chancado, cuarteo y pulverizado; hasta obtener un pasante > 95 % a malla -200. Oliveros (2008).
- Tamizado y Chancado: la finalidad es evitar que los finos ingresen a la etapa de chancado, aumentando en este procedimiento su capacidad y eficacia.
- Tamizado de la muestra por malla $\frac{1}{4}$ " : el tamiz este acoplado a una chancadora de quijada, el producto pasante está listo para ser cuarteado. El producto no pasante, se lleva ala chancadora de quijada (abertura de $\frac{1}{4}$ ") para ser triturada y luego se une con la muestra pasante.
- Antes de triturar el mineral: el operador debe limpiar la chancadora, triturando piedra estéril (cuarzo $\frac{1}{2}$ "), sin valores de Au y Ag.
- Errores en los reportes de leyes: los resultados se entregan a las 24 horas de haber entregado la muestra en laboratorio, la muestra 3280 reportó 4,28 g/t en Au, el reanálisis la misma muestra reportó 0,51 g/t, obteniendo una diferencia del 839 %, siendo el límite permisible del 10 %, de ahí la importancia de la realización del QA/QC constantemente entre el análisis y reanálisis de las muestras y controles. Véase figura 32.
- A pesar de llevar muchos controles en el proceso, siempre existe errores en los resultados.

Figura 32

Reporte de análisis y reanálisis del Au



Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.2 Geometalurgia. En los últimos años de explotación en la mina Pierina (2015-2019), se fue profundizando el minado en el tajo (bancos por debajo del nivel 3900), donde la mineralización está más asociada a sulfuros primarios y se conservó de esa manera porque la oxidación supergénica no llegó a ese punto por estar el nivel freático de fluidos meteóricos superficiales más alto.

La caracterización mineralógica de las muestras estudiadas definió tres tipos de mineralización. óxidos – mixtos – sulfuros. Canchaya (2012)

- Oxido: Hay una buena recuperación en Au de este mineral, 78% de recuperación en Au.
- Mixto: la recuperación de este mineral es muy variable y dependerá del grado de oxidación de los sulfuros primarios.
- Sulfuros: las recuperaciones de este mineral son bajas, menores a 50% de recuperación en Au. pero con altas leyes (mayor a 1 g/t en Au).

En los últimos años de producción, la cantidad de ion sulfuro debe ser menor a 2.5 % (S²⁻ < 2,5 %), mayor a 2.5 % se coloca en un stock, porque no pueden ir a las celdas de riego por el consumo excesivo de cianuro y cal, también se tiene baja recuperación de Au. Véase Tabla 3

Tabla 3

Cota de mineralización

COTA	MINERALIZACIÓN	% (S ²⁻)
3920 - 4200	Óxidos	< 1.5%
3850 - 3920	Mixto	1.5% - 2.5%
< 3850	Sulfuros	>2.5%

Fuente: Tomado de Canchaya (2012)

3.4.1.3 Stock de mineral. El stock de mineral tiene una capacidad para 50,000 toneladas métricas. El blending se realiza entre:

- Mineral alta ley y mineral de baja ley.
- Mineral fino y húmedo con el mineral grueso y seco.

La proporción del mineral de buena calidad con el de mala calidad es de 3 a 1. Por ningún motivo, se acepta el blending en los frentes de minado o en la misma chancadora primaria. Se debe evitar en todo momento la presencia de arcillas, y materia orgánica.

3.4.1.4 Chancadora. En chancadora primaria la roca es reducida hasta menos de 15,2 cm, luego este material es trasladado a través de una faja transportadora hacia la chancadora secundaria, donde se reduce hasta menos de 3,8 cm, en estos dos procesos de chancado el mineral debe cumplir ciertas características:

- Rocas menores a 0.70 m de diámetro.
- Sin presencia de arcilla.
- Sin presencia de materia orgánica.

Cumpliendo las características exigidas en el chancado se evitan atoros y demoras en el proceso de chancado.

En tiempos normales el promedio de tiempo en chancadora primaria es de 2,000 toneladas métricas por hora aproximadamente, en un día se tiene una producción de 50,000 toneladas métricas de mineral.

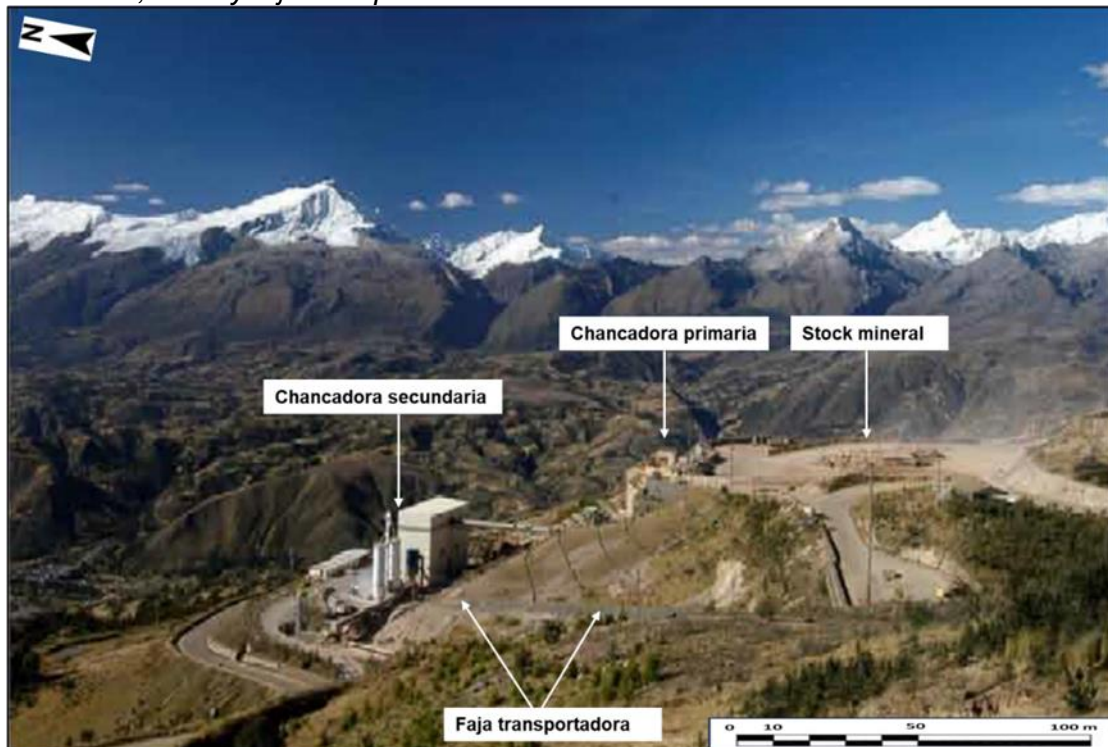
3.4.1.5 Faja transportadora. La faja transportadora de la mina Pierina tiene una longitud de 2,400 metros, inicia en chancadora secundaria transportando el mineral hasta su destino final en una tolva cilíndrica (ore bin). Transportando en promedio 2,350 toneladas métricas por hora

Esta faja es considerada como una de las de mayor inclinación en el mundo con tramos de hasta 18° de pendiente.

Véase Figura 33.

Figura 33

Chancadora, stock y faja transportadora



Fuente: Mina Pierina (2018)

3.4.1.6 Ore Bing. Es un depósito cilíndrico de gran capacidad que almacena el mineral proveniente de la faja transportadora, este depósito mediante sistema electrónico permite dosificar el carguío de los camiones mineros, que luego transportan hacia el sistema de lixiviación en pilas para la siguiente etapa del proceso.

3.4.1.7 Lixiviación. En la Figura 34 se observa mineral transportado por volquetes que luego se depositan en las celdas de lixiviación.

Aplicando el sistema de riego por goteo, se aplica una solución lixivante de cianuro de sodio disuelta en agua para separar el oro y la plata contenidos en el mineral mediante un sistema de tuberías, la solución (Solución rica en oro y plata), recolectada del fondo de la base del sistema de lixiviación en pilas, es enviada hacia la planta de procesos.

Las pozas del sistema de lixiviación, son estructuras especialmente diseñadas para trabajar con productos químicos y evitar la contaminación del suelo, ya que se construye con capas de geomembrana, constituidas de plásticos y material aislante de muy alta resistencia.

Figura 34

Celdas de lixiviación



Fuente: Mina Pierina (2018)

3.4.2 Operaciones mina

El área de operaciones mina produce 150,000 toneladas métricas diarias, donde la relación de mineral a desmonte es de 1 a 3 respectivamente, esta área tiene a su cargo:

- Operaciones (equipos auxiliares y de acarreo).
- Perforación y voladura.
- Dispatch.

3.4.2.1 Operaciones. A diario se tienen reuniones de coordinaciones entre las áreas de operaciones, planeamiento, perforación y voladura, geología, coordinando y llegando a los siguientes acuerdos:

- Los polígonos de mineral y desmonte a minar, bien delimitados para evitar confusiones.

- El blending del mineral se realiza en el stock con la presencia de un tractor, no en los frentes de minado, evitándose atoros en chancado primario por mineral contaminado con arcillas, humedad y materia orgánica.
- Los camiones de acarreo deben tener claro el destino de su carga para evitar errores.
- En polígonos de mineral irregulares, se presentan secciones geológicas perpendicular al minado, para solicitar el apoyo de tractores y tener un minado selectivo.
- Los camiones de acarreo deben tener bien calibrados su GPS, para poder mantener el nivel del piso, minar correctamente los límites de los polígonos de mineral y desmonte. Véase Figura 35.
- En épocas de lluvias la neblina es densa, por ejemplo, ha ocurrido situaciones en las que no se tiene visibilidad a menos de 1 m, por lo tanto, en esas circunstancias no se puede ver los banderines que limitan los polígonos; en estas situaciones extremas el cargador frontal tiene que tener el GPS muy bien calibrado, evitándose errores de minado.
- Capacitación constante por el área de geología al personal de conductores de cargadores frontal y tractores, para conocimientos básicos de alteración, mineralización y puedan minimizar la dilución.
- Preparación de plataformas para perforación de blast hole.
- Voladura del siguiente día en los diferentes bancos, comunicando a todas las áreas para el despeje del personal a la hora de voladura.

Figura 35

Carguío en frentes de minado



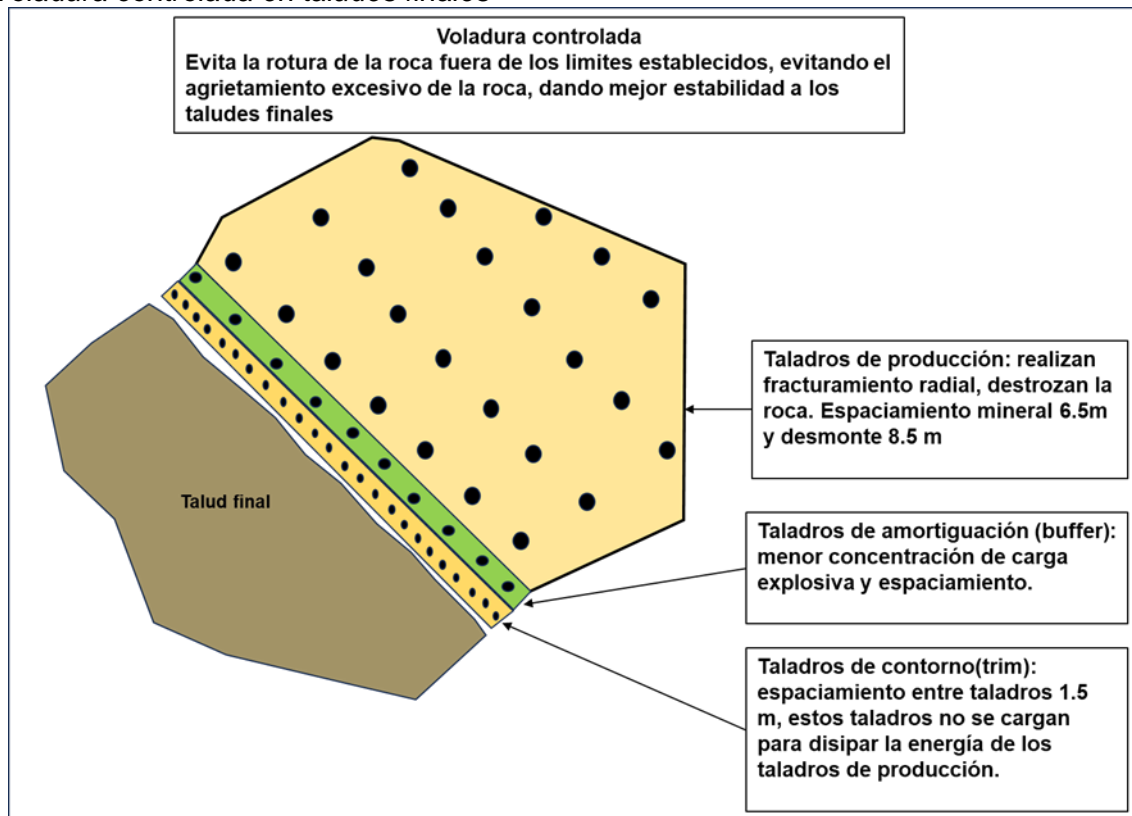
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.2 Voladura. El jefe de perforación y voladura también participa diariamente de las reuniones operativas, obteniendo acuerdos y dejando en claro lo siguiente:

- Los responsables de la voladura no pueden cargar los taladros de perforación si geología no entrega el plano de durezas de los blast holes.
- Se entrega un plano estructural al área de voladura para tener en cuenta los contactos geológicos, fallas y fracturas, así poder evitar la disipación de la carga, donde la energía se escapa por estas fallas, fracturas y poder fragmentar adecuadamente la roca, sin dañar el talud.
- En los taludes finales, se tiene que realizar una voladura controlada con la finalidad de cuidar los taludes y la fragmentación de la roca sea lo óptimo y no tener problemas en la chancadora primaria, en las últimas filas la más cercana al talud se disminuye la cantidad de explosivos por taladro y el espaciamiento entre taladro, para mantener la estabilidad del talud. Véase Figura 36.

Figura 36

Voladura controlada en taludes finales



Fuente: Elaboración propia.

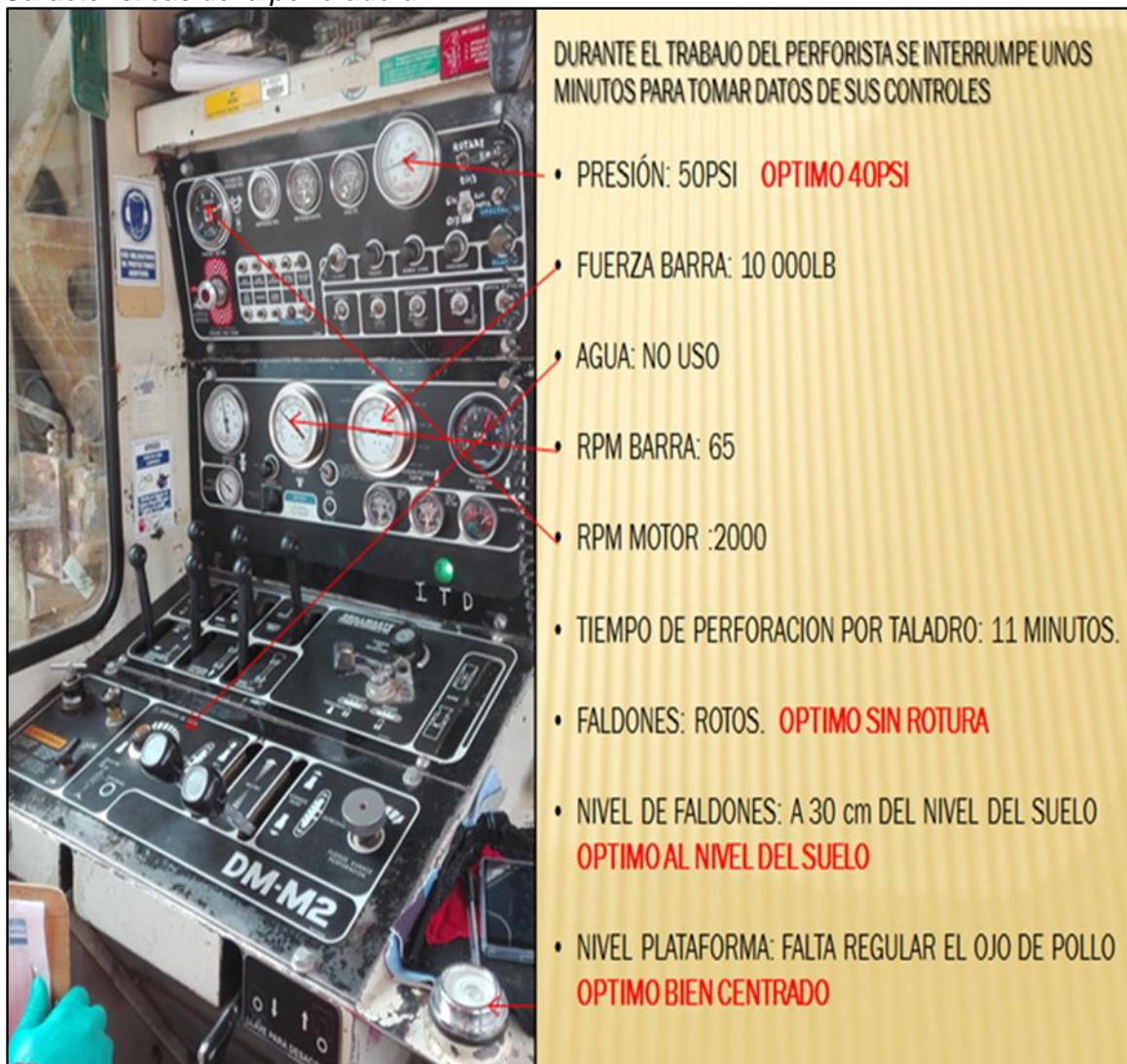
3.4.2.3 Perforación. El jefe de perforación y voladura también participa diariamente de las reuniones, obteniendo acuerdos y dejando en claro lo siguiente:

- Se realiza un control de plataformas a perforar, dicha plataforma debe estar nivelado horizontalmente.
- La perforadora debe estar en buenas condiciones, faldones en buen estado y al nivel del piso para evitar la pérdida de finos, presión adecuada, rpm de la barra, fuerza de la barra, el mínimo uso de agua. Véase figura 37.
- Nadie puede ingresar a la malla de perforación con camioneta, para evitar la destrucción de las muestras, se debe adicionar zona de parqueo con su letrero.
- Por cada alteración el tiempo de perforación es diferente, seguidamente se detallan los tiempos cuando se perforan 10 m:
 - Vuggy silica: el tiempo de demora en perforar esta alteración es de 45 minutos en promedio, normalmente es un terreno muy duro y fracturado.

- Cuarzo alunita: el tiempo de demora en perforar esta alteración es de 15-20 minutos.
- Alunitas arcillas: el tiempo de demora en perforar esta alteración es de 10 minutos.
- Argílico: el tiempo de demora en perforar esta alteración es de 8 minutos.

Figura 37

Características de la perforadora



Fuente: Mina Pierina (2015)

3.4.2.4 Dispatch. Al jefe de dispatch se le entrega los acuerdos diariamente entre las áreas involucradas, dejando en claro lo siguiente:

- Calibración constante al equipo de GPS, muchas veces difiere con el GPS de los camiones de acarreo.

- La comunicación a los conductores de los camiones, respecto a los destinos del mineral y desmonte debe ser efectiva y coordinada.
- Estar atentos en la pantalla de los televisores, confirmando el destino correcto del mineral y desmonte.

3.4.3 Servicios técnicos

Esta área de soporte técnico tiene a su cargo a:

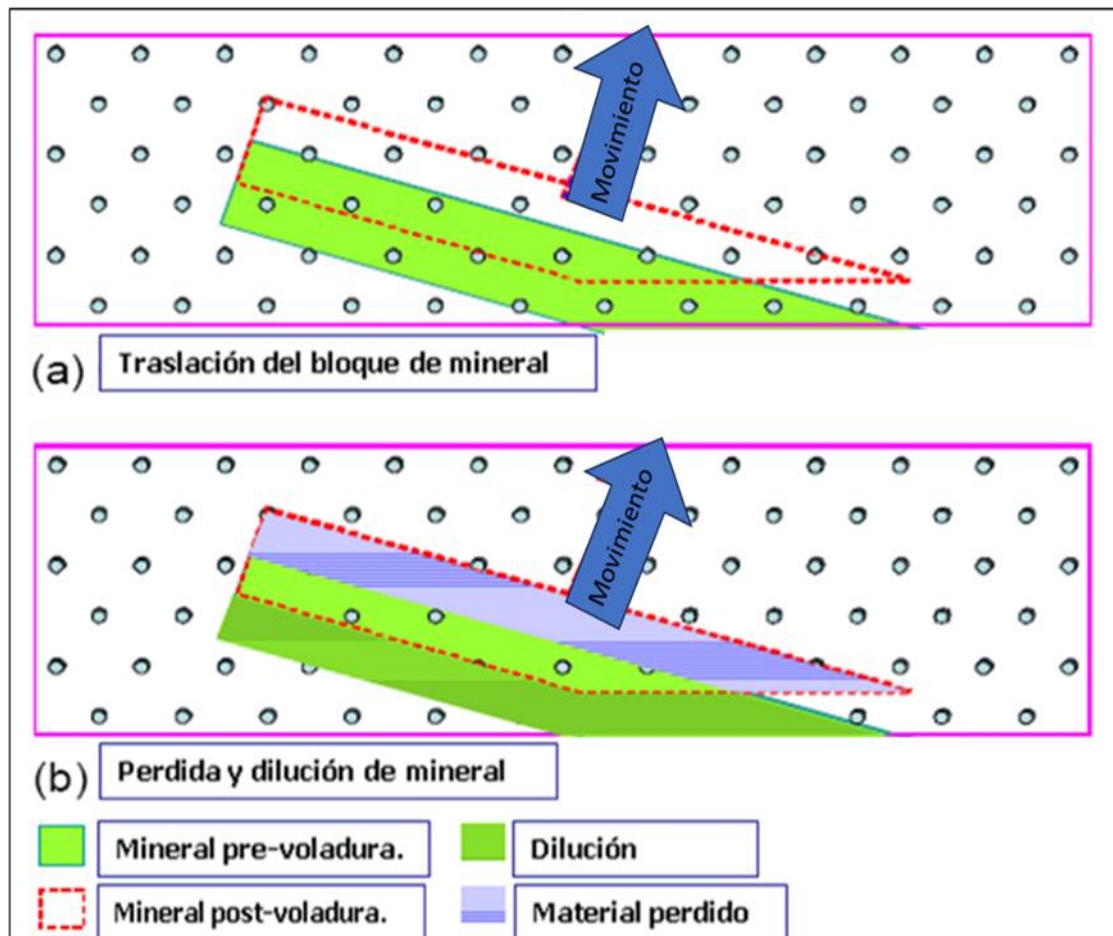
- Topografía.
- Geología.
- Geotecnia
- Hidrología
- Planeamiento

3.4.3.1 Topografía. Se encarga de los marcados de polígonos de mineral y desmonte en campo, marcado de vías principales y auxiliares, colocar malla de perforación, seguidamente se detallan las actividades:

- El marcado de polígonos de mineral y desmonte tiene que realizarse de inmediato, después de la voladura.
- El desplazamiento del mineral o desmonte por efecto de la voladura, tiene que ser marcado en el tajo para evitar pérdida y dilución de mineral. Véase figura 38.
- Constante calibración de los equipos topográficos para evitar desfase de datos reales, así como el replanteo topográfico de las crestas, pisos, rampas, tanto en mina como en las pilas de lixiviación.
- El control topográfico de pisos en los frentes de avance debe realizarse diariamente al inicio de cada guardia para evitar la dilución del mineral.
- Al generar la malla de perforación, en especial en los quiebres de las voladuras realizadas se debe tener mucho cuidado para tener una continuidad exacta.
- Los espaciamientos entre taladros deben ser homogéneos, sabiendo que para mineral los taladros tienen una separación de 6.5 m y para los taladros de desmonte 8.5 m.

Figura 38

Desplazamiento del polígono por voladura



Fuente: Mina Pierina (2018)

3.4.3.2 Geotecnia. Cuando el minado se va realizar en las paredes finales de los taludes, se debe realizar una voladura controlada. Geología debe realizar el cartografiado de dicho talud para proyectar las fallas y fracturas al polígono a disparar véase Figura 39, con el fin de evitar:

- Bloques de gran dimensión y tener que hacer una segunda voladura en estos bloques de roca.
- Evitar que la energía del disparo se disipe por estas fallas y fracturas y como consecuencia no se tiene una fragmentación adecuada de la roca.

Figura 39

Falla proyectada del talud al polígono a disparar



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.3 Planeamiento. En la reunión diaria de operaciones, lidera el jefe de planeamiento de turno, quedando en acuerdos de minado, voladura, disposición del equipo de acarreo, todo ello plasmado en un plano. Véase Figura 40.

Esta área desde inicio de la producción (1998) realizaba el muestreo de blast hole, cometiendo muchos errores y posteriormente con la inclusión del geólogo en el muestreo se tuvo mejoras significativas, a continuación, se detallan los errores y las soluciones, como:

- Mezclaban el mineral y desmonte en una sola muestra del mismo taladro, considerando que a las celdas de riego solo va el mineral, dando valores irreales de leyes de Au.

Posteriormente paso el muestreo a cargo del área de Geología corrigiéndose el error y muestreándose solamente el mineral.

- Solo se aperturaba un canal en cada muestra, cuando paso al área de Geología con nuevos estudios geoestadístico se demostró que la muestra más representativa es con dos canales.
- No se realizaba el QA/QC, cuando paso al área de geología se comenzó a realizar dicho estudio.
- Los canales de muestreo no se realizaban correctamente, en manos de Geología se realizaron varios cambios como quitar la sobre perforación, el canal hasta la base de la plataforma.

La reconciliación mensual se ajustó mejor con la intervención del área de Geología en la creación de polígonos de mineral y desmonte, mínimas diferencias entre el largo plazo y corto plazo.

Características de planeamiento de minado:

- Planeamiento de mediano y largo plazo
- Criterio de planificación
- Tipos de material
- Avance vertical

- Planeamiento de corto plazo
- Control de mineral
- Avance vertical
- Control de producción
- Sistema de despacho-Dispatch de MMS
- Integración de información

Parámetros operativos:

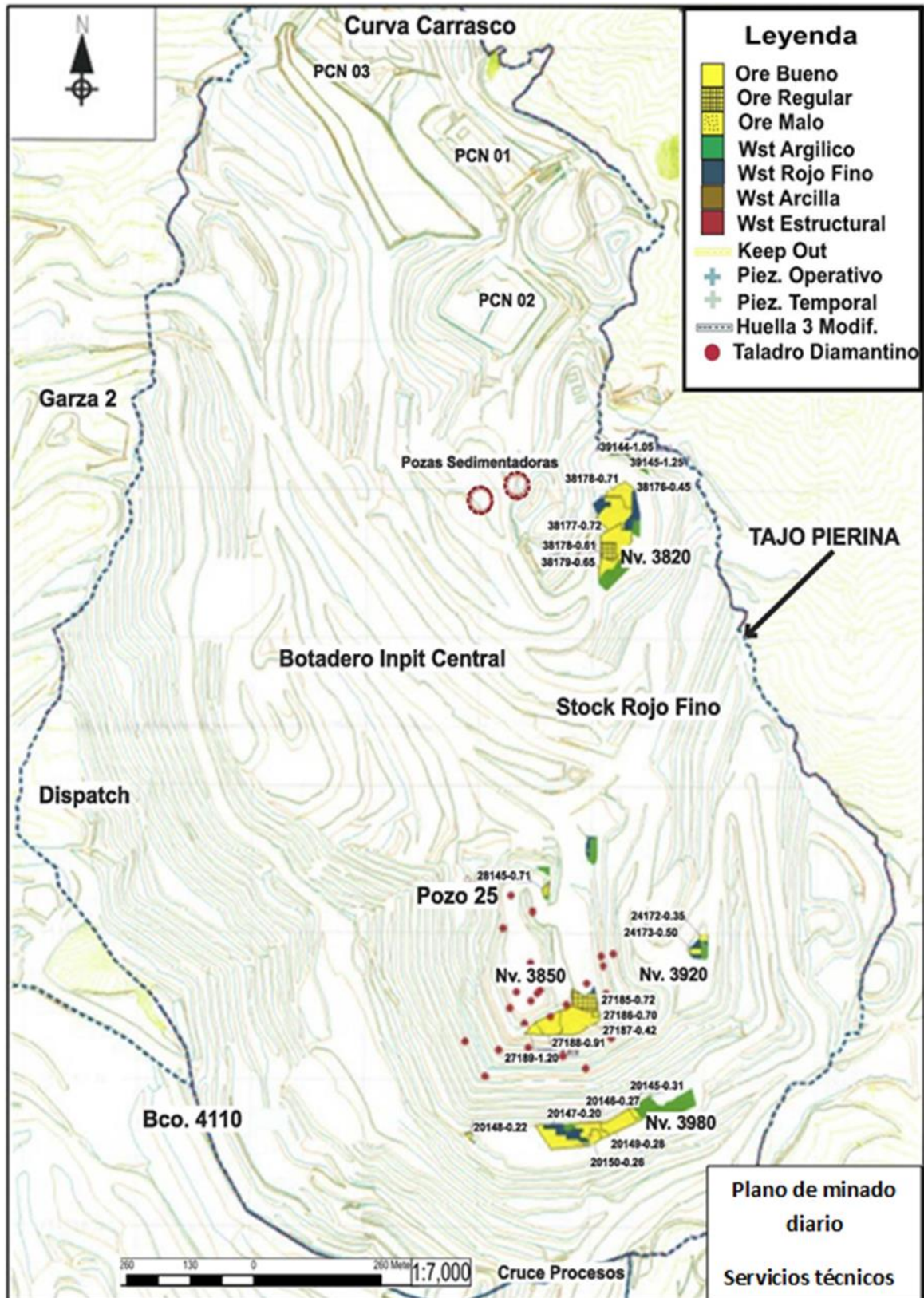
- Gradiente de rampas, 8 %
- Rampa apertura de banco, 45.0 m
- Malla de perforación de mineral, 6.5 m
- Malla de perforación de desmonte, 8.5 m

Principales parámetros (Largo plazo):

- Talud final, 32-50°
- Talud de banco, 67°
- Altura de banco, 10,0 m
- Ancho de berma de banco, 7,7-10,2 m
- Bermas de seguridad, 2,25 m.

Figura 40

Plan de minado



Fuente: Mina Pierina (2018).

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Caracterización mineralógica y lito estructural del yacimiento

A continuación, se detalla las mejoras realizadas en el control de calidad del Au, con resultados positivos en:

- Control de finos en la perforación de blast hole
- Muestreo primario
- Generación de polígonos de mineral
- Minado selectivo
- Dispatch.
- Calidad de mineral en las celdas de riego

4.1.1 Control de finos en la perforación de blast hole

El mineral fino (0.002 mm - 0.05 mm tamaño de las partículas) en las muestras de blast hole son las que más ley de Au reportan, en todo momento se debe evitar la pérdida de mineral fino, para ello se supervisa la plataforma a perforar, maquina perforadora de detritus, tiempo de demora por taladro según su alteración, muestra representativa sin contaminantes, teniendo las siguientes consideraciones:

- El tamaño de las partículas se describe como gravas, arena y finos, para su clasificación y relación con la ley de Au. Véase Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación de granulometría

GRAVAS	ARENA	FINOS
> 2 mm	0.05 mm - 2 mm	0.002 mm - 0.05 mm

Fuente: Elaborado por Vector (2005)

- La plataforma de perforación debe estar nivelada horizontalmente, véase Figura 41, para ello debe usarse tractor y moto niveladora, así se asegura que los faldones de la maquina lleguen al nivel del suelo y se evita la pérdida de finos al momento de la perforación.

Figura 41

Terreno horizontal para la perforación de blast hole



Fuente: Elaboración propia.

- Evitar en todo momento el uso de agua en la perforación, al lavar el fino no saldrá a superficie y como tal no será muestreada.
- El tiempo de perforación tiene un rango establecido por cada alteración, para ello se lleva un registro diario del tiempo estimado por taladro. Véase tabla 5.

Tabla 5

Tiempo de perforación según la alteración

ALTERACIÓN	TIEMPO DE PERFORACIÓN (MINUTOS)
Vuggy silica	45
Cuarzo alunita	15-20
Sílice arcillas	< 15
Alunitas arcillas	< 10
Argílico	< 8

Fuente: Elaboración propia.

- Control de los faldones (geo membrana que recubre la parte perimetral del tubo de perforación) de la máquina perforadora de detritus tanto interno como externo, estos faldones no deben tener roturas y parchados, deben llegar al nivel del piso, evitando la pérdida de finos. Véase Figura 42.

Figura 42

Pérdida de finos



Fuente: Elaboración propia.

- En los últimos años de minado el 80 % del mineral existente se encuentra en la alteración cuarzo alunita, se realizaron estudios respecto al mineral fino en esta alteración, concluyendo que la mayor ley de Au se concentra en el mineral fino, seguido de la arena y gravas respectivamente. De ahí la importancia de recuperar al máximo los finos, véase Tabla 6 y Figura 43.

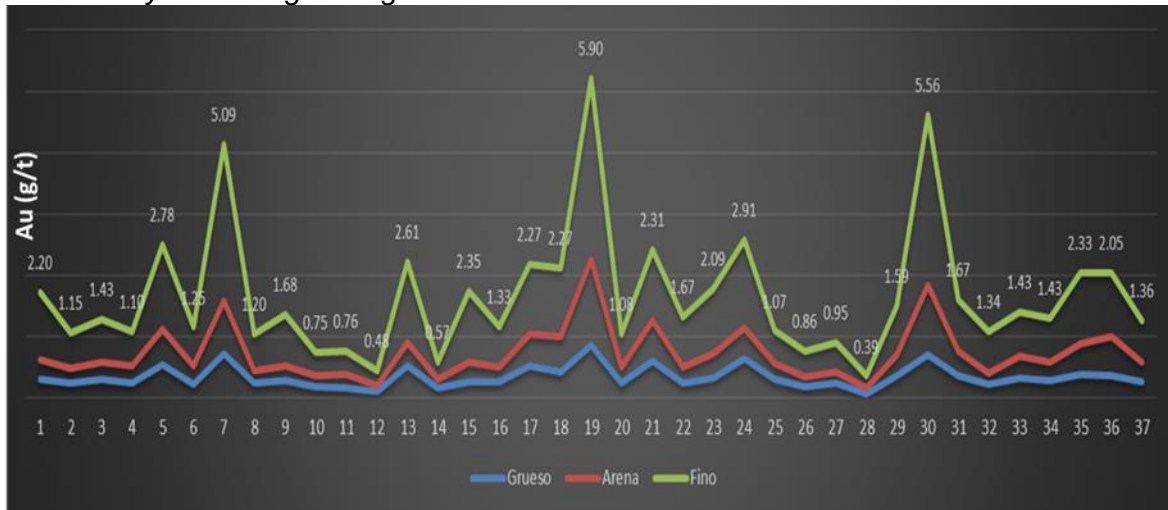
Tabla 6*Leyes de Au (g/t) según la granulometría*

N° MUESTRA	GRUESO	ARENA	FINO
1	0.59	0.66	2.20
2	0.47	0.49	1.15
3	0.60	0.54	1.43
4	0.49	0.56	1.10
5	1.09	1.14	2.78
6	0.43	0.62	1.25
7	1.43	1.74	5.09
8	0.46	0.42	1.20
9	0.57	0.45	1.68
10	0.34	0.39	0.75
11	0.33	0.43	0.76
12	0.20	0.19	0.48
13	1.05	0.76	2.61
14	0.31	0.28	0.57
15	0.50	0.64	2.35
16	0.52	0.46	1.33
17	1.02	1.05	2.27
18	0.82	1.16	2.27
19	1.71	2.81	5.90
20	0.46	0.54	1.08
21	1.20	1.33	2.31
22	0.48	0.50	1.67
23	0.63	0.82	2.09
24	1.29	0.97	2.91
25	0.61	0.50	1.07
26	0.35	0.32	0.86
27	0.46	0.39	0.95
28	0.12	0.19	0.39
29	0.72	0.67	1.59
30	1.38	2.30	5.56
31	0.73	0.80	1.67
32	0.43	0.38	1.34
33	0.65	0.70	1.43
34	0.55	0.62	1.43
35	0.74	1.01	2.33
36	0.73	1.28	2.05
37	0.51	0.64	1.36

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43

Relación ley de Au según su granulometría en cuarzo alunita



Fuente: Elaboración propia.

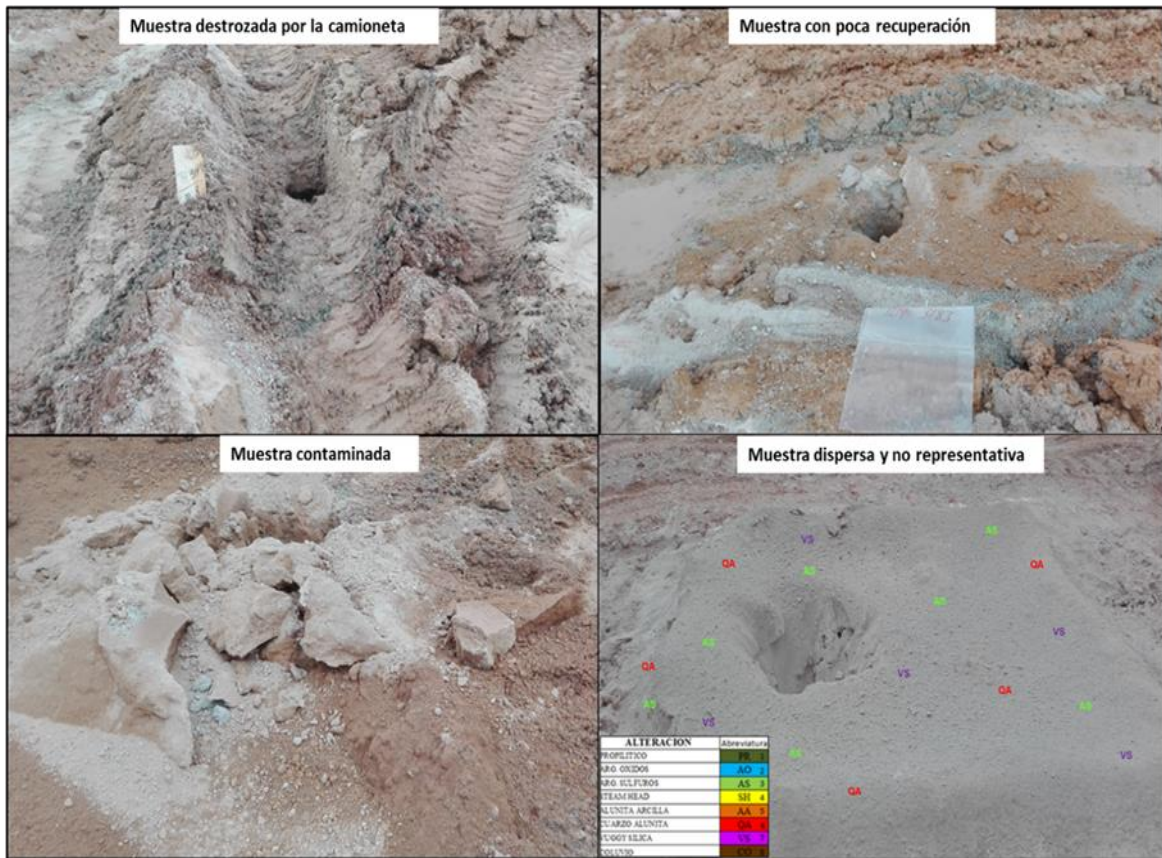
4.1.2 Muestreo primario

Las muestras obtenidas del blast hole son representativas, sin dispersión, sin contaminación, a continuación, se detallan las características de las muestras de blast hole:

- Características de las muestras sin control, antes de implementar las mejoras en el muestreo primario:
 - Muestras dispersas y no representativas
 - Pérdida de finos por terrenos irregulares
 - Pérdida de finos por no respetar el tiempo de perforación por cada taladro según la alteración indicada
 - Agua en los taladros, por una mayor producción
 - Muestras contaminadas con aceite de la máquina perforadora
 - Muestras pisoteadas por las camionetas antes del muestreo
 - Falta de nivelación de la maquina perforadora
 - Poca recuperación de muestra
 - Muestra contaminada de otro taladro por falta de limpieza de los faldones. Véase Figura 44.

Figura 44

Muestras antes de los controles



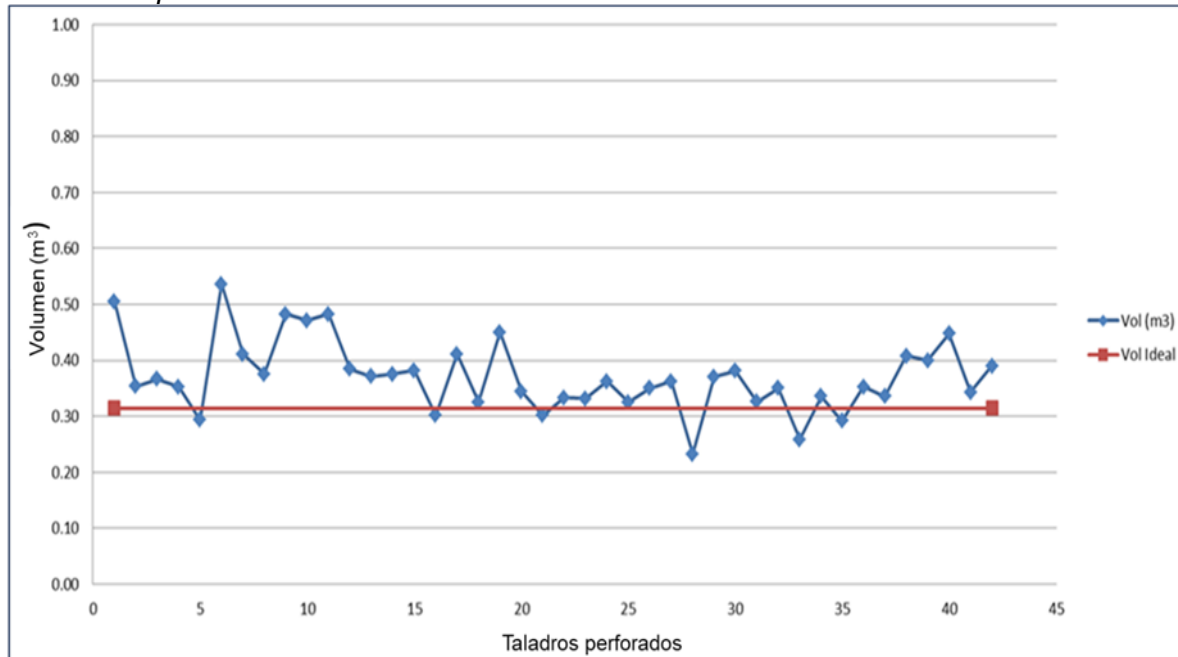
Fuente: Elaboración propia.

- Muestras con control, se tuvieron que corregir muchos errores en el muestreo primario, realizando mejoras como:
 - Al realizar el muestreo se debe evitar muestrear la sobre perforación
 - Cuando existen mezclas de mineral y desmonte en la muestra, solo se muestrea el mineral
 - Control constante del tiempo de perforación por taladro
 - Limpieza constante de los faldones para evitar la contaminación
 - Prohibido el pase de camionetas a la zona de muestreo, así se evita dañar y contaminar la muestra
 - La muestra debe ser representativa y sin dispersión, para ello el volumen perforado (cilindro) debe ser igual al volumen representado en superficie (tronco de cono)

- La perforación que se realiza representa un cilindro de altura de 10 m, y un diámetro de 7 7/8 pulgadas, obteniendo un volumen de 0.31 m³. Véase Figura 45.

Figura 45

Volumen representativo de la muestra

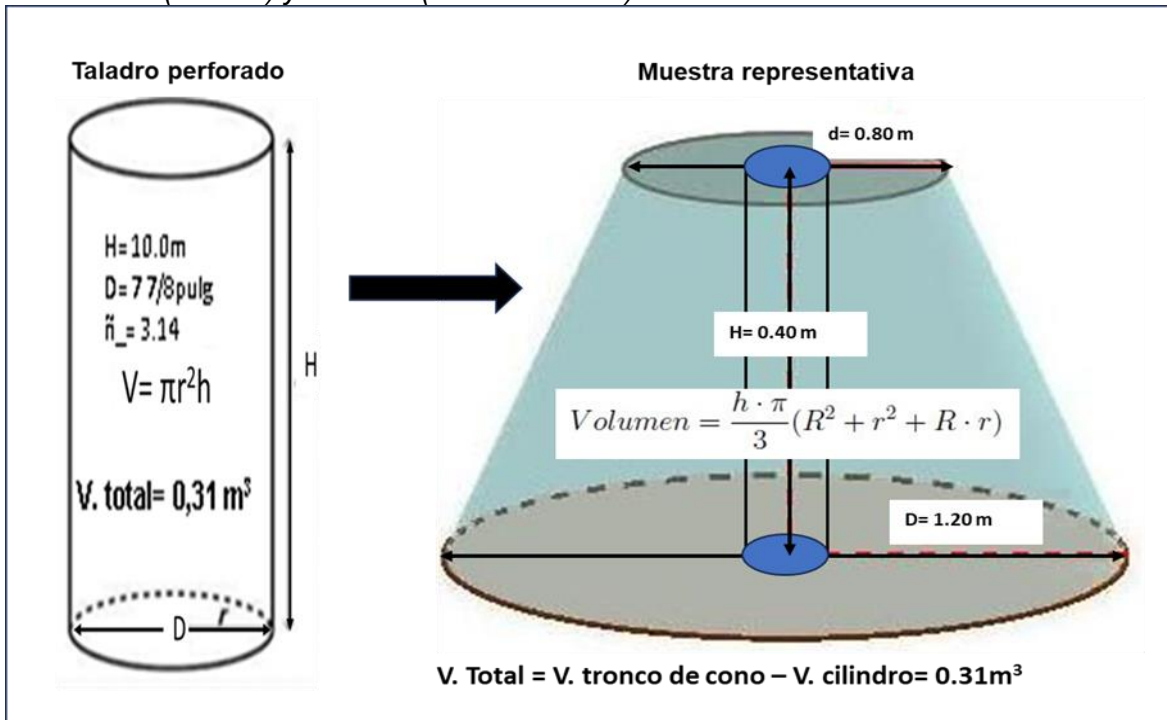


Fuente: Elaboración propia.

- La muestra obtenida por la perforación representa un tronco de cono, realizando cálculos geométricos se tiene que la altura es de 0.40 m, diámetro de la base mayor 1.20 m y el diámetro de la base menor 0.80 m, obteniendo el volumen de 0.31 m³, estos datos del tronco de cono sirven como muestra modelo para todas las perforaciones de blast hole a realizarse
- Se sabe la densidad del mineral es 2.2 gr/cm³, da como resultado 930 kg de muestra, donde solo se muestrea 7 kg, véase Figura 46.
- Planeamiento (corto plazo) programa la ley y tonelaje de Au para el mes, de los diferentes bancos a explotar, con una mejora continua en el muestreo primario se obtuvieron resultados igual a mayores en leyes de Au, respecto al programado por corto plazo. Véase Figura 47.

Figura 46

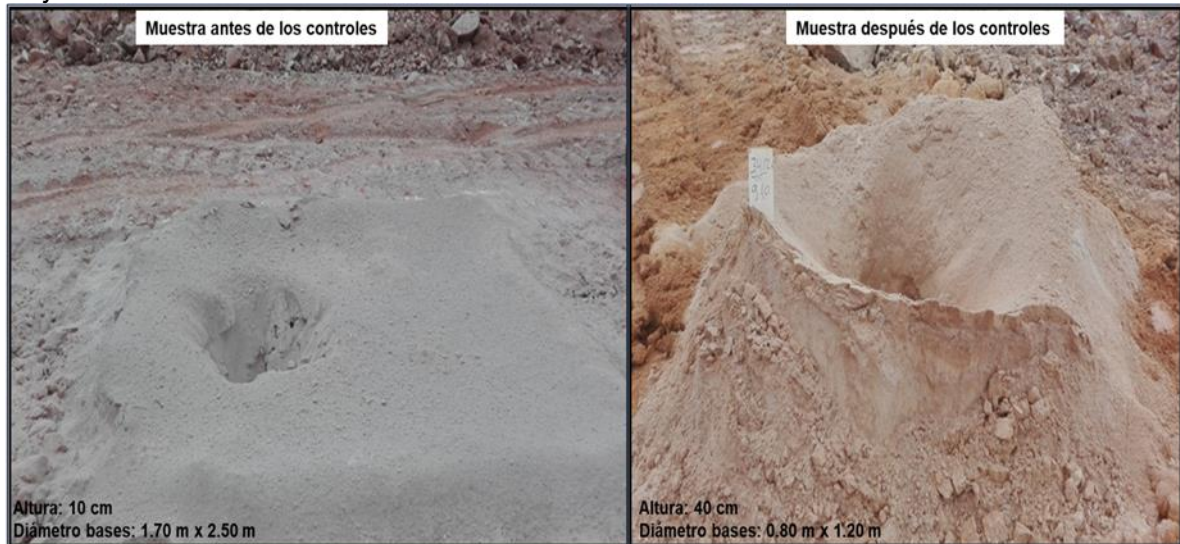
Perforación (cilindro) y muestra (tronco de cono)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

Mejoras en el muestreo



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Generación de polígonos de mineral

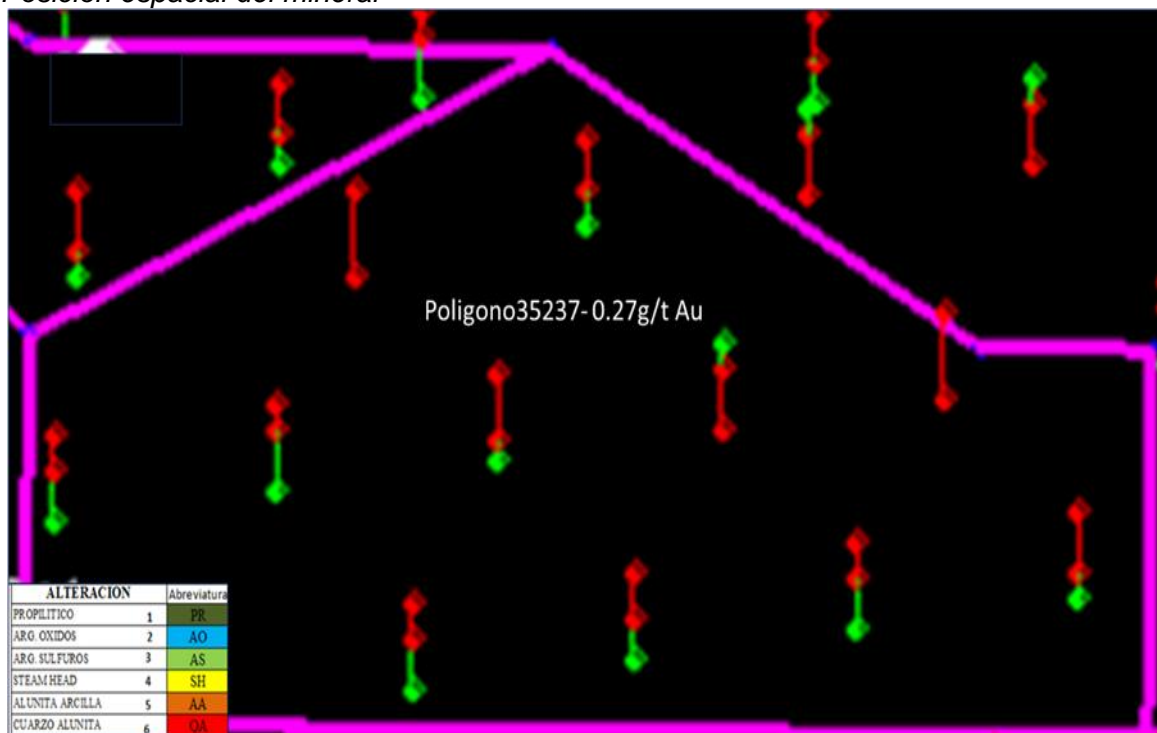
La generación de polígonos de mineral y desmonte estaba a cargo del personal de planeamiento, posteriormente el área de geología se involucró en la generación de estos polígonos, a continuación, se mencionan los aportes realizados:

Anteriormente el área de planeamiento generaba los polígonos con las leyes de Au y alteraciones proporcionadas por Geología, con la presencia del Geólogo se tienen más herramientas para la generación de polígonos como:

- Contorneo de durezas por taladro, ayuda a clasificar el tipo de mineral, mineral bueno, regular y malo
- Polígonos por la posición del mineral, cuando se realiza el muestreo se tiene combinaciones de mineral y desmonte, esta posición del mineral da una idea clara de su ubicación. En la figura 48 el polígono de mineral 35237, se observa que la mineralización está presente en la parte superior del banco, indicando que en el banco inferior gran parte está en desmonte

Figura 48

Posición espacial del mineral



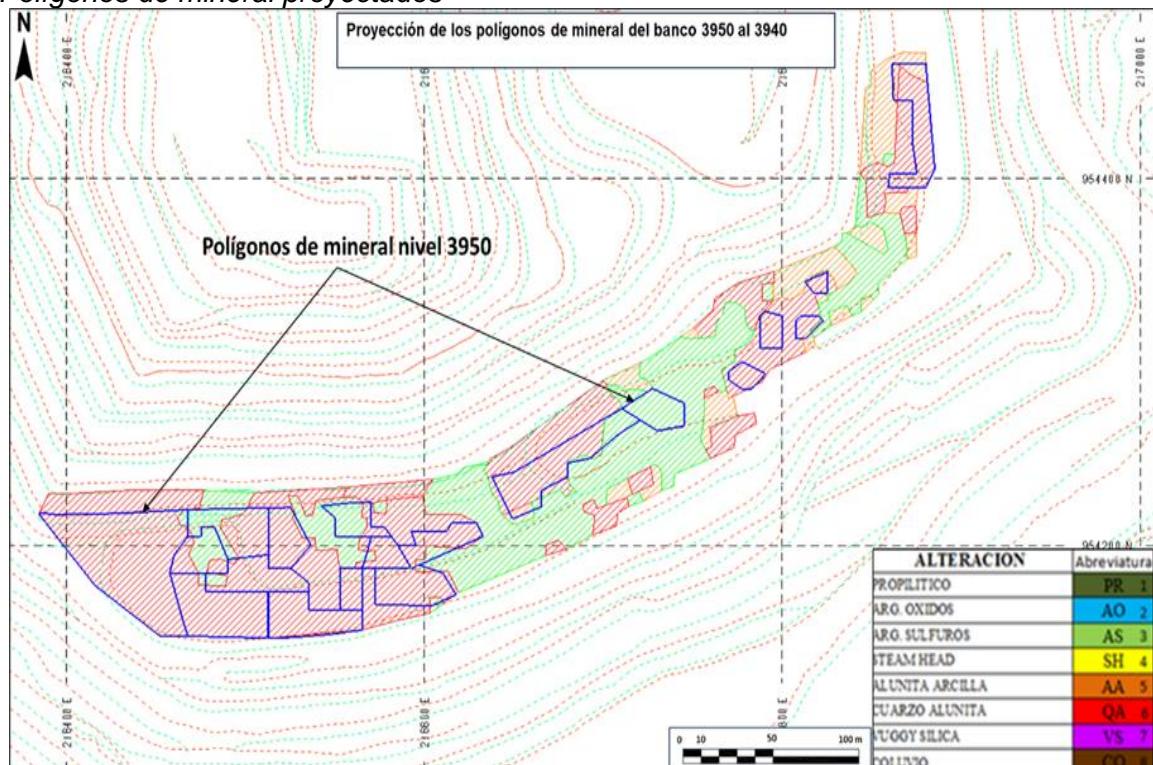
Fuente: Elaboración propia.

- Ion sulfuro (S²⁻) menor a 2.5 %, mayores a este valor el mineral no puede ir a las celdas de riego, por su baja recuperación en Au, así tenga alta ley de Au

- Muchas veces en zona argílica se reportan valores de Au, puede ser error de reporte de laboratorio químico o confusión de códigos por parte del personal de muestreo
- Los polígonos de mineral y alteración del banco superior sirven de referencia, al proyectarlo al banco que se está trabajando da una idea espacial de la mineralización. Véase Figura 49.

Figura 49

Polígonos de mineral proyectados

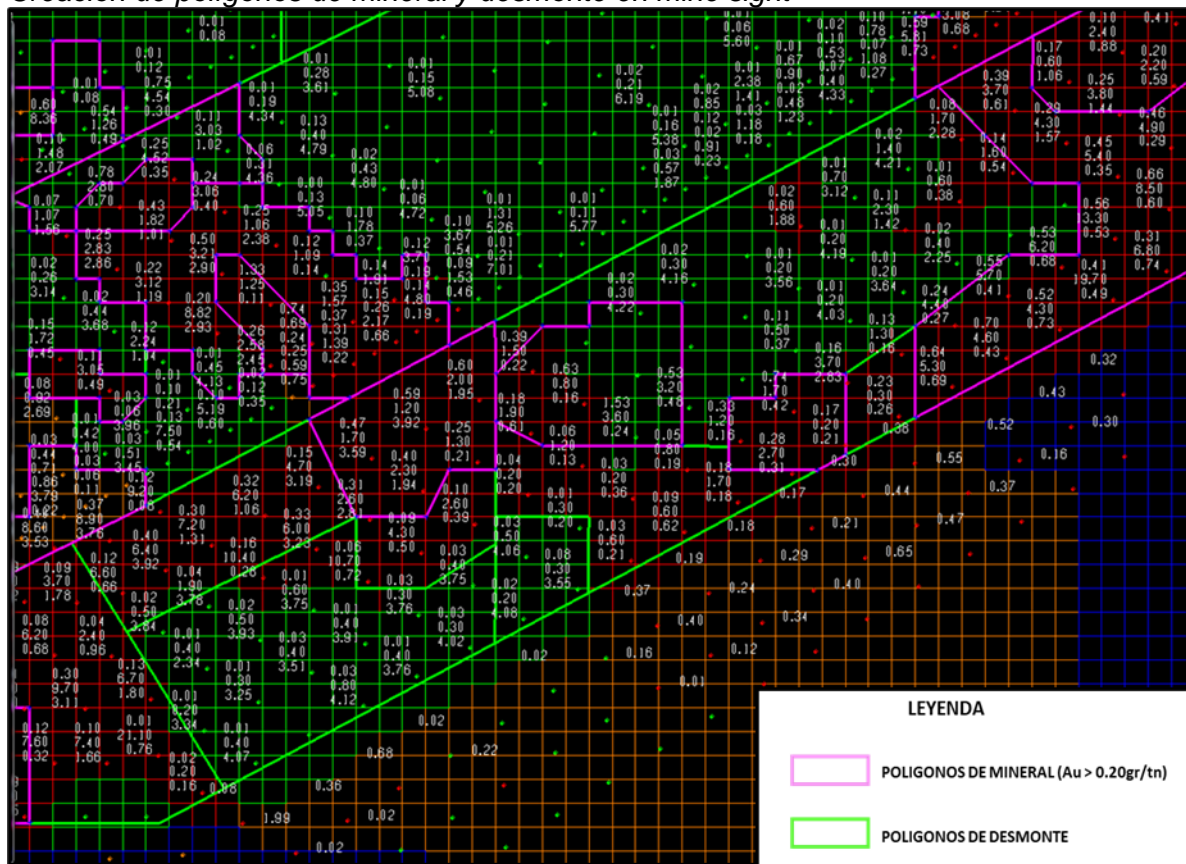


Fuente: Elaboración propia.

- Cartografiado de bancos, es una buena información cuando no se tiene información de taladros diamantinos por la zona, dando mayor soporte al polígono de mineral
- Con toda esta información adicionada se genera el polígono de mineral y desmonte en mine sight. Véase Figura 50.

Figura 50

Creación de polígonos de mineral y desmonte en mine sight



Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Minado selectivo en frentes de mineral

En los últimos años de explotación la mineralización se da en estructuras mineralizadas, donde el minado tiene que ser selectivo, cumpliendo muchas características como:

- No se debe empezar a minar, si no colocaron los banderines de polígonos en las áreas clasificadas como mineral y desmonte.
- La presencia del topógrafo en los límites de los polígonos de mineral es de suma importancia, su equipo de trabajo (GPS) tiene un error menor a 1 cm, mientras que el GPS de dispatch y camiones de acarreo tienen errores mayores a 3 m.
- En los contactos de polígonos de alta y baja ley en una misma alteración, deben tener señalización de banderines, el mineral en los polígonos de alta y baja ley son similares visualmente, colocando los banderines se evita la dilución en la ley del Au.

- Mineral malo: se considera a la alteración alunitas arcillas dureza 2.

4.1.5 Dispatch

Este sistema de control es el responsable de las rutas de los camiones de acarreo y el control de minado final de cada polígono, las características del sistema son:

- Se supervisan los reportes diarios emitidos por dispatch, para dar cumplimiento al acuerdo entre operaciones, planeamiento y geología, en la figura 52 se observa que el mineral malo de los polígonos 18355 y 18357 fue directo a chancadora primaria, cuando la orden es llevarlo al stock para su blending, estos tipos de desobediencias por parte de operaciones es sancionado de inmediato y comunicado a todas las gerencias.

Figura 52

Reporte dispatch

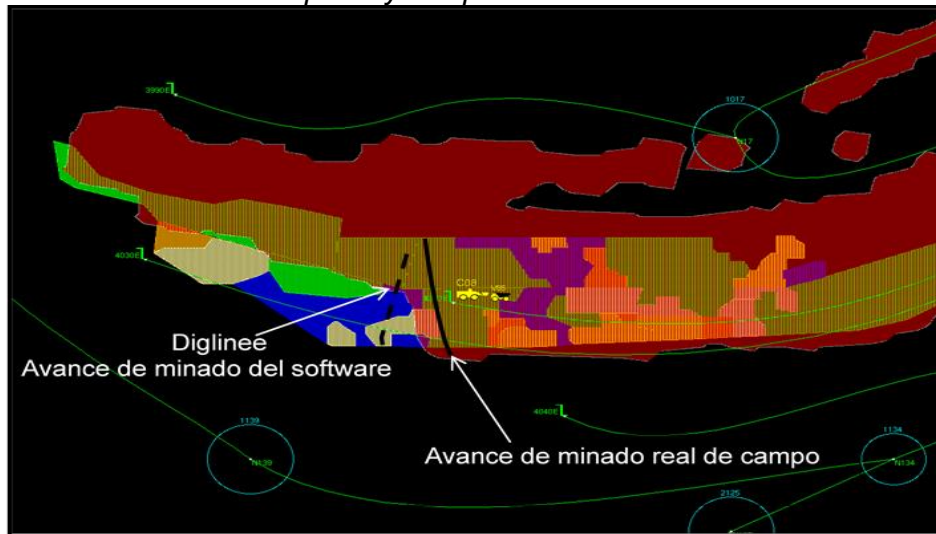
Fecha	Banco	Entregado a	Banco	Polígono	Tonelaje	Tonelaje por Mineral	Banco_A	Tipo de Mineral	Polígono_01
16/05/2016 00:00	4020E18358	CH PRIMARIA	4020E18858	E	144	4320.4	4020	Min Bueno	18858
16/05/2016 00:00	4020E18353	CH PRIMARIA	4020E18853	E	1895.4		4020	Min Bueno	18853
16/05/2016 00:00	4020E18341	CH PRIMARIA	4020E18341	E	273		4020	Min Bueno	18341
16/05/2016 00:00	4020E18359	CH PRIMARIA	4020E18859	E	1882		4020	Min Bueno	18859
16/05/2016 00:00	4020E18347	CH PRIMARIA	4020E18347	E	126		4020	Min Bueno	18347
16/05/2016 00:00	4020E18359	CHAN-1	4020E18859	E	142	428.8	4020	Min Bueno	18859
16/05/2016 00:00	4020E18353	CHAN-1	4020E18853	E	286.8		4020	Min Bueno	18853
16/05/2016 00:00	4020E18355	CH PRIMARIA	4020E18855	E	4213.4	11634.5	4020	Min Malo	18855
16/05/2016 00:00	4020E18357	CH PRIMARIA	4020E18857	E	7421.1		4020	Min Malo	18857
16/05/2016 00:00	4020E18357	CHAN-1	4020E18857	E	2688	2688	4020	Min Malo	18857
16/05/2016 00:00	4020E18842	3890-INPIT	4020E18342	E	692	692	4020	Min Bueno	18342

Fuente: Mina Pierina (2016)

- Existen diferencias de lecturas entre el GPS de los camiones y el GPS utilizado por dispatch, la calibración debe ser permanente para evitar estas diferencias y la presencia de topografía en campo es fundamental para chequear esas diferencias.
- Las lecturas del avance de minado muchas veces son distintas en la computadora y el campo. Véase Figura 53.

Figura 53

Diferencias de avance entre dispatch y campo



Fuente: Mina Pierina

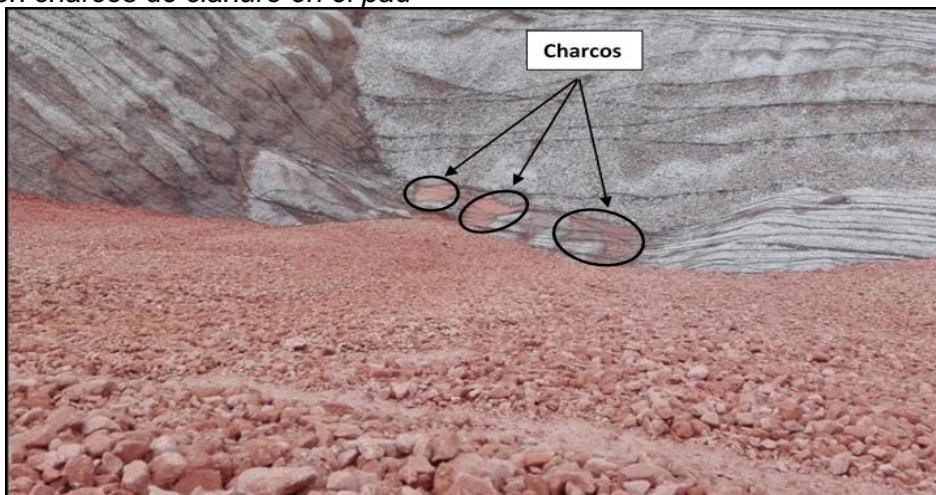
4.1.6 Celdas de mineral en el pad de lixiviación

El producto final del mineral llega a las celdas de riego, debiendo cumplir ciertas características:

- El mineral debe tener una granulometría menor a 5 cm.
- Se debe evitar la presencia de arcillas, materia orgánica y mineral fino.
- Al realizar el blending en el stock pile, la presencia de arcillas, materia orgánica, mineral húmedo y mineral muy fino pasan desapercibido, evitando que en las celdas de riego se tenga encharcamiento de cianuro. Véase Figura 54.

Figura 54

Celda con charcos de cianuro en el pad

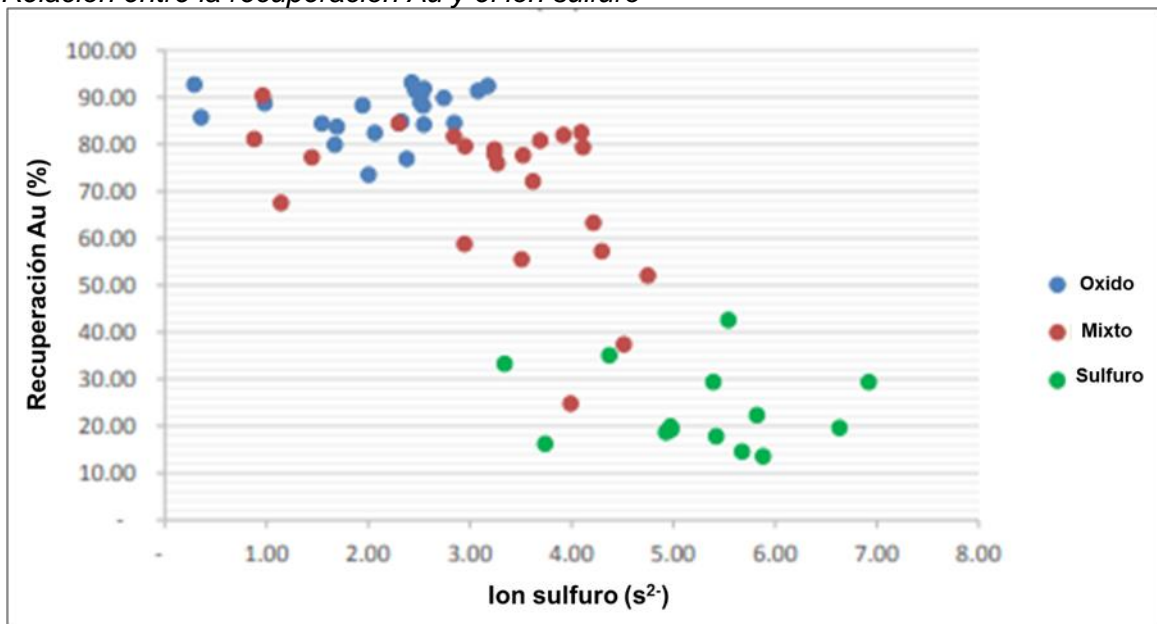


Fuente: Mina Pierina (2018)

- El geólogo de turno chequea todos los días el descargue del mineral en las celdas de riego, revisando los reportes de dispatch para asegurar que las indicaciones dadas son cumplidas adecuadamente.
- La recuperación del Au en las celdas de riego tiene una relación entre la recuperación y el ion sulfuro (S^{2-}). Véase Figura 55.

Figura 55

Relación entre la recuperación Au y el ion sulfuro



Fuente: Elaborado por Canchaya (2012)

- **Óxidos:**

Considerado del nivel 3920 hasta el nivel 4200, el oro se encuentra principalmente libre, es decir dócil a la primera cianuración.

- **En los minerales mixtos:**

Considerado del nivel 3850 hasta el nivel 3920, sin embargo, el oro en gran parte está asociado a pirita y sulfuros primarios de cobre y zinc.

- **En el caso de los sulfuros:**

Desde el nivel 3750 hasta el nivel 3850, el oro está asociado a pirita y sulfuros primarios en mayor proporción, eso justifica las bajas recuperaciones de este mineral. Véase Figura 56.

Figura 56

Niveles de mineralización en el tajo Pierina



Fuente: Elaboración propia.

4.1.7 Reconciliación

El modelo de bloques muchas veces no contempla algunos cuerpos mineralizados relacionados a controles estructurales ya que los cuerpos mineralizados frecuentemente no son interceptados por sondajes en la mayoría de casos.

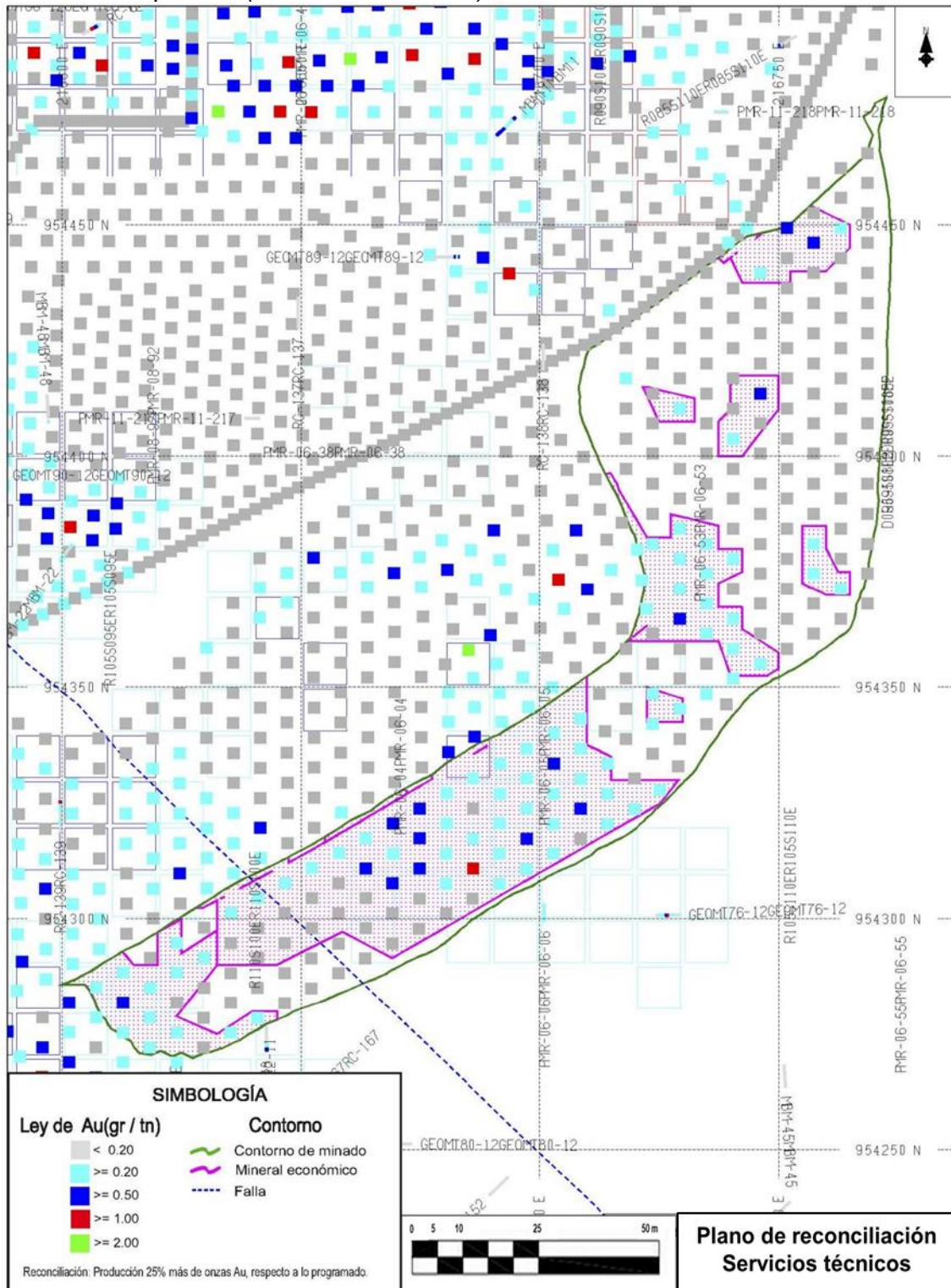
Además, el muestreo de blast hole registra leyes mayores a las leyes estimadas en el ore Reserve.

La alteración Sílice-Arcillas del modelo geológico, tiene alto grado de incertidumbre al contrastarlo con el modelo geológico de Corto plazo.

En algunos niveles predomina la alteración sílice-arcillas asociada a posibles estructuras y a bordes de cuerpos alterados a cuarzo-alunita, los cuales generan mineral regular o mineral malo en la mayoría de los casos. Del mismo modo continúan los cuerpos mineralizados con alteración variable (alunita-arcillas con argílico), los cuales presentan ley por encima del “cut off”, que por su alto grado de contaminación no se ha podido recuperar. (predominante en los niveles 3890 y 3860). Véase Figura 57.

Figura 57

Reconciliación positiva (+ 25 % onzas de Au)



Fuente: Mina Pierina (2018)

4.2 Modelo del yacimiento en la caracterización y calidad del mineral

En los últimos años de producción, la naturaleza de la mineralización, de estructuras con anchos menores de 50 m, origina falta de información en las áreas de

potencial expansión de pit, debido a que la densidad de la malla de perforación actual, no es suficiente para incorporar este tipo de mineralización, al no reportar bloques y subestiman los recursos potenciales en esta área.

La mineralización extraída y los recursos actuales existentes en el yacimiento de Pierina se distribuye en dos grandes centros mineralizados emplazados en dos zonas geográficas.

4.2.1 Mineralización norte

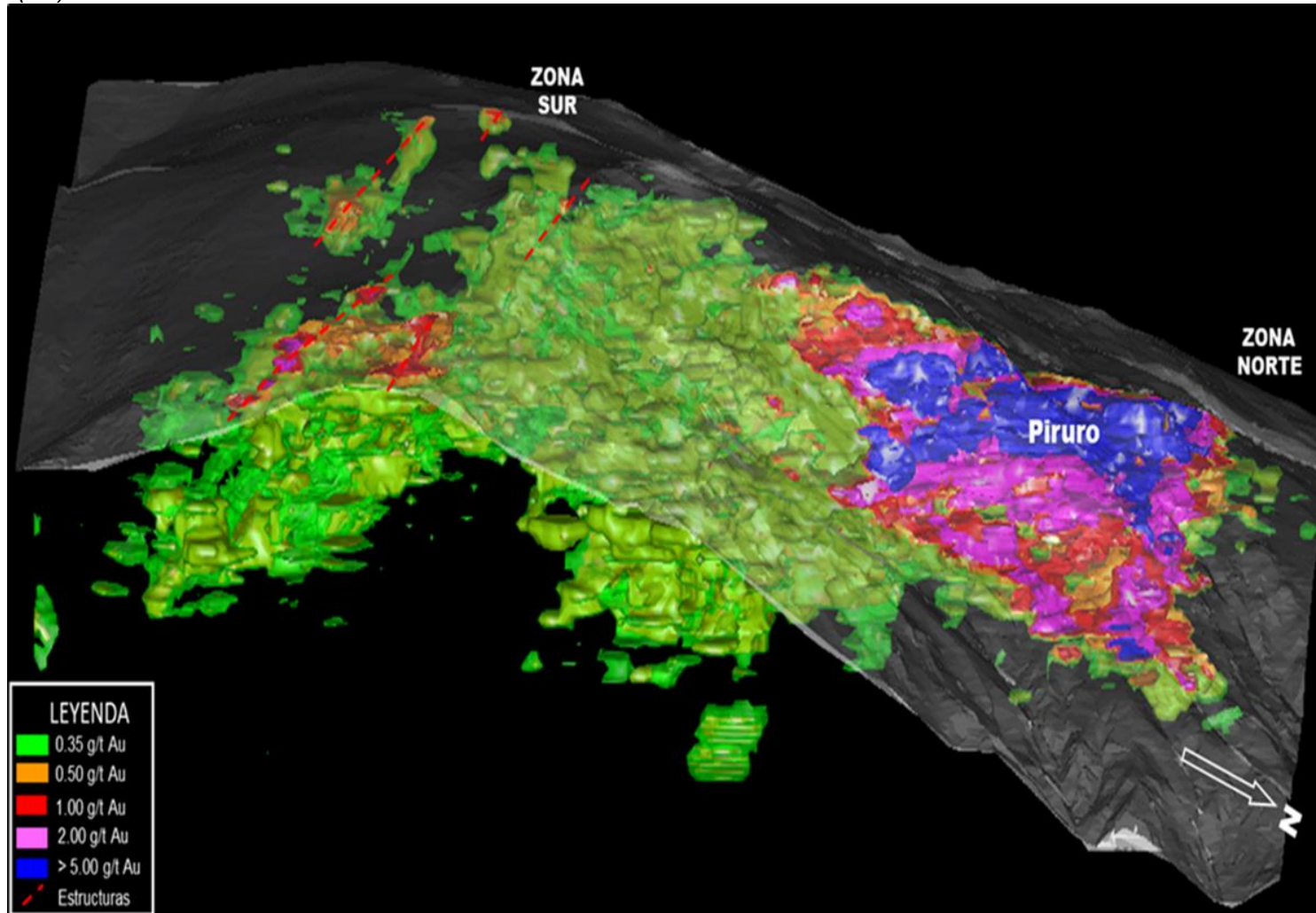
Reyes (2019), en el estudio realizado en la parte Norte de Pierina concluye de un gran cuerpo mineralizado de orientación NS denominado “Piruro”, caracterizado por su homogeneidad de alta ley promedio 3 g/t Au emplazada en un gran cuerpo síliceo relativamente homogéneo de textura vuggy.

4.2.2 Mineralización sur

Hacia la zona Sur, en general la mineralización Au- Ag presenta una complejidad tanto en la conformación geométrica de las distintas estructuras mineralizadas, como en los minerales de la alteración que contiene. La interpretación geológica, es que esta zona la mineralización de Au-Ag, ocurrió del centro hacia los sectores periféricos de alteración hidrotermal, en corredores estructurales de orientación NW-SE, algunos con estructuras ramaleadas que concentran la mineralización de alta ley (>1 g/t Au) en canales de sílice vuggy (menores a 5 m, zona oeste del tajo). Hacia los bordes de estos canales se presenta a manera de halos a la alteración sílice – alunita de ley 0,5-1 g/t Au. Más a los bordes decrece el contenido de sílice, incrementándose las arcillas con disminución gradual de los valores de Au, hasta el contacto con material argílico (zona estéril). Los corredores o franjas estructurales parten a manera de ramales del gran cuerpo central sílice vuggy y se esparcen hacia los bordes en dirección preferente NE-SW y E-W, disminuyendo gradualmente de espesor conforme se alejan de la zona central. Garay (2001). Véase Figura 58.

Figura 58

Mineralización (Au) en la mina Pierina



Fuente: Aspajo (2005).

Conclusiones

Pierina es un yacimiento epitermal de alta sulfuración de Au y Ag del tipo diseminado heterogeneo y explotado a tajo abierto en rocas volcánicas, la mineralización esta datada entre los 14 y 14.7 Ma. La mineralización de Au más importante está representada en la alteración argílica avanzada.

En Pierina las soluciones mineralizantes estuvieron ligadas a controles estructurales, mediante las fallas sub paralelas conjugadas de rumbo NW Tinyash y Roxana con azimut aproximado de 125°, buzamiento 45° hacia el SW, generando estructuras de cizalla mineralizada como Katty y Torta.

Pierina se divide en 2 zonas: zona norte llamada Piruro, cuerpo silíceo homogéneo diseminado de textura vuggy silica de alta ley en Au (> 3 g/t) de orientación N-S. Zona sur, la mineralización disminuye teniendo un control estructural NW-SE y E-W con leyes en Au (< 1g/t) en cuarzo alunita y algunas estructuras de vuggy menores a 5 m.

El zoneamiento de alteración del yacimiento por su alta concentración de Au es la Vuggy Silica, seguida de Cuarzo alunita, sílice arcillas, alunitas arcillas.

El minado en Pierina se realizó: zona de óxidos considerado desde el 3920-4200, valores de S2- < 1,5 %, con presencia de oro libre. Zona mixta considerado entre los niveles 3850-3920, valores de 1,5 % < S2- < 2,5 %, oro asociado a pirita y sulfuros primarios de cobre y zinc. Zona de sulfuros considerado entre los niveles 3850 - 3750 con valores de S2- >2,5 %, oro asociado a sulfuros primarios principalmente, estos sulfuros con leyes de Au mayores a 1 g/t Au son llevados al stock, por su baja recuperación.

El QA/QC está más direccionado al muestreo secundario (87,5 %) que al muestreo primario (12,5 %) realizado por el duplicado de muestras de campo.

El muestreo primario, una de las tareas más importantes de todo el proceso, la muestra es representativa, proporcional, sin contaminación, sin dispersión, para ello la muestra obtenida en forma de tronco de cono debe cumplir los parámetros establecidos

como diámetro mayor 1.20 m, diámetro menor 0.80 m, altura de 0.40 m. obteniéndose 930 kg del cual se muestrea 7 kg.

La generación de polígonos de mineral y desmonte, tiene como base información geológica valiosa como: alteración de blast hole. mapeo de bancos, proyección de mineralización de bancos superiores, ion sulfuro permisible, posición espacial del mineral, dureza del mineral, % de finos del mineral, QA/QC de leyes reportadas

El blending entre el mineral bueno y mineral malo, mineral regular y mineral malo, dicha mezcla se realiza en el stock con capacidad de 50 000 toneladas métricas. Mineral bueno (vuggy silica, sílice masiva y cuarzo alunita). Mineral regular (cuarzo alunita y sílice arcillas). Mineral malo (alunitas arcillas steam heat), la proporción de mezcla es de 2 a 1 respectivamente, con este blending se evita atoros en las chancadora primaria y secundaria, demoras en el proceso, charcos de cianuro en el pad que no deja percolar al cianuro.

El área de operaciones (dispatch) controla la ubicación y destino de los camiones de acarreo remotamente, el minado al 100 % de los polígonos de mineral y desmonte, el software que usa dispatch tienen errores en precisión mayor a 4 m por falta de calibración, en muchas ocasiones diluye el mineral por falta de precisión en los límites del polígono. De ahí la importancia que antes de realizar el minado deben estar bien marcados los límites de polígonos con los banderines correspondientes.

Reconciliación mensual diseñada por planeamiento, existen variaciones positivas y negativas entre el largo plazo (leyes de taladros diamantinos) y el corto plazo (muestreo primario y secundario de blast hole) en tonelaje como en leyes de Au, estas variaciones se deben a que en estos últimos años la mineralización está controlada más estructural que diseminado, de ahí el muestreo primario juega un papel preponderante.

Recomendaciones

En la perforación de blast hole, se debe evitar el uso de agua, respetar el tiempo de perforación estimada para cada alteración, los faldones de la maquina perforadora deben estar al nivel del piso, con estos controles se evita la pérdida del mineral fino.

El minado en la zona de sulfuros (banco 3750 al 3850), con valores de S₂- >2,5 %, donde el oro está asociado a sulfuros primarios principalmente, este mineral con alto contenido de sulfuros debe almacenarse en un lugar adecuado, en el futuro con nuevas técnicas de extracción se pueda recuperar este mineral de Au. Por ningún motivo puede ir a las celdas de riego por su baja recuperación en Au (< 50 %), exceso de consumo de cal y cianuro.

El QA/QC debería estar más direccionado al muestreo primario (duplicado de campo), representando el 12.5 % de todo el proceso.

El área de perforación y voladura, al momento de realizar la voladura en paredes finales, debe tener en cuenta las fallas y fracturas existentes en el talud, estas fallas se proyectan hacia la malla de perforación ubicando los taladros que pasan por estas fallas y fracturas, estos taladros ubicados se realiza un carguío especial de ANFO (explosivo compuesto de nitrato de amonio y combustible derivado del petróleo), así se evita la disipación de la carga, donde la energía podría escapar por estas fallas y fracturas, como consecuencia no fragmenta adecuadamente la roca creando tamaños excesivos y evitando daños en el talud final.

Los geólogos deben ser los responsables en generar los polígonos de mineral y desmonte por tener más criterio de las características del mineral, el conocimiento de su especialidad garantiza el uso del criterio geológico, en mineralogía, lito estructural, mapeo, proyección de mineral de los bancos superiores, reporte de leyes Au verificadas, ubicación del mineral espacialmente.

El desplazamiento del mineral a la hora de la voladura debe tener un mayor estudio, para poder cuantificar el movimiento de materiales después de voladura, calcular la

dilución, pérdida de mineral y minimizar dichos eventos para optimizar el minado, la recuperación del Au y el beneficio económico dentro de la operación

Operaciones mina (Dispatch) debe calibrar y actualizar periódicamente el software que usa, así como los camiones de acarreo, el Gps que usan reporta errores mayores a 4 m, bien calibrado se minimiza los errores de los límites de minado de mineral y desmonte, no se debe minar si no se tiene marcado los banderines de mineral en campo.

El área de procesos debe participar en las reuniones de operaciones, para tener conocimiento de los polígonos a minar con características geo metalúrgicas como: oxido, mixto y sulfuros, características del mineral: bueno, regular y malo.

El modelo de bloques establecido en mina Pierina es para una mineralización diseminada, en los últimos años la mineralización se da en estructuras, los taladros realizados muchas veces no interceptan estas estructuras, se recomiendan adicionar taladros en estas zonas sin información para ajustar el modelo.

El precio del Au en el mercado internacional es variable, en 1998 inicio de la explotación de mina Pierina la onza de Au costaba 280 dólares, en el 2025 la onza de Au cuesta mayor a 3 000 dólares. Por lo tanto, en la zona de botaderos se encuentra mineral de Au con leyes menores a 0.40 g/t Au. Se recomienda recuperar los miles de onzas de Au almacenadas en dicho botadero.

Referencias bibliográficas

- Alfaro, M. (2002). *Introducción al muestreo minero*. Santiago de Chile: Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.
- Bringas, F. (2022). *Beneficios económicos del qa/qc en el muestreo y análisis para la estimación de recursos del proyecto Quecher Main-Cajamarca*.
- Cáceres, G. (2015). *Estudio de validación de muestreo de blasthole en el yacimiento lagunas norte-distrito de Quiruvilca, Provincia de Santiago de Chuco Departamento de la Libertad*.
- Canchaya, S. (2010) "QA/QC": *¿REALIDAD O FANTASÍA? compañía de minas Buenaventura SAA. Lima-Perú*.
- Cerpa, L., Bissig, T., Kyser, K., McEwan, C., Macassi, A., & Rios, H. (2013). *Lithologic controls on mineralization at the Lagunas Norte high-sulfidation epithermal gold deposit, northern Peru*. *mineralium deposita*, 48(5), 653-673.
- Ccapa, D. (2019). *Procesos de operación ore control en el yacimiento Porfido-Skarn de la mina Antapaccay Compañía Glencore-Cusco-Perú*.
- Chávez, L., Navarro, A., Rodríguez, F. y Martiarena, R. (2010). *Estratigrafía volcánica del Grupo Calipuy (volcanismo Cenozoico)-sector norte del segmento Cordillera Negra, región Ancash*.
- Condori, C. (2015). *Perforación diamantina, muestreo y mapeo geológico del prospecto Tantamaco Corani-Carabaya-Puno-Perú*.
- Hedenquist, J., Arribas, A., y Gonzalez, E. (2000). *Exploración por depósitos epitermales de Oro*. *SEG Reviews*, 13.
- Manrique, E. (2010). *Geología estructural del neógeno en la cordillera negra, implicancias en el origen y estabilidad de taludes del yacimiento aurífero epitermal de alta sulfuración: Pierina*.
- Pineda, D. (2023). *Formulación del aseguramiento y control de calidad en las labores de exploración y explotación de la mina el gran Porvenir del Líbano, Tolima*.

- Pineda, C. (2000). *Sistema de control de minerales para operaciones auríferas a tajo abierto mina Pierina*.
- Rivas, J. (2018). *Control Geológico en la dilución del mineral*.
- Robador A. (2017). *Los mapas geológicos*.
- Segura, C. y Michell, C. (2019). *Análisis del método de muestreo de detritos de los taladros para voladura y control de envío de mineral en la Mina Justa, San Juan de Marconas-Nasca-Ica* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Mayor de San Marcos).
- Silva, R. (2007). "Gestión de la optimización y control de la fragmentación del mineral en el proceso de minado y beneficio de la mina Pierina" Minera Barrick Misquichilca SA UEA Pierina.
- Sironvalle, M. (2002). *Introducción al muestreo minero*. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, Santiago, Chile.
- Strusievicz, O. (2000). *New Ar-Ar age data for igneous rocks and associated hydrothermal alteration in the Callejon de Huaylas area, Ancash, Peru: an integrated model for the igneous and metallogenic activity across the Cordillera Negra and Cordillera Blanca*. Report for Minera ABX Exploraciones SA.
- Torres, V. (2018). *Beneficio de un sistema de control de mineral*.
- Wilson, J., Reyes, L., y Garayar, J. (1995). *Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari: hojas 17-h, 17-i, 18-h, 18-i, 19-gy 19-i*. INGEMMET.