

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE
TALUD SUR-OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA
CUAJONE-MOQUEGUA-2020**

PRESENTADO POR:

Br. HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE

OLLACHICA

Br. WILBER SIVANA VARGAS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

MGT. EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA

CUSCO-PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "Evaluación Geológica y geotécnica de la estabilidad de talud sur-este de la Fase 6B2 del Fondo de la mina Cuzzone - Moquegua - 2020"

presentado por: Wilber Sivana Vargas con DNI Nro.: 45209668

presentado por: Hernán Edwin Callorwise Alarcón con DNI Nro.: 44571443

para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEÓLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

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

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

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

Cusco, 12 de Febrero de 2024



Firma

Post firma: Edison Santiago Mattos Oseda

Nro. de DNI: 23.853.084

ORCID del Asesor: 0000-0002-3236-025X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:307876894

NOMBRE DEL TRABAJO

**Evaluacion Geologica Geotecnica de la E
stabilidad de Talud Sur-Oeste de la Fase
6B2 del fondo de la**

AUTOR

Ccalloquispe H.- Sivana W.

RECUENTO DE PALABRAS

37041 Words

RECUENTO DE CARACTERES

205933 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

198 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.5MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 20, 2024 6:24 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 20, 2024 6:26 PM GMT-5**● 10% de similitud general**

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

- 10% Base de datos de Internet

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Material bibliográfico
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)



DEDICATORIA.

Dedico a mis padres Juan Esteban y Adelaida para mis hermanos y hermanas, también dedico para la luz de mis ojos mi pequeña Luceli Alizee y a mi esposa por haberme apoyado e incentivado a alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a dios por haberme dado salud y lograr mis objetivos bendiciendo siempre a mi familia.

Dedico a mis hermanos y a mis padres por ser un apoyo siempre junto a mi esposa y a mi hija motivándome siempre a ser mejor.

A los profesores de la universidad y a mis amigos que me formaron en este proceso, compartiendo sus conocimientos y sus experiencias Vividas en el campo profesional y laboral, quienes me motivaron a realizar esta investigación.

Atte. Ccalloquispe Ollachica Hernan Edwin.



DEDICATORIA.

A mis queridos padres: Claudio y Marcela,
con respeto y amor por si indesmayable
apoyo para lograr mis objetivos y
aspiraciones a hermanos y hermanas, a mi
esposa por haberme apoyado e incentivado a
alcanzar mis objetivos.

Atte. Wilber Sivana Vargas.

AGRADECIMIENTOS.

Primero mi agradecimiento infinito a Dios
por cuidar siempre de mí y de mi familia y
por todo lo que me ha dado.

En segundo lugar, expreso mi
agradecimiento a todos los docentes y
compañeros de la escuela profesional de
ingeniería geológica, que verdaderamente
aportaron sus conocimientos y sus
experiencias vividas en el campo laboral
durante mi formación profesional.

En tercer lugar, deseo expresar mi gratitud a
mis compañeros de trabajo por su aliento y
apoyo condicional, y a todas las personas
que directa o indirectamente contribuyen de
alguna manera para que este trabajo de
investigación pudiera ser realizado.



RESUMEN

El presente trabajo surge de la necesidad de resolver problemas que presentan relacionados a la inestabilidad de talud en los diferentes bancos de cada fase en la mina Cuajone al Sur-Oeste, se investigó con un diseño experimental donde se observan temas importantes relacionados a este como son: La caracterización geotécnica y el análisis geológico, identificando los diferentes fallas estructurales y hacer el control en los diferentes niveles de cada banco, para lo cual se involucra los trabajos en campo laboratorio y gabinete, en trabajo de campo se realizan mapeos geológicos caracterización del macizo rocoso por ventanas y testigos, toma de muestras de rocas para la realización de ensayos de laboratorio y análisis e interpretación de los resultados. Dentro de la caracterización geotécnica, mejorar la estabilidad de talud al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua. La estimación de la cantidad de material desplazado, para los análisis de estabilidad fueron usados tres métodos de equilibrio límite como Bishop simplificado, Jambu y Fellenius. Lo cual se realiza una revisión de los métodos para macizos rocosos fracturados se aplican el criterio de Hoek-Brown para la caracterización geotécnica de RQD, RMR y GSI, de acuerdo a la orientación de las estructuras, para la caracterización de rocas competentes en los diferentes bancos al Sur-Oeste de la fase 6B2 mina Cuajone. El análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite es para un modelo de falla estructural típicos en el talud. En condiciones estáticas es igual a un factor de seguridad de 0 y en condiciones pseudo estáticos el factor de seguridad es 0 en la sección A-A' con una carga sísmica de 0.15 cm/s², y para sección B-B' en condiciones estática 0 y en pseudo estática 0, con una carga sísmica de 0.16 cm/s², estos valores son aceptables debido a la continua caída de bloques grandes de las partes altas hacia el pie del talud. En la investigación realizada al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo



de la mina Cuajone-Moquegua se llegó a la conclusión general de que la evaluación geológica y geotécnica incide en la estabilidad de talud en una correlación negativa entre media y considerable, es decir se implementó las características geotécnicas presentes en el talud sur-oeste están condicionadas a las características geológicas, estructurales de los macizos rocosos. Con los resultados podemos así continuar con la operación de minado y planes de proyectos de voladura y con la extracción del mineral del fondo mina fase 5 y fase 6b2; habiendo eliminado las condiciones inseguras de la zona.

Palabras Clave: Rampa, Pie del banco o toe, cresta del banco, fricción interna, coeficiente sísmico, riolita porfíritica, falla.



ÍNDICE

1. RESUMEN	7
2. CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	15
2.1. INTRODUCCIÓN.	15
2.2. UBICACIÓN.....	16
2.3. ACCESIBILIDAD.	17
2.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	20
2.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	20
2.4.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
2.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.	22
2.6. OBJETIVOS DE ESTUDIO.....	23
2.6.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
2.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	23
2.7. HIPÓTESIS.....	24
2.7.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	24
2.7.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	24
2.8. VARIABLES.	24
2.8.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.	24
2.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	25



2.9.	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	25
2.9.1.	MÉTODO CIENTÍFICO.....	25
2.10.	CLIMA.....	26
2.11.	MARCO TEÓRICO.....	27
2.11.1.	MARCO REFERENCIAL.....	27
2.11.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	36
3.	CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA.....	49
3.1.	GENERALIDADES.....	49
3.1.1.	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	49
3.1.2.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	54
4.	CAPITULO III: UNIDADES GEOLÓGICAS Y ESTRATIGRÁFICAS.....	57
4.1.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	57
4.1.1.	GRUPO TOQUEPALA.....	58
4.1.2.	FORMACIÓN MOQUEGUA.....	61
4.1.3.	VOLCANICO HUAYLILLAS.....	63
4.1.4.	FORMACIÓN CHUNTACALA.....	64
4.1.5.	FORMACIÓN CAPILLUNE.....	64
4.1.6.	VOLCÁNICO BARROSOS.....	65
4.1.7.	DEPÓSITOS MORRENICOS Y FLUVIOGLACIARES.....	66
4.1.8.	DEPÓSITOS ALUVIALES.....	66



4.2.	GEOLOGÍA LOCAL.....	70
4.2.1.	LITOLOGÍA.....	71
4.2.2.	ALTERACIONES HIDROTERMALES.....	85
4.3.	HIDROGEOLOGÍA.....	90
4.4.	MINERALIZACIÓN DEL DEPÓSITO.....	92
4.4.1.	MINERALIZACIÓN DE COBRE (Cu).....	92
4.4.2.	MINERALIZACIÓN DE MOLIBDENO (Mo).	98
5.	CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	99
5.1.	GENERALIDADES.....	99
5.2.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.....	99
5.2.1.	SISTEMA DE FALLAS INCAPUQUIO.....	100
5.2.2.	FALLA MICALAO.....	100
5.2.3.	FALLA VIÑA BLANCA.....	101
5.2.4.	FALLA BOTIFLACA.....	101
5.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.....	103
5.3.1.	FALLA MAYOR SUR.....	103
5.3.2.	FALLA CUAJONE.....	104
6.	CAPITULO V: GEODINÁMICA.....	105
6.1.	GENERALIDADES DE LA GEODINAMICA INTERNA.....	105
6.1.1.	SISMICIDAD.....	105



6.1.2.	DESLIZAMIENTOS.....	113
6.2.	GENERALIDADES DE LA GEODINÁMICA EXTERNA.....	114
6.2.1.	CAIDA DE ROCAS.....	114
7.	CAPÍTULO VI: ESTABILIDAD DEL TALUD SUR-OESTE DEL TAJO CUAJONE..	115
7.1.	INTRODUCCIÓN.....	115
7.2.	MAPEO DE INFORMACIÓN IN-SITU.....	115
7.2.1.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	117
7.2.2.	LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO.....	119
7.2.3.	LEVANTAMIENTO DE LA ZONA INESTABLE.....	119
7.3.	EVALUACIÓN GEOLOGÍA DE LA ZONA DEL ESTUDIO D45 Y D47.....	121
7.3.1.	MAPEO LITOLÓGICO.....	121
7.3.2.	DRENAJE DE LA MINA CUAJONE.....	123
7.3.3.	CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL.....	124
7.3.4.	ANÁLISIS CINEMÁTICO ESTRUCTURAL DE LA ZONA DEL ESTUDIO.....	124
7.4.	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA INESTABLE D45 Y D47.....	137
7.4.1.	CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DE MACIZOS ROCOSOS.....	137
7.5.	ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES DE MACIZO ROCOSO Y ROCA INTACTA.....	158
7.5.1.	MACIZO ROCOSO.....	159
7.5.2.	ROCA INTACTA.....	160
7.6.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA INESTABLE D45/ D47.....	165



7.6.1.	GEOLOGÍA.....	166
7.6.2.	GEOTECNIA.....	166
7.6.3.	TIPOS DE ROTURA.....	166
7.7.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA ZONA SUR- OESTE DE LA FASE 6B2. .	167
7.7.1.	CRITERIO DE ACEPTABILIDAD (CA).....	167
7.7.2.	FACTOR DE SEGURIDAD (FS).	167
7.7.3.	FALLA DE UN TALUD MINERO.	172
7.7.4.	PROBABILIDAD DE FALLA (PA).....	172
7.8.	RESULTADO E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD AL SUR-OESTE DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE.....	173
7.8.1.	IMPLEMENTACION DE LA INESTABILIDAD DE TALUD D45 Y D47, UTILIZANDO EL SOFTWARE SLIDE DE ROCSCIENCE.	174
7.9.	INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.....	186
7.10.	PLANEAMIENTO.....	189
7.11.	PLAN DE CONTINGENCIA.	190
7.12.	FACTOR DE PERTURBACIÓN “D”.....	191
7.13.	IMPORTANCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.....	195
8.	CONCLUSIONES.....	197
9.	RECOMENDACIONES.....	200
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	202



ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Ubicación del proyecto la Mina Cuajone – Moquegua – Perú. (Fuente: Elaboración propia).....	17
Figura 2: Acceso a la Mina Cuajone desde Moquegua (Fuente MTC ministerio de transporte y comunicaciones-GEOGSPERU).	19
Figura 3: Diseño de un talud minero en una minería a cielo abierto.....	39
Figura 4: Nomenclatura de un talud artificial (corte o Relleno), nomenclatura de un deslizamiento. (Fuente: Jaime Suarez Diaz Bucaramanga Colombia 1998).	40
Figura 5: Vista de como medir el espaciado (Fuente: Alberto González Díez).	43
Figura 6: Como medir la continuidad en macizo rocoso (Fuente: Alberto González Díez).	43
Figura 7: Imagen de medida de la rugosidad de una diaclasa con un perfilómetro. Tomado de Enrique Montalar	44
Figura 8: Cuadro de ángulo de fricción y la rugosidad (Fuente: Tomado de González de Vallejo et al., 2002).	44
Figura 9: Vista como determinar la apertura en un macizo rocoso (Fuente: Alberto González Díez).....	45
Figura 10: Geomorfología regional de la zona de Mina Cuajone (Fuente: INGEMMET).	54
Figura 11: Geología regional del área de la Mina Cuajone (Fuente: GEOGSPERU E.I.R.L.).	68
Figura 12: Columna estratificación regional de Mina Cuajone: Bellido 1972, (Fuente: GEOTECNIA-SPCC).	69
Figura 13: Columna estratigráfica local Mina Cuajone (Fuente: GEOTECNIA-SPCC).....	85
Figura 14: Alteración hidrotermal de la mina Cuajone (Fuente: Geotecnia SPCC).	90



Figura 15: Cuencas hidrológicas del distrito Torata que intersectan la mina Cuajone (Fuente: geogpsperu e.i.r.l.). 92

Figura 16: Sistemas de falla distrital, la mina Cuajone se encuentra. emplazada dentro del sistema de fallas de viña blanca y botiflaca. 102

Figura 17:Sistema de fallas presente en la Mina Cuajone. 104

Figura 18: Se observa el mapa de intensidad sísmica mercalli modificada, por ende, en la zona del proyecto se pueden producir sismos con intensidad máxima de VII y VIII, grados en la escala modificada de mercalli. Fuente: Jorge Alva Hurtado Et Al-1984. 112

Figura 19: Se observa el mapa de las zonas de sismicidad, en donde la zona de estudio se encuentra en la zona 3 de sismicidad alta. Fuente: DGPM-MEF. 113

Figura 20: Levantamiento topográfico con el equipo escáner multipunto T 8800. 119

Figura 21: Dimensiones de los movimientos en masa (Fuente: IAEG Commission on Landslides 1990). 121

Figura 22: Zona inestable al Sur-Oeste los D45 y D47 de la mina Cuajone. 122

figura 23: Sistema de bombeo del tajo Cuajone: (Fuente: Propio). 123

Figura 24: Representación estereográfica de una falla en cuña en Software Dip de Rocscience. 130

Figura 25: Representación de una falla en cuña donde se ve el tetraedro o el material que se va deslizar en software de Swedge de Rocscience. 131

figura 26: Esquema de una falla tipo toppling o volcamiento. 133

Figura 27: Representación de esquema de una falla circular. 136

Figura 28: Frecuencia relativa de clasificación geotécnica de macizo rocoso a tajo abierto y subterráneo (fuente: flores & karzulovic, 2002.). 138



Figura 29: Datos tomados en riolita porfírica para el procedimiento para la medición del RQD (Deere, 1966), (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC). 140

Figura 30: Cálculo de RQD de la figura 24, considerando longitudes superiores a 10cm. 142

Figura 31: Estimación de rocas por 8-12, Jv.m3, buena RQD 75% - 90%, (Fuente: Elaboración propia). 145

Figura 32: Según el software GEOTABLE el valor de RQD hallado es 82%. 146

Figura 33: De acuerdo con los datos plasmado en el software geotable en el gabinete tenemos un RMR de 76. 152

Figura 34: Resultado de un análisis de RMR en el SOFTWARE GEOTABLE. 153

Figura 35: Clasificación GSI, Hoek Brown II (tomado de Gonzales Vallejo 2002). 156

Figura 37: Clasificación GSI, Hoek Brown I (tomado de Gonzales Vallejo 2002). 157

Figura 38: Datos tomados en campo para un mapeo geomecánica de RMR y GSI (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC). 158

Figura 39: Guías para evaluar el parámetro D. en el caso de taludes. (Fuente: Geotable clasificación geomecánica). 160

Figura 40: Estimación de ruptura para Riolita Porfírica en ROCDATA DE ROCSCIENCE (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC). 164

Figura 41: Propiedades geomecánicas de roca intacta de Riolita porfírica (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC). 164

Figura 42: Ensayos de laboratorio y propiedades de la roca Intacta y propiedades de Roca Intacta (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC). 165

Figura 43: Ensayos de laboratorio de las propiedades geomecánicas de la zona (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC). 165



Figura 44: Altura de talud v/s ángulo de talud para el gráfico empírico de estabilidad de taludes de Hoek (Vallejos [19]). 169

Figura 45: Esquema del análisis de estabilidad de taludes por el método de Fellenius (Fuente: **RODRÍGUEZ CIFUENTES**)..... 170

Figura 46: Esquema de las fuerzas que actúan en la ψ dovela, de acuerdo al método de Fellenius 171

Figura 47: Resultado de F_s para el D45 con un coeficiente sísmico D_e 0.15 175

Figura 48: Análisis de F_s del D45 de los 9 bancos de una altura de 135m. donde se puede ver mejor a detalle..... 175

Figura 49: Perfil reajustado del D45 sin coeficiente sísmico alcanzando una altura de 135 m. por método de dovelas..... 178

Figura 50: Vista de un reajuste del perfil D45 con un coeficiente sísmico horizontal de 0.15 cm/s^2 178

Figura 51: Resultado de F_s para El D47 con un coeficiente sísmico de 0.16 181

Figura 52: Análisis de F_s del D47 de los 7 bancos de una altura de 115m. donde se puede ver mejor a detalle..... 181

Figura 53: Perfil reajustado del D47 sin coeficiente sísmico alcanzando una altura de 115 m. por método de dovelas..... 184

Figura 54: vista de un reajuste del perfil D47 con un coeficiente sísmico horizontal de 0.16 cm/s^2 184

Figura 55: Radar MSR-300 marca Reutech. 188

Figura 56: Vista del sistema de monitoreo, al fondo se encuentra la zona de estudio. 189



Figura 57: Software de radar reutech del radar 103 monitoreando el talud Sur-Oeste del tajo Cuajone. en la imagen se puede apreciar la culminación de los movimientos de la cuña 45 y 47 post estabilización. imagen tomada del archivo de reportes diarios Cuajone..... 190

Figura 58: Diseño de taladros para un mejor control de voladura..... 193



ÍNDICE DE FOTOS.

Foto 1: Vista de accesibilidad a la Mina Cuajone desde Moquegua por imagen satelital (Fuente: GOGLE EARTH).	20
Foto 2: Escarpe izquierdo generado por el deslizamiento D47.....	116
Foto 3: Escarpe derecho generado por el deslizamiento D45.	117
Foto 4: Vista panorámica del deslizamiento D45 y D47 al Sur-Oeste del Tajo Cuajone.	118
Foto 5: Representación de formación de falla planar.....	126
Foto 6: Vista del área del deslizamiento de una falla planar.	126
Foto 7: Formación de una falla planar en un banco de un talud minero.	127
Foto 8: Representación de una formación de falla en cuña.....	128
Foto 9: Vista de una formación de una falla en cuña en un talud minero al Sur-Oeste de la fase 6B2.....	129
foto 10: Vista de una formación de una falla en vuelco en un talud minero.	133
Foto 11: Vista de un talud minero con mucha frecuencia de caída de rocas.....	135
Foto 12: Vista de una formación de una falla circular en un talud minero.	136
Foto 14: Vista de un monitoreo don Georadar la zona del deslizamiento al Sur-Oeste de la fase 6b2.....	177
Foto 15: Vista de cómo se retira el material desplazado en el deslizamiento una vez estabilizado con equipos.	179
Foto 16: Vista de un inicio del deslizamiento prestando toda la seguridad para estabilizar la zona.	183
Foto 17: Vista de cómo queda después de hacer limpieza del material deslizado.....	186
Foto 18: Diseño de taladros en el proyecto.	194



Foto 19: Vista de los taladros Pre-Corte después de un perfilado con equipos. 195



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: El área de la unidad Minera Cuajone está representada por las coordenadas. -----	17
Tabla 2: Distancia y vías de acceso al departamento de Moquegua (Fuente ministerio de transporte y comunicaciones MTC).-----	18
Tabla 3: Distancia y vías de acceso a la Mina Cuajone desde Moquegua (Fuente: Elaboración propia).-----	18
Tabla 4: Distribución de mineralización de Cu.-----	93
Tabla 5: Levantamiento topográfico del deslizamiento D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2. -----	118
Tabla 6: Clases de RQD para testigo (Fuente: Geotecnia SPCC). -----	140
Tabla 7: Se muestran los resultados del cálculo geotécnico de RQD. -----	143
Tabla 8: Clases de RQD para número de fisuras por metro cúbico. (Fuente: Geotecnia SPCC). -----	144
Tabla 9: Se muestran los resultados del análisis de J_v por m^3 para un RQD. -----	147
Tabla 10: Determinación de RMR (Fuente: geotable clasificación geomecanica).-----	148
Tabla 11: Clases de RMR Bieniawski, Z.T, modeladas en el tajo Cuajone. (Fuente: Geotecnia SPCC).-----	149
Tabla 12: Sistema de valoración de la masa rocosa – RMR (según Bieniawski 1989).-----	150
Tabla 13: Para determinar los valores de B, C Y D para poder corregir la ecuación 5.-----	150
Tabla 14: Para continuar los parámetros de la clasificación de la tabla 12 del número 4. -----	151
Tabla 15: El resultado de un análisis de un RMR según BIENIAWSKI 1989. -----	153
Tabla 16: Clases de GSI (Hoek et al. 2013), (Fuente: Geotecnia SPCC).-----	155



Tabla 19: Tabla de resultado de un análisis de un GSI.-----	158
Tabla 20: Valores de la constante m_i de la roca intacta para distintos tipos de roca-----	162
Tabla 21: Estimación en terreno de la resistencia a la compresión uniaxial. -----	162
Tabla 22: Resumen de F.S. obtenidos del análisis de estabilidad en la sección A-A' y B-B'. 174	
Tabla 23: Análisis por método de dovelas sección A-A' D45 al inicio del proyecto. -----	176
Tabla 24: Resultado de un reajuste del perfil A-A' D45alcanzando el Fs al plan propuesto. ---	178
Tabla 25: Análisis por método de dovelas sección B-B' D47. -----	182
Tabla 26: Resultado de un reajuste del perfil “B-B ’” D47, alcanzando el Fs al plan propuesto. -----	185
Tabla 27: Registro del monitoreo de la zona inestable D45 Y D47. -----	196



CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.

2.1. INTRODUCCIÓN.

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre producen movimientos del terreno provocando los deslizamientos al Sur-Oeste de la fase 6B2 del fondo de la Mina Cuajone, con diferentes magnitudes y velocidades, siendo más frecuentes las inestabilidades de taludes, llegando a constituir peligros geológicos potenciales que causan daños económicos, las actividades del plan minado diario, semanal, anual y plan propuesto por unidad minera Cuajone.

Los trabajos que se realizaran en la evaluación geológica y geotécnica de la estabilidad de talud Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la Mina Cuajone, del distrito de Torata, Provincia de Mariscal Nieto del Departamento de Moquegua, la Mina Cuajone está ubicado geográficamente en la zona 19s con coordenadas UTM: 319564.00 m, 8117707.00 m, una altitud de 3980 - 3055 m.s.n.m. Este trabajo consiste en la implementación de la evaluación geológico, geotécnico para mejorar la estabilización de talud al Sur-Oeste del D45 y D47 del fondo de la Mina Cuajone.

El presente estudio estará fundamentado en el reconocimiento de las distintas formaciones geológicas del substrato donde presentan dos deslizamientos D45 y D47, dentro de la fase 6B2 de la Mina Cuajone, reconocer la acción geodinámica interna y externa de la zona, caracterizar la actividad estructural que nos permita saber si presenta actividad.



Los estudios geológicos y geotécnicos realizados en el presente estudio tendrán por finalidad determinar las características físicas y mecánicas de las rocas, estos procesos son el resultado del trabajo de examinar y caracterizar el macizo rocoso afectado, para comprender el comportamiento de las masas rocosas que son afectados directamente.

Estos fenómenos naturales se pueden entender a través del estudio de las deformaciones de las cargas exteriores que son ejercidas por el tránsito de equipos pesados y dinámicas que son producidas por las vibraciones de las voladuras que se realizan a diario, que afectan al talud, produciendo grietas de tracción y/o compresión, según sea el caso, sus características, tipos, mecanismos de falla, factores de control estructural y sus causas naturales. Esta tesis se realiza para aportar el desarrollo del plan minado y económico de la Mina Cuajone.

2.2. UBICACIÓN.

La unidad minera Cuajone se encuentra ubicada en el flanco occidental de los andes del sur del Perú entre los 3980 - 3055 m.s.n.m., aproximadamente a 45 Km al NE de la ciudad de Moquegua, distrito de Torata, Provincia de Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua.

El tajo en explotación se encuentra emplazado en la ladera sur de la quebrada Torata y cortada en la parte central por la quebrada chuntacala con una dirección Este-Oeste.

PUNTOS		UTM	GEOGRÁFICAS	
P ₁	E	319564.00 m	Latitud	17° 1'3.67"S
	N	8117707.00 m	longitud	70°41'42.33"O
P ₄	E	312156.00 m	Latitud	17° 4'24.71"S
	N	8111461.00 m	longitud	70°45'54.69"O



✚ La accesibilidad a Moquegua por vía terrestre se da de la siguiente manera:

DISTANCIA Y VÍAS DE ACCESO AL DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA			
RUTA	DISTANCIA (KM)	TIEMPO (AUTO)	VÍA
Lima-Moquegua	1145	14 Hrs.	Carretera Panamericana Sur
Arequipa-Moquegua	227	3 Hrs.	Carretera Panamericana Sur
Tacna-Moquegua	159	1h 30 Min	Carretera Panamericana Sur
Puno-Moquegua	267	4h 38 Min	Carretera Vi Nacional

Tabla 2: Distancia y vías de acceso al departamento de Moquegua (Fuente ministerio de transporte y comunicaciones MTC).

✚ Para acceder a la unidad minera desde la ciudad Moquegua se sigue la siguiente ruta:

DISTANCIA Y VÍAS DE ACCESO A LA MINA CUAJONE SAUTHERN PERU COPPER CORPORATION			
RUTA	DISTANCIA (KM)	TIEMPO (AUTO)	VÍA
Moquegua-desvío Torata	25	20 min	Interoceánico Sur
desvío torata-Villa Botiflaca	20	20 min	Carretera Cuajone

Tabla 3: Distancia y vías de acceso a la Mina Cuajone desde Moquegua (Fuente: Elaboración propia).

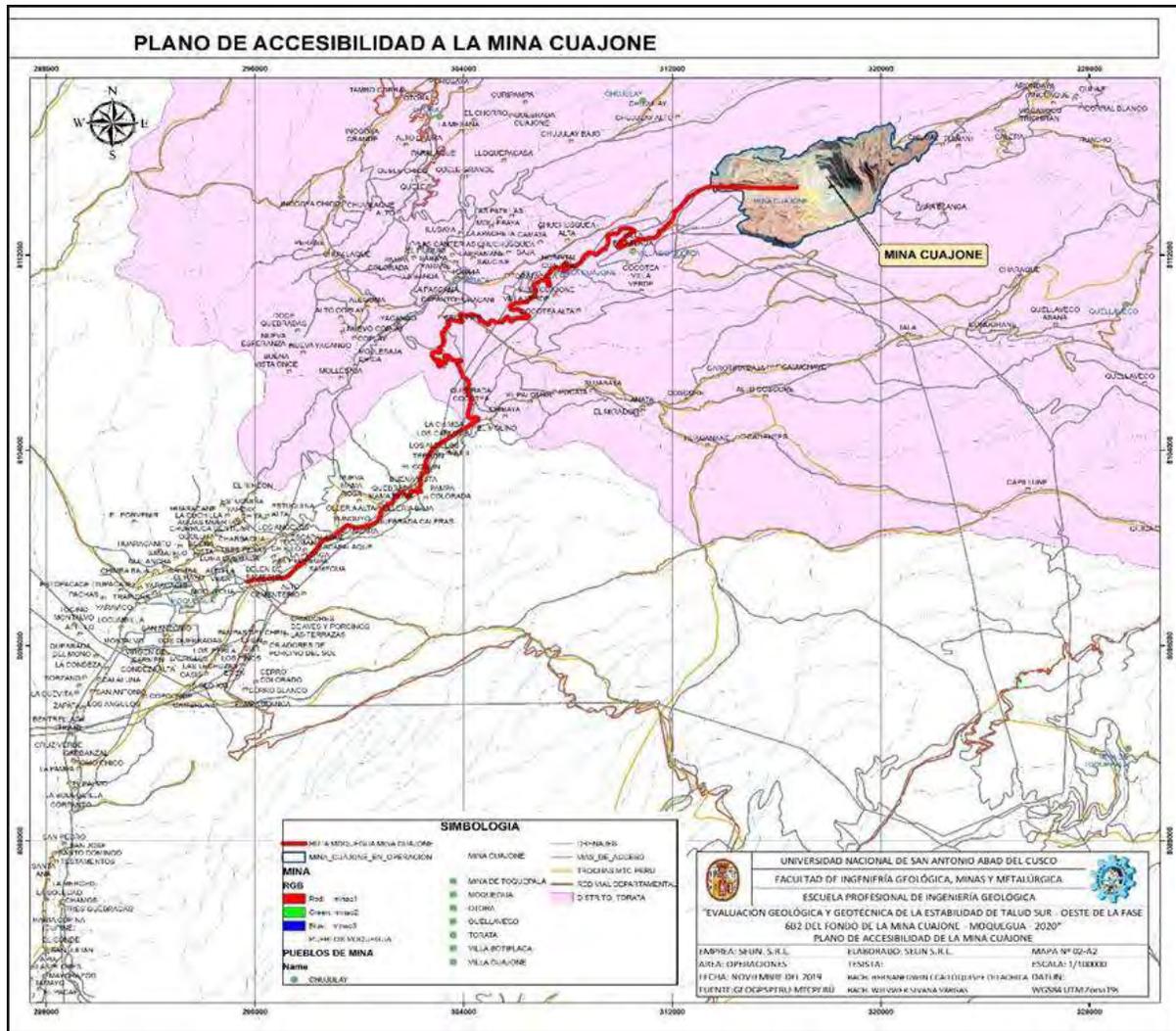


Figura 2: Acceso a la Mina Cuajone desde Moquegua (Fuente MTC ministerio de transporte y comunicaciones-GEOGPSERU).



Foto 1: Vista de accesibilidad a la Mina Cuajone desde Moquegua por imagen satelital (Fuente: GOGLE EARTH).

2.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

2.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone Moquegua presenta un problema de una inestabilidad de talud de deslizamiento (D45) y (D47).

El problema que se acaba de mencionar líneas arriba se presenta por el incremento de los bancos gradualmente hacia abajo, el diseño del talud, la vibración de la voladura que generan a diario, las alteraciones que presentan las rocas, las aguas superficiales de las lluvias



que infiltran, estas provocan el problema de la inestabilidad al Sur-Oeste, el crecimiento de los bancos aumenta el peso que soportan estos planos de falla por lo tanto se vuelven inevitables a medida que la excavación se vuelve más profunda afecta el plan minado de diario, semanal, mensual.

Este problema que se está identificando traerá como consecuencia reducción del área minado, cambio de diseño del talud, afecta económicamente, daños al equipos y personal como tal se hace cada vez más difícil de manejar.

En esta implementación se aportará de una evaluación geológica y geotécnica sobre la mejora de la estabilidad de talud Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua.

Este estudio se realizará de acuerdo con los datos obtenidos en campo, y serán desarrollados en el laboratorio que serán procesados para la obtención de gráficos geotécnicos y para diferentes valores que finalmente servirán para dar conclusiones y recomendaciones.

2.4.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

2.4.2.1. PROBLEMA GENERAL.

¿Cuáles son las condiciones geológica y geotécnica para la estabilización del talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua?



2.4.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- 1) ¿Cómo es la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, **ANTES** de haber implementado las condiciones geológica y geotécnica?
- 2) ¿Cuál son las condiciones geológicas mejorará la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua **en su primera etapa?**
- 3) ¿Cuáles son las condiciones geotécnicas mejorará la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua **en su segunda etapa?**
- 4) ¿Cómo es la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, **DESPUÉS** de haber implementado las condiciones geológicas y geotécnicas?

2.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

Los trabajos que se realizan en las operaciones de la Mina Cuajone hacen el cumplimiento de los objetivos establecidos, los parámetros mineros donde dan prioridad a la seguridad en las operaciones de minado, con ello se maximiza las ganancias en el proceso productivo por la cual toda esta planificación se ha visto afectado por la presencia de riesgos geológicos como los deslizamientos en niveles superiores de los diferentes bancos y/o fases.



La necesidad de hacer un estudio geotécnico de la zona inestable al Sur-Oeste en la fase 6b2, fondo mina nos dará una idea de cómo debe ser tomada hoy en día la geotecnia moderna en la minería, con ello hacer un análisis e interpretación para seguir los procedimientos en la operación de plan minado en los diferentes niveles, logrando los objetivos y beneficios de la producción.

2.6. OBJETIVOS DE ESTUDIO.

2.6.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar las características geológicas y geotécnicas para estabilizar el talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua.

2.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- 1) Describir la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, antes de haber implementado las condiciones geológicas y geotécnicas.
- 2) Evaluar las condiciones geológicas para estabilizar el talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua en su primera etapa.
- 3) Evaluar las condiciones geotécnicas para estabilizar el talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua en su segunda etapa.
- 4) Determinar las características de la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, después de haber implementado las condiciones geológicas y geotécnicas.



2.7. HIPÓTESIS.

2.7.1. HIPÓTESIS GENERAL.

Las características geológicas y geotécnicas mejoró la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua

2.7.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

- 1) Las características geológicas y geotécnicas de la estabilidad del talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua.
- 2) Las condiciones geológicas mejoró la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, en su primera etapa.
- 3) Las condiciones geotécnicas mejoró la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, en su segunda etapa.
- 4) Los parámetros y características geotécnicas y geológicas de la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua.

2.8. VARIABLES.

2.8.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.

Evaluación geológica y geotécnica.

- Geología:

- Geomorfología
- Litológico
- Estructural



- Hidrología
- Geodinámica
- Geotecnia

2.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE.

Estabilidad de talud.

2.9. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

La metodología del trabajo es científica, con un diseño experimental de causa-efecto, donde se recolectan los datos en un momento y tiempo con el propósito de solucionar el problema que sea identificado, se basa en la implementación de la evaluación geológica y geotécnica que mejorará la estabilidad de talud al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone Moquegua.

2.9.1. MÉTODO CIENTÍFICO.

2.9.1.1. INDUCTIVO.

Recopilar información sobre las variables independientes de geología y geotecnia, a partir de estas observaciones de hechos y fenómenos, para clasificar y estudiar los datos recaudados, con lo cual finalmente llegaremos a una solución (Dra. Rosario Martinez).

2.9.1.2. HIPOTÉTICO.

Técnico metodológico consiste en tomar varios enunciados como hipótesis y probar hipótesis, con los conocimientos que ya tenemos (Dra. Rosario Martinez).



2.9.1.3. DEDUCTIVO.

Alcanzar el objetivo principal partiendo de los conocimientos previos y/o conocimientos existentes para poder llegar a casos especiales en un campo particular de la zona del estudio utilizando la lógica y el razonamiento adecuados (Dra. Rosario Martinez).

2.10. CLIMA.

La Mina Cuajone se caracteriza por tener un clima semiárido y desértico dominado por la zona climática del altiplano occidental con periodos de lluvia gradualmente correspondientes a los meses diciembre a marzo y generalmente seco el resto del año.

En los meses de mayo a octubre la temperatura desciende hasta por debajo 0°C y el resto del año templado alcanzando hasta 18°C , las mañanas y las tardes son muy frías acompañadas con vientos gélidos y en la noche la temperatura desciende por debajo de 0°C .

Para obtener el comportamiento climático de la zona de estudio se utilizaron registros de estaciones meteorológicas que se encuentran en la zona de estudio: Apacheta Titijones y Mina Cuajone.



2.11. MARCO TEÓRICO.

2.11.1. MARCO REFERENCIAL.

2.11.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

- **Córdova y Laos (1979)**, Estudio de estabilidad de taludes en minas a cielo abierto.

Resumen: La minimización de costos de operación es un gran incentivo para excavar taludes lo más escarpados posibles, de aquí que la estabilidad de éstos es importante. Se describen los procedimientos y técnicas básicas para evaluar la estabilidad de taludes en roca. Se enfocan en primer lugar generalidades sobre objetivos y metodología, luego aspectos referentes a estudios geológicos estructurales, propiedades mecánicas del macizo rocoso y medidas de esfuerzos y deformaciones, análisis de estabilidad y, finalmente aplicamos un método tridimensional de la posibilidad de falla de un talud para demostrar cómo pueden ser utilizados los parámetros que gobiernan la estabilidad. Por ahora, no se han descrito técnicas para abordar problemas de agua subterránea y vibraciones sísmicas, no obstante ser factores importantes.

2.11.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.

- **Tesis:** Romero (2018), Geología y estabilidad de taludes en la mina 2-3-4 Shougang.

Resumen: El área de estudio está localizado en el distrito de Marcona sobre una terraza marina y cordillera de la costa sur del Perú; el método de explotación que se utiliza en la mina 2, 3 y 4 de Shougang, es a cielo abierto, donde el cuerpo mineralizado de hierro y minerales secundarios como el cobre, plata y oro, se emplaza en un macizo rocoso, compuesto por un conjunto metamórfico, unidades volcánicas sedimentarias y por una secuencia calcárea pre-mesozoica, que forman un monoclinial de orientación NE que buza



40° al N-NW, donde estas estructuras se complican con fallas e intrusiones menores. Se han realizado investigaciones geotécnicas, evaluación geológica y evaluación geomecánica; de estas investigaciones en campo, se indica que el área de estudio carece de homogeneidad del macizo rocoso que conforman los taludes, existe una variabilidad de unidades litológicas y características geomecánicas del macizo, además de saber que el macizo rocoso está sujeto a diferentes procesos geológicos y procesos de deformación, que pueden afectar la estabilidad de taludes durante las operaciones mineras de explotación. Para determinar el análisis de estabilidad a nivel de bancos y taludes del tajo, se ha considerado todos los parámetros obtenidos de las investigaciones en campo, del procesamiento de datos mediante software e interpretación de resultados de los mismos; para el análisis a nivel de bancos se ha realizado análisis cinemático, asimismo se ha obtenido factores de seguridad mayores al mínimo admisible, en condición estática ($FS \geq 1.5$) y pseudo-estático ($FS \geq 1.1$), a nivel de bancos los que condicionan la estabilidad, son el grado de diaclasamiento, propiedades de la roca y condiciones de la junta; finalmente para en análisis de estabilidad a nivel de taludes del tajo se han obtenido factores de seguridad superiores al mínimo admisible, en condición estática ($FS \geq 1.5$) y pseudo-estático ($FS \geq 1.1$), llegando a determinar que los taludes en la mina 2, 3 y 4 son estables en condiciones geométricas actuales y proyectadas, considerando la geometría de reposo del talud de 51° a 55° de inclinación, y para los bancos de los taludes con una inclinación promedio de 70°.



- **Tesis:** Kana y Ochoa, (2019), Estudio geológico y geotécnico para la estabilidad de asentamientos de las estructuras de la faja transportadora CV.201 (desde el cruce 2 hasta la salida del túnel) Minera Cuajone – Moquegua.

Resumen: El estudio geotécnico del área afectada consta de un reconocimiento geológico que permite verificar la litología y estructuras presentes alrededor de la zona, mediante la investigación de manera directa con perforaciones y calicatas. Asimismo, los sondeos diamantinos y ensayos geotécnicos (SPT, LEFRANC, CPT) se realizaron en zonas más críticas del tramo de la faja con el fin de determinar las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles del relleno minero no controlado. Asimismo, se caracterizaron las dimensiones de los estratos de relleno antiguo y reciente. Finalmente se ha llegado a la conclusión que la zona de cruce 02, está constituida por dos estratos (reciente y antiguo) de compacidad, resistencia a la penetración y carga admisible muy diferentes. Por otra parte, se estimó que el relleno reciente presenta una profundidad de 0 a 20 metros, mientras que el relleno antiguo presenta una profundidad de 20 - 63 metros. Este último está constituido por arenas y gravas heterogéneas con ocurrencia de bolones de diferentes tamaños. En cuanto a la zona de salida del túnel, este está constituido mayormente de relleno más antiguo con ocurrencia de relleno reciente erráticamente y de material gravoso con bolones de mayores dimensiones que en relleno reciente. La baja capacidad portante del relleno reciente y la alta permeabilidad influenciada por bulbo de presiones de las estructuras, son mecanismo de falla para que ocurran estos asentamientos y desplazamientos en el terreno Entre las soluciones que se han planteado para estabilizar los asentamientos se encuentra el mejoramiento de la masa rellena a base de inyecciones de consolidación de mortero y cemento en zonas más críticas. Asimismo, en base al análisis



de la estabilidad del talud artificial ubicado en el cruce 02 (con valores inferiores a la unidad en condiciones pseudoestáticas para coeficiente sísmico de 0.15g), se planteó la construcción de un muro de contención con anclajes. Adicionalmente se plantea la estructuración de un sistema de drenes superficiales en la zona de cruce 02 y la zona de salida del túnel. El orden seguido en este estudio obedece a un mejor entendimiento de la información presentada, interpretada y analizada.

- **Bellido y Eleodoro (1979)**, Geología del cuadrángulo de Moquegua, hoja: 35-u - [Boletín A 15].

Resumen: El presente trabajo trata de la geología del cuadrángulo de Moquegua, que tiene un área de 3,000 km² y se ubica en parte de los departamentos de Moquegua y Tacna.

Las unidades geomorfológicas que se diferencian en el área son: Llanura Costanera, Flanco Andino y Cadena de Conos Volcánicos. Estos rasgos se desarrollan a manera de fajas longitudinales con sus características propias relativas a altitud, relieve, clima, geología, etc.

Las rocas más antiguas que afloran en el cuadrángulo son los volcánicos del Grupo Toquepala de edad Cretácea superior a Terciario inferior.

Se compone de derrames y piroclásticos andesíticos y riolíticos con más de 3,000 m. de espesor y aflora a lo largo del Flanco Andino. En el presente estudio se le ha dividido en las siguientes formaciones: Quellaveco, Paralaque, Inongoya y Toquepala. La gruesa



secuencia volcánica se ha depositado en condiciones subaéreas; por las discordancias que existen entre las formaciones, se terminan varias fases de volcanismo con algunos períodos de inactividad.

A los volcánicos Toquepala sobreyace con fuerte discordancia los clásticos continentales de la formación Moquegua cuyo espesor habría de 550 a 600 m. La formación cubre la mayor extensión de la parte meridional del cuadrángulo y de acuerdo con trabajos anteriores, se le ha dividido en dos miembros: Moquegua inferior de composición arcillo-arenosa y Moquegua superior areno-conglomerádica.

En la columna geológica del área aparece la formación Huaylillas, compuesta principalmente de tufos riolíticos que sobreyacen con discordancia al Grupo Toquepala y la formación Moquegua. En relación con estudios previos se le considera de edad Plioceno medio a superior. Sus afloramientos más importantes se hallan en el flanco andino, donde ocurren a manera de remanentes de erosión.

La formación Capillune, compuesta de conglomerados con intercalaciones de areniscas-tufáceas, sobreyace con discordancia a los tufos Huaylillas. La formación se considera del Plioceno superior y aflora en localidades muy restringidas dentro del cuadrángulo.

A los clásticos Capillune se sobrepone el volcánico Barroso, compuesto principalmente de derrames andesíticos, aflora en el extremo NE del cuadrángulo, constituyendo el volcán Arundane. El volcánico Barroso se considera de edad plio-pleistocena.



En los flancos bajos del volcán Arundane se encuentran acumulaciones morrénicas, al pie del frente andino y cubriendo parcialmente la formación Moquegua, se extiende un manto más o menos continuo de depósitos aluviales del Cuaternario.

Las rocas ígneas afloran en forma dispersa en la parte septentrional del cuadrángulo, a lo largo del flanco andino. Los cuerpos mayores son de composición diorítico-granodiorítica y al lado de ellos existen pequeños stocks de granitos, monzonitas y dacitas. Estas intrusiones representan la continuación hacia el sur del Batolito Andino, por lo cual la edad de su emplazamiento debe ubicarse entre las postrimerías del Cretáceo y el Terciario inferior.

El rasgo estructural más importante en el sistema de fallas Incapuquio, de orientación NO-SE. Estas fallas en cierta forma han controlado el emplazamiento de los cuerpos monzoníticos y dacíticos, así como la formación de las chimeneas de brecha, con las cuales se asocian los yacimientos de cobre de Toquepala, Quellaveco y Cuajone.

En el cuadrángulo de Moquegua se encuentra la mina de Toquepala que es la mayor productora de cobre del país. Además, en el área quedan los yacimientos de cobre de Quellaveco y Cuajone. Los tres depósitos son del tipo diseminado y sus reservas acumuladas superan los 1,200 millones de T.M.



- **Tesis:** Oscco Orcohuaranca (2018), Análisis de la estabilidad de taludes en estratificaciones de macizos rocosos.

Resumen: El presente trabajo de investigación consiste en el análisis de la estabilidad de taludes en estratificaciones de macizos rocosos de roca Riodacita, considerando varios puntos a tratar para determinar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción de la roca por medio de clasificación geomecánica de Bienawski para determinar el Rock Mass Rating (RMR), considerando el criterio de rotura de Hoek y Brown utilizando los parámetros m y s , y este criterio según Serrano y Olalla con otros parámetros adicionales, valores que permiten determinar la curva de valores de tensiones normales y tensiones cortantes obtenida por medio del ensayo de compresión simple para la utilización del criterio de Hoek y Brown según Serrano y Olalla. Este método nos permite obtener los valores de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción. La estabilidad de taludes se limita en cuanto a la determinación de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción considerando que la roca posee un criterio de falla no lineal que nos muestra que a cada punto que se analiza en cuanto a los esfuerzos normales, estos valores son distintos y se pueden calcular por medio de la utilización de ecuaciones polinómicas que simulen una curva con una comparación con la curva obtenida por Serrano y Olalla. Así mismo, las ecuaciones polinómicas nos facilitan en el cálculo de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción para después determinar los factores de seguridad que nos determinaran si un talud se encuentra en estado de equilibrio o posee inestabilidad.



2.11.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.

- **Tesis:** Choque (2019), Interpretación estructural y análisis de estabilidad de Taludes – Yacimiento Quellaveco.

Resumen: El objetivo de la presente investigación fue realizar la interpretación estructural conducente al análisis conceptual de estabilidad de talud del yacimiento Quellaveco. El tipo de estudio de acuerdo con el fin es aplicado; su diseño es descriptivo y explicativa, no experimental, deductivo y analítico. Fue necesario realizar la recopilación de información, observación en campo; mapeo de estructuras geológicas del yacimiento y levantamiento de celdas geotécnicas; interpretación y procesamiento de datos; determinación de dominios estructurales, análisis cinemático de posibilidades de falla software Dips v6.0, el análisis conceptual de estabilidad de talud global por el método de equilibrio límite aproximado de Janbu software Slide v6.003. Por los resultados obtenidos indican que el modelo interpretación estructural Riedel (1929) es un modelo conveniente para el yacimiento Quellaveco y para el análisis de estabilidad de taludes a tajo abierto se han obtenido 7 secciones propuestas, condicionado a procesos endógenos y procesos originados por actuación de esfuerzos, se obtuvieron resultados de ángulo global de talud estables con un factor de seguridad de acuerdo al criterio establecido y optándose por un método conservador no circular Janbu con factor de seguridad >1.3 para el caso de taludes temporales. Finalmente, se considera que la interpretación estructural es conducente al análisis conceptual de estabilidad de talud del yacimiento Quellaveco.



- **Tesis:** Gutierrez (2018), Análisis y estabilización del Talud Sur – Oeste fase 5 del Tajo Cuajone.

Resumen: El talud Sur Oeste de la Fase 5 trae como principal consecuencia la afectación de la rampa de ingreso en la Fase 5, fase de donde se extrae mineral afectando los planes de minado y la integridad de los trabajadores. La estabilidad de taludes es uno de los aspectos más importantes en la construcción de infraestructuras como: carreteras, canales y explotaciones mineras. Por lo que se hizo de vital importancia tratar el tema desde la vista Geotécnica para estabilizar el talud Sur-Oeste y asegurar la producción del plan de minado semanal, mensual y el anual, y así, no hacer sólo seguro el proceso de extracción sino asegurar el proceso económico. El actual estudio, tema de tesis, implica los estudios básicos para realizar un análisis de estabilidad como el mapeo estructural de la zona, la caracterización del macizo rocoso, la toma de muestras en la zona implicada, el ensayo de dichas muestras, el escalamiento hacia el macizo rocoso; así como también el análisis de estabilidad del banqueo propuesto, el dimensionamiento del material a remover, la elección de los equipos en el movimiento de tierras y la instalación de instrumentación geotécnica así como la interpretación de los resultados obtenidos por dicha instrumentación. El movimiento de tierras, que implicó un movimiento de 119 500 m³, en la zona en el proceso de estabilización fue pensado de tal manera que permitiera incluso sacarle beneficio al plan. Ya que era una zona con contenido alto de mineral rico en Cobre se planeó remover el material empujándolo niveles abajo para que, una vez estabilizada la zona, la pala pudiera recoger dicho material desde niveles inferiores, brindándole una vez más a la Geotécnia un punto de vista diferente del que usualmente se tiene en las actuales operaciones mineras, no sólo brindamos soluciones en estabilidades, sino que también colaboramos con los



planes económicos de extracción de mineral. Gracias al accionar del departamento de Geotecnia Cuajone se logró cumplir con los planes del trimestre en el que se realizó la estabilización; además, en el balance final del año se dio a cuenta que gracias a ese plan de estabilización se logró cumplir con el tonelaje anual propuesto por el área de Planificación logrando así, el bien común de toda la operación minera. Actualmente la zona materia de estudio de la presente tesis se encuentra en proceso de minado por otra pala producto del minado de la Fase 6B2. Durante todo este tiempo no se ha vuelto a evidenciar ni grietas de tensión ni movimientos desestabilizantes detectados por el radar. El proceso de estabilización del talud Sur-Oeste fue todo un éxito total gracias a la pronta acción del departamento de Geotecnia.

2.11.2. MARCO CONCEPTUAL.

2.11.2.1. ELEMENTOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE UNA MINA A CIELO

ABIERTO.

Existen una serie de factores que determinan el diseño de la excavación en una minería a cielo abierto, entre los cuales los que más destacan son: los parámetros geométricos y/o términos geológicos y geotécnicos.

Banco o talud:

Son los elementos principales en el talud y cruciales en una operación ya que acomodan las áreas activas de perforación y voladura. Los bancos se pueden dividir en bancos de trabajo e inactivos. Los bancos de trabajo están en proceso de extracción de material, mientras que los bancos inactivos, son los restos de los bancos de trabajo dejados en su lugar para mantener la estabilidad de la pendiente del tajo.



El banco se va cortando por el horizonte inferior, es decir hacia abajo, generando una superficie escalonada.

El espesor de estos horizontes es la altura de banco, la que generalmente mide de 15 m, aunque en función del caso puede ser inferior o superior, no excediendo los 15m.

Pie del banco o toe.

Es la zona de cambio violento de pendiente en la parte más baja.

Cresta del banco:

Es el punto más alto de la pendiente.

Altura del banco:

Este parámetro se escoge en función de los equipos de carguío y transporte que se ocuparan dentro de la mina que varía entre 15m a 16m. La altura de trabajo máximo es un factor determinante a la hora de elegir una altura de bancos

Angulo del Talud:

Está definido por el ángulo formado entre el pie del banco (Toe) y superior (Cresta) lo cual es de 70 grados, después de estabilizar el talud el ángulo final es de 60° para el grupo de bancos existentes entre rampas.

Rampa:

Es el camino en pendiente que permite el tránsito de equipos desde la superficie a los diferentes bancos en extracción. Tiene un ancho útil mínimo de 25 m de una sola vía y 40 m de doble vía, de manera que permita la circulación segura de camiones de gran tonelaje en ambos sentidos.



Berma de seguridad:

Corresponde a la distancia horizontal medida entre la cresta de un banco y del banco superior el tamaño de esta es $\frac{3}{4}$ partes de una llanta más grande de un camión minero. Este elemento cumple con una función de seguridad, el cual permite la contención y amortiguamiento de material que se desprende o caídas de rocas de bancos superiores.

Canal de sumidero:

Es una alcantarilla de drenaje construida con el fin de captar las aguas superficiales de las lluvias en las condiciones climáticas e hidrogeológicas que presenta en la mina Cuajone, cumple la función de seguridad que evita infiltraciones en las taludes y accidentes por presencia de aguas en vía.

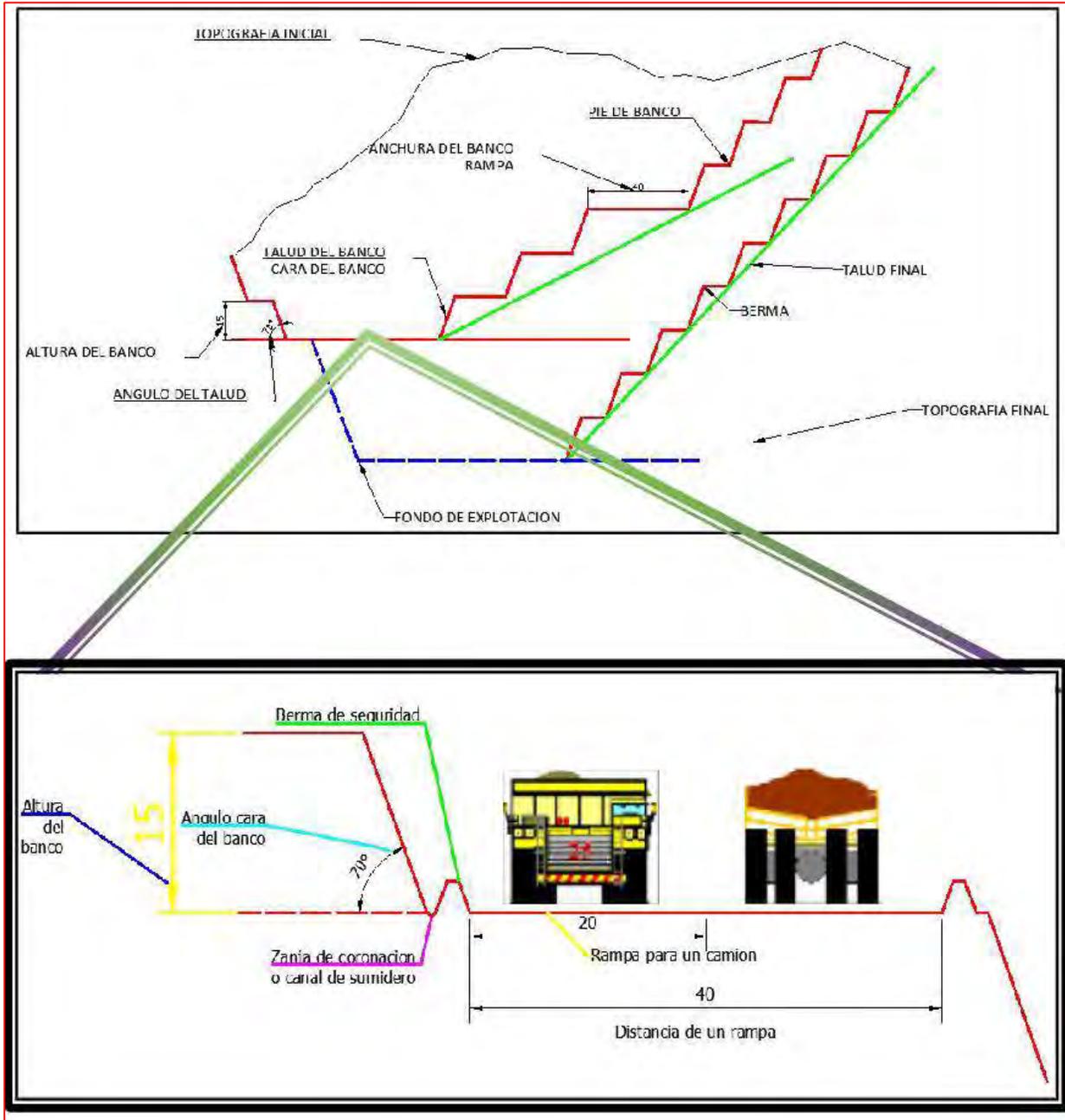


Figura 3: Diseño de un talud minero en una minería a cielo abierto.

2.11.2.1.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

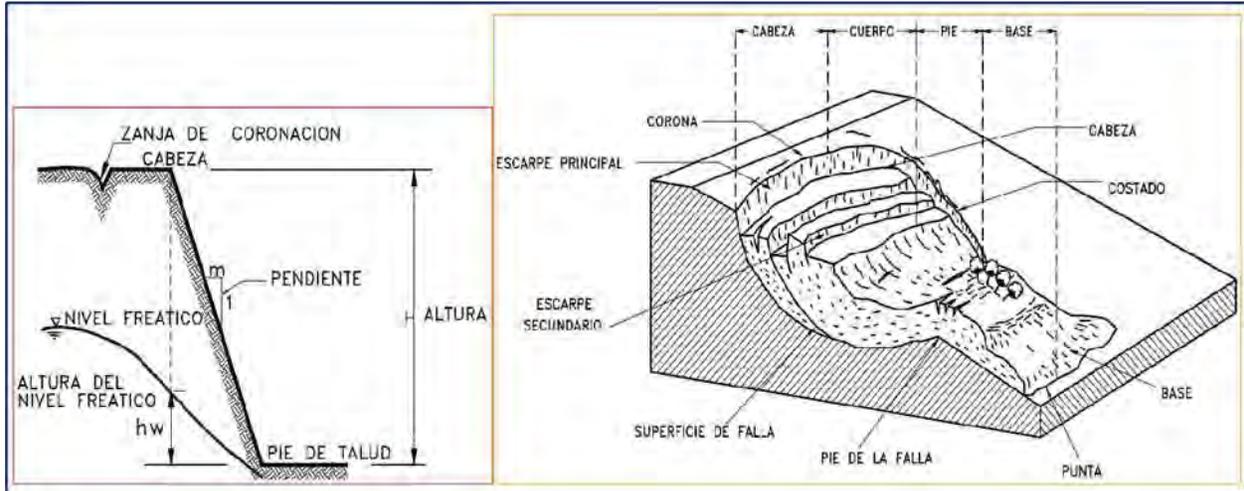


Figura 4: Nomenclatura de un talud artificial (corte o Relleno), nomenclatura de un deslizamiento. (Fuente: Jaime Suarez Diaz Bucaramanga Colombia 1998).

✓ Levantamiento topográfico.

La mayor parte de los levantamientos es para determinar las posiciones sobre la superficie de la tierra, tienen como objeto el cálculo de superficies y volúmenes y toma de datos en campo mediante equipos topográficos, donde reciben el nombre de topometría lo cual comprende dos etapas fundamentales:

- El trabajo de campo, que es la recopilación de los datos. Esta recopilación fundamentalmente consiste en medir ángulos horizontales y/o verticales y distancias horizontales o verticales.
- El trabajo de gabinete u oficina que consiste en el cálculo de las posiciones de los puntos medidos y el dibujo de estos sobre un plano.



✓ **Levantamiento de la zona inestable.**

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG (International Association for Engineering Geology), ancho de la masa deslizada, ancho de la superficie de falla, longitud de la masa deslizada, longitud de la superficie de falla, profundidad de la masa desplazada, profundidad de la superficie de falla, longitud total y longitud de la línea central.

✓ **Levantamiento geológico.**

Se realiza en campo describiendo visualmente las unidades litológicas, alteración, usando herramientas como: GPS, brújula, cinta métrica, cámara fotográfico y un martillo de geólogo o picota.

✓ **Aguas superficiales.**

Las aguas superficiales pueden crear una amplia variedad de problemas en los proyectos mineros a cielo abierto. **(J Herrera Herbert · 2019).**

✓ **Coefficiente sísmico.**

Es considerado como un coeficiente de fuerza lateral usado en el análisis pseudoestático de equilibrio limite, el cual representa la carga sísmica en taludes y estructuras de retención de tierra usando el análisis de equilibrio limite. **(Dr. Edward Kavazanjian, 2018).**

✓ **Fisura, grietas o fractura.**

Una fisura es una fractura o grieta en la roca a lo largo de la cual hay una separación distinta.

✓ **Juntas o discontinuidades.**

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso.



Las discontinuidades o juntas (Jv) condicionan las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico del macizo rocoso.

✓ **Fallas.**

Es una fractura de un macizo rocoso lo cual tiene un cierto desplazamiento o se mueven los bloques rocosos que son separados por ella.

✓ **Diaclasas.**

Es una fractura natural en la roca a lo largo de la cual no hay un desplazamiento paralelo a las superficies de fractura.

✓ **Resistencia.**

La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más importante en la determinación de la resistencia de los macizos rocosos duros y fracturados.

Para su estimación es necesario describir las características físicas y geométricas de los planos ya que no siempre es posible determinarla en ensayos de laboratorio o campo.

✓ **Filtración.**

La medida del flujo de agua a través de discontinuidades de realizarse de manera diferenciada en juntas con o sin relleno. En ellas se debe medir el caudal o las condiciones de humedad que presenta la junta: seco, húmedo, algunas, frecuentes, abundantes filtraciones.

✓ **Espaciado.**

El espaciado es la distancia media perpendicular, entre los planos de discontinuidad pertenecientes a una misma familia.

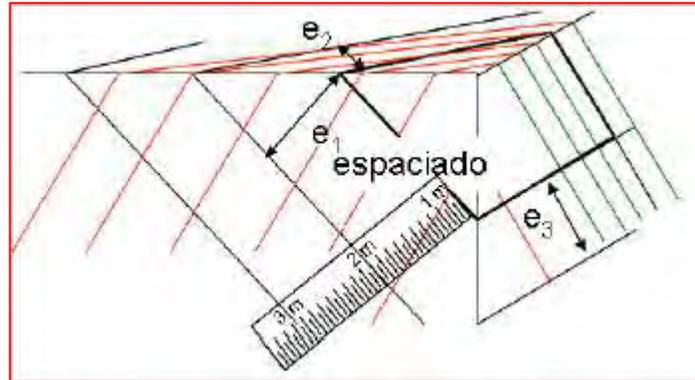


Figura 5: Vista de como medir el espaciado (Fuente: Alberto González Díez).

✓ **Continuidad o persistencia.**

La continuidad es la extensión superficial de la junta sobre la cara del talud.

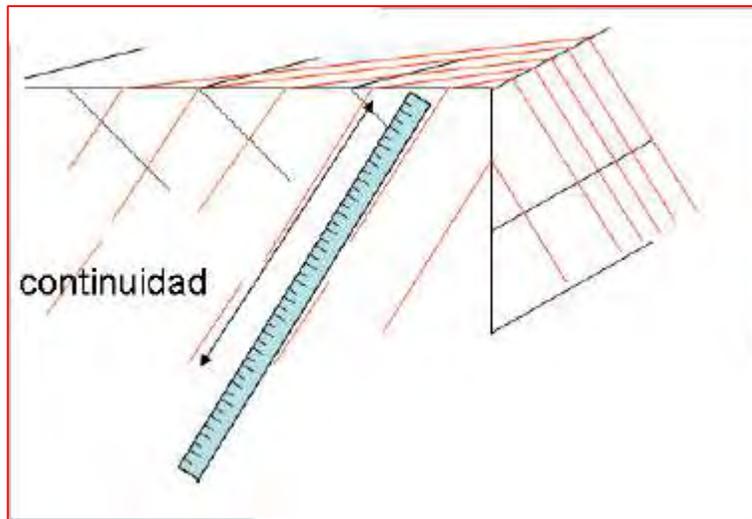


Figura 6: Como medir la continuidad en macizo rocoso (Fuente: Alberto González Díez).

✓ **Rugosidad.**

Se trata de medidas que se realizan sobre la superficie del plano, a partir de un número elevado de medidas, con el fin de determinar estadísticamente el valor de la rugosidad.

Hay que determinar la posible dirección de desplazamiento de los planos, si no realizar medidas para cada posible dirección.

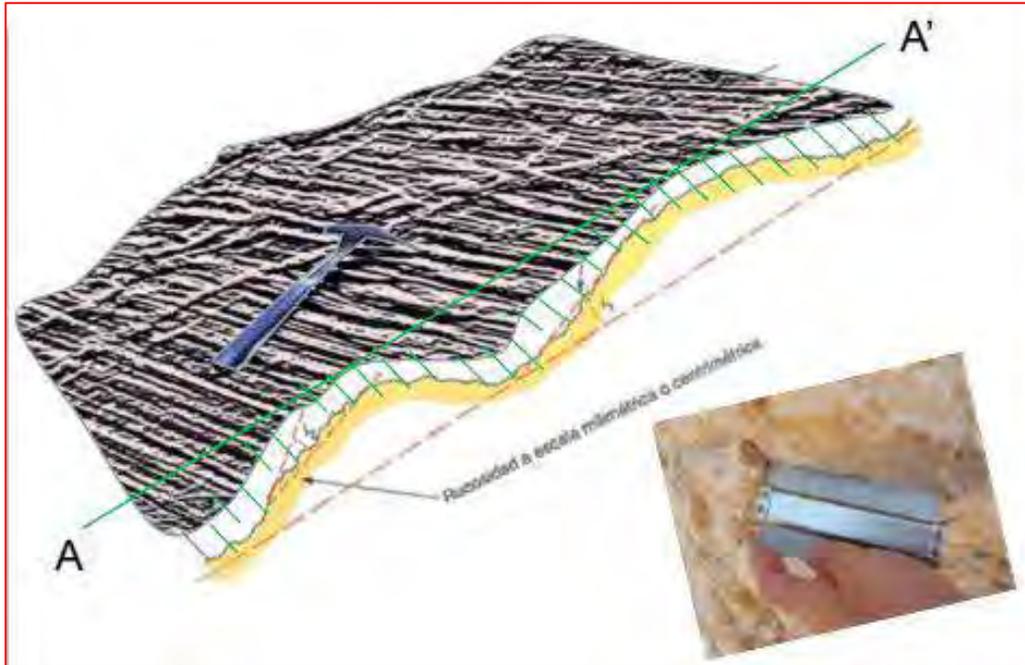


Figura 7: Imagen de medida de la rugosidad de una diaclasa con un perfilómetro. Tomado de Enrique Montalar

(Fuente: <https://enriquemontalar.com/el-perfilometro-y-larugosidad-de-la-junta/>).

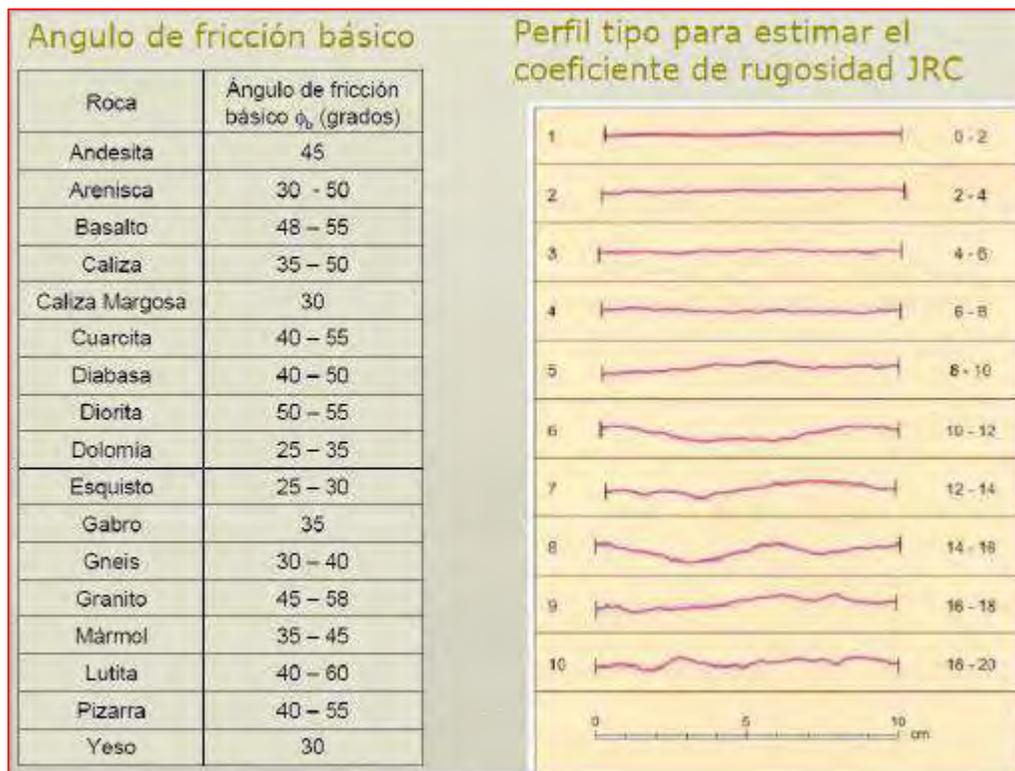


Figura 8: Cuadro de ángulo de fricción y la rugosidad (Fuente: Tomado de González de Vallejo et al., 2002).



✓ **Apertura.**

Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro difiere de unas zonas a otras del macizo rocoso, reduciéndose la apertura en profundidad.

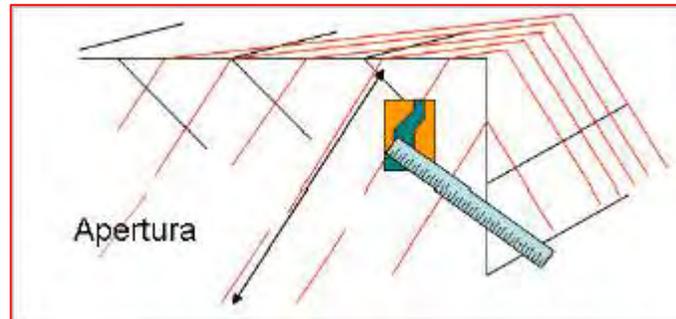


Figura 9: Vista como determinar la apertura en un macizo rocoso (Fuente: Alberto González Díez).

✓ **Relleno.**

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material que es producto de la alteración de las rocas que forman sus paredes y por lo tanto de naturaleza distinta desde un punto de vista petrológico.

✓ **Buzamiento.**

Es el ángulo de inclinación de plano geológico.

✓ **Intemperización.**

Incluye la fractura física y la descomposición química de las rocas y material suelto sobre la superficie terrestre.



✓ **Factor de seguridad (Fs).**

Expresa la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas desestabilizadoras. Valores de Fs superiores a 1.3 indican condiciones estables, y valores menores de 1 y 1.3 indican condiciones inestables a inestables, inferiores a 1 indican condición inestable.

✓ **Factor de perturbación (D).**

Los taludes mineros en tajos profundos sufren daños importantes debido las voladuras que ocasionan cada día para la producción como también el desconfinamiento asociado al desarrollo del tajo. Para evaluar el parámetro D en taludes rocosos es de 0.7 - 1.0

✓ **Monitoreo con Georadar.**

El manejo de los riesgos asociados con inestabilidad de taludes mineros en excavaciones es esencial para que la operación sea segura y económica del plan minado a cielo abierto.

El REUTECH es el georadar radar que se utiliza para escanear a distancia la pared del talud, continuamente monitoreando movimientos del talud. La tecnología detecta y alerta a los usuarios sobre movimientos del talud con una precisión sub-milimétrica, donde las ondas del radar penetran a través de lluvia, polvo y humo, suministrando datos reales y en tiempo real las 24 horas del día.

✓ **Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial o de compresión simple.**

Sirve para determinar la resistencia a la compresión uniaxial de una probeta cilíndrica de roca de altura entre el doble y el triple del diámetro. Generalmente, estas probetas se obtienen a partir de testigos de sondeos mecánicos. También se pueden obtener muestras a partir de bloques de roca mediante una sonda, en el laboratorio; la extracción de estos bloques en la mina o en la obra se debe llevar a cabo sin voladuras, ya que estas pueden generar



microfisuras o aumentar las existentes, lo cual se traduciría en una pérdida de resistencia de las probetas que se obtengan de ellos (**Ramírez, 2004**).

✓ **Altura del nivel freático (NF).**

Al lugar geométrico de los puntos del terreno en estado saturado de aguas en los poros de las rocas.

✓ **Pendiente.**

El talud es la diferencia que existe entre el grosor del sector inferior del muro y el grosor del sector superior, creando una pendiente. Esto permite que el muro pueda resistir la presión que ejerce la tierra detrás de él.

2.11.2.1.2. BASES TEÓRICAS.

✓ **Determinación de RQD.**

Es el índice más usado para medir el grado de fracturación de un macizo rocoso.

✓ **Clasificación de RMR.**

Es un sistema de clasificación de un macizo rocoso que permite a su vez relacionar índice de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación en taludes.

✓ **Determinación de GSI.**

Es un sistema de caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, a través de fácil identificación de una evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo.



✓ Rotura en cuña.

Es uno de los tipos de inestabilidad de taludes en roca, en donde el mecanismo de falla se produce cuando una masa rocosa desliza a lo largo de dos discontinuidades que se intersectan y afloran en el talud de forma que se crea un bloque deslizando en forma de cuña.

✓ Rotura planar.

Se basa en la resistencia que se desarrolla a lo largo de una discontinuidad, está basado en la estabilidad de un talud vertical con una superficie plana a través de una junta.

✓ Rotura por vuelco.

Aparecen principalmente cuando el rumbo del plano de discontinuidad falla y coinciden aproximadamente con el del plano del talud y además tienen un fuerte buzamiento hacia el interior del macizo rocoso.



CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA.

3.1. GENERALIDADES.

3.1.1. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.

Desde el punto de vista geomorfológico, la región está ubicada entre la faja costanera y la vertiente occidental de los andes. El relieve de la región presenta una forma irregular, con unidades geomorfológicas muy variables, producidas por agentes geotectónicos, deposicionales y erosivos; el origen de estos ambientes geomorfológicos está muy ligado al proceso del levantamiento andino.

Estas áreas fisiográficas se encuentran emplazadas longitudinalmente de Sur-Este a Nor-Oeste y se encuentran definidos mayormente por la altitud, relieve, el clima y la geología.

Fisiográficamente se puede diferenciar lo siguiente: llanura costanera, flanco andino y la cadena de los conos volcánicos.

3.1.1.1. LLANURA COSTANERA.

Es un terreno llano y árido, constituido por depósitos clásticos semi-Consolidados de la formación Moquegua, del Terciario Superior. Las capas de dicha formación tienen un suave buzamiento al Sur-Oeste, semejando en conjunto a un plano inclinado, o más bien a una “pendiente estructural suave”. La formación se encuentra extensamente recubierta por un delgado manto aluvial de pie de monte, de edad cuaternaria.

La formación Moquegua, que fundamentalmente constituye la llanura costanera se supone como el resultado del relleno de una cuenca longitudinal existente entre la cadena



costanera y el pie de los andes. La inclinación regional que muestra, así como las flexuras que la afectan deben haberse producido en relación con el movimiento ascensional de los Andes y el reajuste de las grandes fallas longitudinales del frente andino, que facilitaron en parte dichos movimientos.

La llanura costanera se encuentra disectada por numerosas quebradas profundas y secas, verdaderos cañones que corren en dirección Sur-Oeste. Las secciones planas entre dos quebradas contiguas reciben la denominación de “pampas”. Cada quebrada mayor tiene muchos tributarios que surcan las diversas pampas formando un drenaje dendrítico complicado y de difícil acceso. El paisaje típicamente es de “tierras malas”.

3.1.1.2. FLANCO ANDINO.

Es un territorio formado de rocas volcánicas y macizos intrusivos. En conjunto muestra una topografía abrupta y bastante disectada.

El límite entre ambas unidades geomorfológicas es claro; consiste en un cambio notable de pendiente, que va de una relativamente suave, en las pampas de la costa, a otra bastante empinada en la parte baja y frontal del flanco andino. Al Sur-Este del valle de Moquegua el cambio de pendiente sigue un alineamiento definido de Nor-Oeste, Sur-Este; en tanto que al Nor-Este del mismo valle las estribaciones andinas terminan en una escarpa de dirección Este-Oeste, tal como se aprecia en la parte frontal de los cerros los angeles, estuquiña y huarancane, que se levantan a escasa distancia al norte de la ciudad de Moquegua.



En el flanco andino se dividen en dos:

- a) **La parte baja**, que se desarrolla inmediatamente después de la llanura costanera, es un terreno de fuerte pendiente y de topografía difícil que se eleva rápidamente hasta altitudes de 3.100 a 3.400 m.s.n.m.

En esta porción del flanco andino destacan entre otros aspectos los siguientes rasgos morfológicos:

La depresión del área de Torata que es un anfiteatro de erosión fluvial está limitada por la línea de cumbres de los cerros los angeles, estuquiña y huarancane, por el espolón que presentan y las grandes temperaturas presentes al oeste, todo lo cual hace suponer que han sido totalmente removidos por erosión.

- b) **La parte alta del flanco andino**, que sigue inmediatamente al frente abrupto empinado, es un terreno de superficie moderadamente ondulada e inclinada al Sur-Oeste, con algunos sectores planos.

La pampa del medio (en el borde oriental), la pampa tolar, el alto de tala, la parte superior de los cerros Botiflaca, Camaca y otros son rezagos de una superficie antigua de erosión recubiertos por lo tufos Huaylillas y separadas, unas de otras, por las profundas quebradas



que la atraviesan. En conjunto la sección que tratamos se visualiza como una repisa de ancho variable que se desarrolla delante de la zona de conos volcánicos.

Entre las altitudes de 3.200 a 3.400 metros, en partes está señalado por una especie de acantilado de erosión, de contorno irregular. Es notorio que la mencionada superficie de erosión se extendía hacia la costa suavemente inclinada; el hecho está señalado por las cimas casi planas de muchos cerros del frente andino, que idealmente reconstruidas corresponden a la misma superficie que viene a terminar en el borde de las pampas costaneras.

La mencionada superficie fue extensamente cubierta por los tufos de la formación Huaylillas, tal como nos indican los remanentes aislados de dicha formación. Tanto la superficie de erosión como su cobertura de tufos se pierden hacia el Este y Nor-Este, por debajo de los conos volcánicos que se emergen en el extremo Nor-Este del cuadrángulo de Moquegua.

3.1.1.3. CADENA DE CONOS VOLCÁNICOS.

El borde occidental del altiplano meridional, desde los 16° de latitud, hacia el Sur se desarrolla una faja montañosa formada por una sucesión de conos volcánicos, a la que denominamos cadena de conos volcánicos.



La cadena volcánica tiene un ancho de 20 a 30 km. Con rumbo NO - SE; en parte coincide con la divisoria continental y en grandes sectores queda algo más al Oeste de dicha línea.

Toda la zona volcánica ha sido afectada por la glaciación cuaternaria. Rasgos morfológicos de erosión glaciaria como circos, superficies estriadas, pequeñas lagunas en cubetas rocosas, con diques morrénicos y crestas filudas son comunes en los flancos de los volcanes.

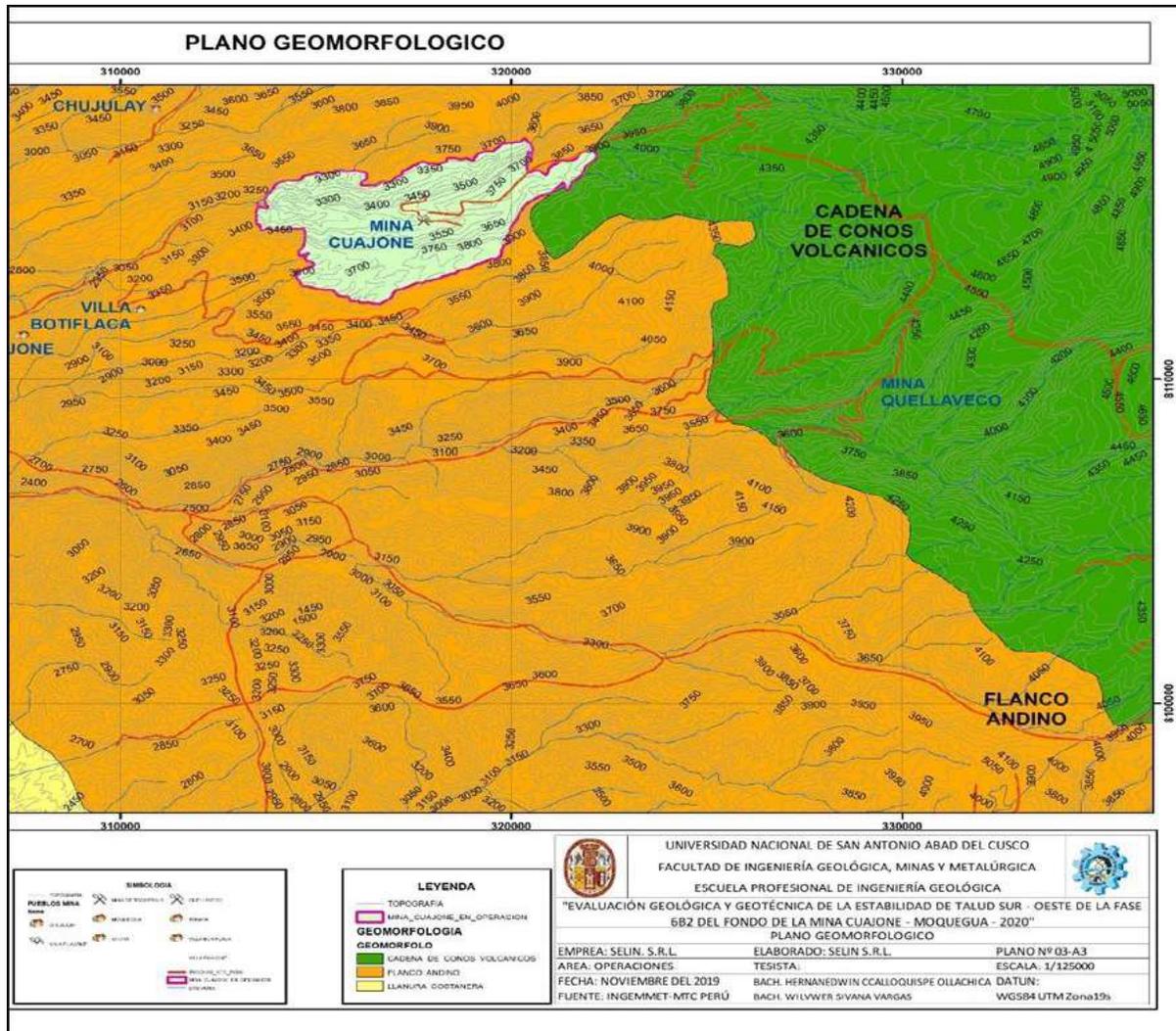


Figura 10: Geomorfología regional de la zona de Mina Cuajone (Fuente: INGEMMET).

3.1.2. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.

La geomorfología local está representada por todas las geoformas, así como altiplanicies, valles y quebradas, las pampas costaneras, mantos arenosos.

3.1.2.1. ALTIPLANICIES.

Esta unidad geomorfológica se caracteriza por su topografía llana entre cadenas de cerros y conos volcánicos. Se presenta como pequeñas planicies mayormente formada por



depósitos fluvioglaciares denominados “Pampas” que fluctúan entre 4000 a 4800 msnm. En casi todas estas pampas se encuentra pequeños caseríos o cabañas de pastores que se dedican a la crianza de alpacas.

3.1.2.2. VALLES Y QUEBRADAS.

La característica principal de los valles es su juventud, los principales se presentan encañonados, con perfiles transversales en “V” y con pendientes más fuertes que las de las superficies de erosión cortadas por ellos. Se tiene como ejemplo el valle formado por el pasar del río Tambo.

3.1.2.3. PAMPAS COSTANERAS.

Esta unidad fisiográfica se extiende longitudinalmente entre la cadena costanera y el pie de las estribaciones de los Andes Occidentales. Es un territorio relativamente llano y desértico de ancho variable que ha sido originado por el relleno de una cuenca, de probable origen tectónico, por depósitos clásticos continentales del terciario superior y cuaternario.

La superficie de esta planicie tiene una suave inclinación hacia el Sur. Entre el río tambo y el borde occidental de la quebrada guaneros la planicie se encuentra formada por una sucesión de pampas ligeramente escalonadas, debido posiblemente al sistema de fallamiento en bloques del sustrato. Las pampas coloradas, repartición, salinas, clemesí, la zorra, etc., constituyen extensas superficies casi planas, cuya monotonía es rota por la presencia de suaves colinas bajas, redondeadas o alargadas que se presentan indistintamente dentro del área. El conjunto de estas pampas constituye el desierto clemesí.



3.1.2.4. MANTOS ARENOSOS.

Esta unidad se caracteriza por presentar materiales arenosos de variada composición litológica, constituida principalmente por arenas finas, medias y gruesas, transportados básicamente por acción de los vientos, y depositadas sobre la planicie costera, lomadas, colinas, y las estribaciones bajas de la cordillera costera.



CAPITULO III: UNIDADES GEOLÓGICAS Y ESTRATIGRÁFICAS.

4.1. GEOLOGÍA REGIONAL.

La secuencia regional vulcano-sedimentarias más antigua son de los volcánicos del Grupo Toquepala (Cretácea Superior – Terciario inferior), constituidos por aglomerados y piroclastos marrón rojizo, violáceo a gris verdoso, cuyas composiciones varían desde andesíticas, dacitas, traquitas y riolitas, con intercalaciones locales de sedimentos clásticos y conglomerados con más de 3,000 m de espesor las cuales afloran a lo largo del Flanco Andino. Este grupo está comprendido por diversas formaciones tales como: Quellaveco, Paralaque, Inogoya y Toquepala, las cuales han sido depositadas en formas de lavas, debido a la presencia de discordancias que existen entre ellas.

Sobreyaciendo con fuertes discordancias, se tiene la Formación Moquegua (Plioceno-Mioceno) con un espesor de 500 a 600 m constituido por clastos de deposición continental, este grupo cubre la mayor extensión de la zona meridional del cuadrángulo de Moquegua, está comprendido por dos formaciones: Moquegua Inferior y Moquegua Superior.

Volcánico Huaylillas (Plioceno - Mioceno) sobreyace en forma discordante al Grupo Toquepala y Formación Moquegua, compuesta principalmente de una serie piroclástica tobácea y flujos riolíticos. Está representada en el flanco andino con formas de cuerpos remanentes en fase de erosión. (BELLIDO 1979).



En el área de estudio afloran las diferentes unidades estratigráficas a nivel regional son:

4.1.1. GRUPO TOQUEPALA.

Conjunto de rocas volcánicas, con algunas intercalaciones de clásticos gruesos, que afloran a lo largo del Flanco Andino, desde los cerros La Caldera, en Arequipa, hasta la frontera con Chile. El grupo Toquepala se ha dividido en las siguientes formaciones:

- Formación Toquepala.
- Formación Inogoya.
- Volcánico Paralaque.
- Volcánico Quellaveco.

4.1.1.1. FORMACIÓN TOQUEPALA.

La formación se compone en la parte inferior, de derrames, brechas de flujos piroclásticos de composición andesítica, dacítica y riolítica de color gris, gris verdoso, pardo y violeta; en la parte media incluye lentes de conglomerados y areniscas de color verdoso a marrón, y en la parte superior derrames y brechas de flujos riolíticos, de colores pardo claro y aglomerados de color blanquecino, rosado o verdoso. La secuencia tiene un grosor de 650 - 700 m.

4.1.1.2. FORMACIÓN INOGOYA.

En la localidad típica la formación Inogoya tiene 430 metros de grosor. En la mitad inferior se compone de conglomerados y areniscas gruesas, de naturaleza volcánica y matriz



areno-tufáceas; la roca es de color gris verdoso y pardo claro, los elementos del conglomerado son principalmente pórfidos con tamaño que varía desde pocos centímetros hasta cerca de 100 cm. de diámetro; La parte superior es areno-tufáceas de color pardo a verdoso, con bandas y lentes de conglomerados de elementos medianos a pequeños.

4.1.1.3. VOLCÁNICO PARALAUQUE.

El nombre de esta formación deriva de la hacienda Paralauque, ubicada en las laderas del río Quele, a unos 5 Km. al Nor-Oeste de Torata.

En la ladera que se extiende al este de dicha hacienda, aflora una secuencia de rocas volcánicas de más de 2000 metros de espesor, compuesta mayormente por derrames de dacita, riolita y andesitas, de colores marrón y rosado claro con intercalaciones de piroclásticos y lentes de conglomerados en el tercio superior. Los derrames volcánicos tienen rumbo general Norte-Oeste con buzamientos que varían desde pocos grados hasta 30 o 35 al Norte.

4.1.1.4. VOLCÁNICO QUELLAVECO.

El Volcánico Quellaveco aflora en forma muy restringida en los alrededores de las minas Cuajone, Quellaveco y Toquepala; la Serie Toquepala es completamente local, incluye derrames de pórfido cuarcífero, andesitas y riolitas, y sólo aflora en una pequeña colina que sobresale al lado Norte-Oeste del tajo abierto de la mina de Toquepala.

Las unidades estratigráficas del volcánico Quellaveco son:



4.1.1.4.1. PÓRFIDO QUELLAVECO.

Consiste en flujos macizos de riolitas con granos gruesos de cuarzo redondeados y ortosas mayormente blanquecinas en una matriz fina. En la zona de Cuajone se le conoce con el nombre de Riolita Porfirítica, mientras que en la zona de Toquepala se le conoce como Cuarzo Quellaveco.

4.1.1.4.2. SERIE TOQUEPALA.

Sobreyace discordantemente a la Andesita Toquepala, se presenta mayormente bandeada con pequeños lentes de feldespatos. Es de color gris claro violáceo.

4.1.1.4.3. SERIE ALTA.

Es una secuencia de flujos volcánicos compuestos por derrames piroclásticos, riolíticos, dacíticos y andesíticos con intercalaciones de clastos grandes. También se tiene la presencia de flujos andesíticos brechoides de colores negruscos verdosos a marrones, con textura porfirítica, intercalados con brechas de flujo y conglomerados. En los niveles más recientes se encuentran flujos riolíticos rosáceos conglomerados y piroclástico.

4.1.1.4.4. RIOLITA YARITO.

La riolita es de color claro rosácea y violácea. Presenta una textura porfirítica con fenos de feldespatos de hasta 0.5 cm. generalmente caolinizados. También se presentan algunas hornblendas alteradas. La matriz es microgranular a afanítica.



4.1.1.4.5. RIOLITA TINAJONES.

Aflora en las cercanías de Cuajone, presenta una coloración rosado claro, grisácea y blanco amarillento. Presenta una textura porfirítica y su ocurrencia es en bancos medianos a gruesos. Se puede observar granos de cuarzo angulares a redondeados, feldespatos y micas en una matriz microcristalina a afanítica. Sobreyace en discordancia a la Serie Alta.

4.1.2. FORMACIÓN MOQUEGUA.

ADAMS (1908), describió como Formación Moquegua a la serie de capas continentales, compuestas por arcillas, areniscas, conglomerados, areniscas tufáceas y tufos de color rojizo a blanco amarillento, que afloran típicamente en el valle de Moquegua y se extienden por centenas de kilómetros, tanto al Norte como al Sur de dicho valle, entre la Cadena Costanera y el pie de la Cordillera occidental.

La Formación Moquegua sobreyace, con fuerte discordancia a las rocas volcánicas del Grupo Toquepala, tal como se observa en el valle de Moquegua, así como en la parte baja de la mina Toquepala.

En otras localidades fuera del cuadrángulo sobreyace a formaciones más antiguas, como es el caso de la Formación Guaneros, del Jurásico Superior y sobre la superficie erosionada de rocas intrusivas pertenecientes al batolito.



Sobre la formación Moquegua se reconocen permanente erosión de un banco de tufo blanco de 15 a 20 metros de grosor, a veces más potente, que corresponde a la formación de Huaylillas.

4.1.2.1. FORMACIÓN MOQUEGUA SUPERIOR.

Este miembro tiene una litología areno-conglomerádica que sobreyace con débil discordancia, a las capas del miembro inferior, tal como se le nota en la parte alta del valle de Moquegua y en los cortes de las quebradas.

El contraste de color y topografía entre los dos miembros de la formación Moquegua es claro y visible a distancia y permite definir claramente el contacto. Su parte superior está parcialmente cubierta por un banco de tufo blanco del Volcánico Huaylillas, de 15 a 20 m. de grosor.

La litología de Moquegua superior es principalmente conglomerados y areniscas con algunas intercalaciones de tufos y areniscas tufáceas, arcillas, tufos redepositados, etc. Su grosor, textura y estructura varían de un sitio a otro tal como se les observa en la parte central.

4.1.2.2. FORMACIÓN MOQUEGUA INFERIOR.

Este miembro se encuentra bien expuesto en las partes bajas del valle de Moquegua, aguas abajo de la ciudad, Moquegua Inferior consiste en una secuencia de areniscas arcósicas a tufáceas, de color gris a marrón claro, que alternan de forma casi regular con areniscas arcillosas y arcillas, grises a rojizas. Las areniscas son de grano grueso a medio y se componen



principalmente de feldespato y cuarzo de formas subangulares, con regular cohesión y a veces bastante compacta por su matriz arcillosa. Las areniscas de las partes inferiores presentan en bancos de 50 a 150 m. e intemperizan exfoliándose en láminas concéntricas; en las partes superiores las capas son más delgadas de 20 a 50 m. y predominan los horizontes arcillosos con capitas y venillas de yeso. Se presentan horizontales o suavemente inclinados hacia el Este.

4.1.3. VOLCANICO HUAYLILLAS.

Esta unidad estratigráfica fue descrita por WILSON y GARCÍA (1962) como una secuencia volcánica compuesta principalmente por tufos y subsidiariamente por derrames lávicos ácidos de colores blanco y rosado, que cubren extensas áreas de los cuadrángulos de Pachía y Huaylillas.

En la hoja de Moquegua el Volcánico de Huaylillas se presenta mayormente en el sector norte del cuadrángulo, donde sus afloramientos se hallan distribuidos a manera de pequeños parches irregulares o en forma de lenguas que cubren las superficies que quedan entre quebradas adyacentes. La solución de continuidad de dichos afloramientos indica intensa remoción de estas rocas de naturaleza relativamente blanda.

El Volcánico Huaylillas del área de Moquegua, fundamentalmente consiste de tufos dacíticos y riolíticos de colores blanco grisáceo, gris blanquecino y rosado. Estas rocas superficialmente intemperizan a pardo rojizo o pardo amarillento y destacan notablemente en



el paisaje por su color y por sus farallones verticales que se forman por erosión en el contorno de sus afloramientos.

4.1.4. FORMACIÓN CHUNTACALA.

Es una secuencia de tobas, aglomerados de colores, rosáceos y marrones, cuyos miembros se encuentran en unos casos en forma gradacional; y en discordancia erosional, atribuidos a levantamientos y erosiones sucesivas intraformacionales.

La secuencia empieza formando por conglomerados, flujos, tufo volcánico y aglomerados. Aglomerado Inferior, Toba Superior, Aglomerado Superior, finalmente en las cumbres Andesita Porfirítica. Se le asigna una edad de 9 a 14 MA (Mioceno medio a superior).

4.1.5. FORMACIÓN CAPILLUNE.

El nombre de Formación Capillune fue propuesto por MENDIVIL (1962), para describir a una secuencia de conglomerados, areniscas, arcillas y tufos redepositados de origen lacustre, que aflora típicamente en la localidad de Capillune, del cuadrángulo de Maure.

La mencionada formación tiene amplia distribución en el altiplano andino y sus afloramientos, en capas horizontales, de color blanco amarillento, son bien conspicuos.

La formación aflora en los alrededores del poblado de Asana, (cabecera del río del mismo nombre). En esta localidad la formación suprayace, con discordancia, a los tufos Huaylillas e infrayace, con igual relación a los volcánicos Barroso. En las paredes del amplio



valle glaciar que se desarrolla aguas arriba del poblado de Asana, se reconoce una sección de 200 m. de conglomerados con intercalaciones de areniscas.

La naturaleza de los sedimentos de la formación Capillune indican depositación en un ambiente continental lacustre, por medio de fuertes corrientes, probablemente de corto recorrido. La gran extensión que cubren estos depósitos de litología algo variada sugiere que se trata de una amplia o de numerosas cuencas conectadas entre sí.

4.1.6. VOLCÁNICO BARROSOS.

WILSON y GARCÍA (1962) describen con esta denominación una serie de rocas volcánicas de composición predominantemente andesítica, traquítica y tranquiandesítica, que conforman la Cordillera de Barroso, en la hoja de Palca. La cadena volcánica mencionada, con sus conos típicos, se prolongan hacia el Nor-Oeste por los cuadrángulos de Maure y Tarata y pasa por la esquina Nor-Este de la hoja de Moquegua, donde está representada por los volcanes Arundane (5.2m.) y Chuquimanta (5.4m.) de rocas andesíticas cuyas cimas quedan en los cuadrángulos de Omate y Tarata, respectivamente.

Las rocas de la formación consisten en derrames intercalados con brechas de flujo y piroclásticos, son de color gris claro, gris pardo hasta gris oscuro.

Los derrames son mayormente de andesitas basálticas, tienen textura porfirítica, con fenocristales de feldespatos de 1 a 2 mm. de longitud que muestran cierta orientación, distribuidos en una pasta fina de gris pardo.



4.1.7. DEPÓSITOS MORRENICOS Y FLUVIOGLACIARES.

En la esquina Nor-Este del cuadrángulo, cubriendo por encima de los volcanes Arundane y Chuquiamanta se ha mapeado, en forma indiferenciada, depósitos morrénicos y fluvio-glaciares.

Estas acumulaciones se extienden entre altitudes de 4.200 a 4.800 metros; por arriba de esta cota aparecen mayormente rocas descubiertas y en las cumbres del Arundane existe una cubierta parcial de nieve. Pequeñas morrenas laterales y terminales se encuentran bien conservadas en las partes superiores de las áreas cubiertas por depósitos glaciares; las primeras se presentan como colinas largas de crestas bien definidas a ambos lados de los valles glaciares. El material morrénico se compone de una mezcla heterogénea de cantos angulosos de rocas volcánicas en una matriz areno-arcillosa; en los flancos de dichas morrenas es común observar gruesos bloques.

4.1.8. DEPÓSITOS ALUVIALES.

Bajo esta denominación general se ha empleado, en forma indiferenciada, las acumulaciones aluviales de pie de monte, las terrazas aluviales y los conos de deyección.

En la hoja de Moquegua estos depósitos de pie de monte de encuentran bien desarrollados inmediatamente delante del Frente Andino, entre los valles de Moquegua y Locumba. En las pampas: Lagunas, pascana, del totoral, etc., el manto aluvial se compone de cantos redondeados, subangulosos; pero mayormente volcánicas de colores morado, pardo,



negro, etc., cuyas dimensiones varían entre 5 a 30 m. de diámetro, englobados en una matriz areno-arcillosa.

Muy aisladamente se observan lentes de areniscas y tufos redepositados. Superficialmente de color pardo rojizo y forma de lomadas suaves. El grosor de esta cobertura aluvial, así como el tamaño de los elementos que lo componen varían de Norte a Sur; en las porciones contiguas al frente andino tiene de 40 a 50 m. de espesor o algo más.

Se supone que estos conglomerados se han depositado por la acción de numerosos torrentes que descendían de las porciones superiores del Flanco Andino. Los abanicos aluviales de los diversos torrentes fueron incrementados en grosor y amplitud lateral hasta anastomosarse unos con otros y constituir una cubierta aluvial continua del tipo piedemonte.

Este proceso se habría llevado a cabo en una época de abundante escorrentía originada por el deshielo de los glaciares que cubrían las cumbres de la Cordillera Occidental.

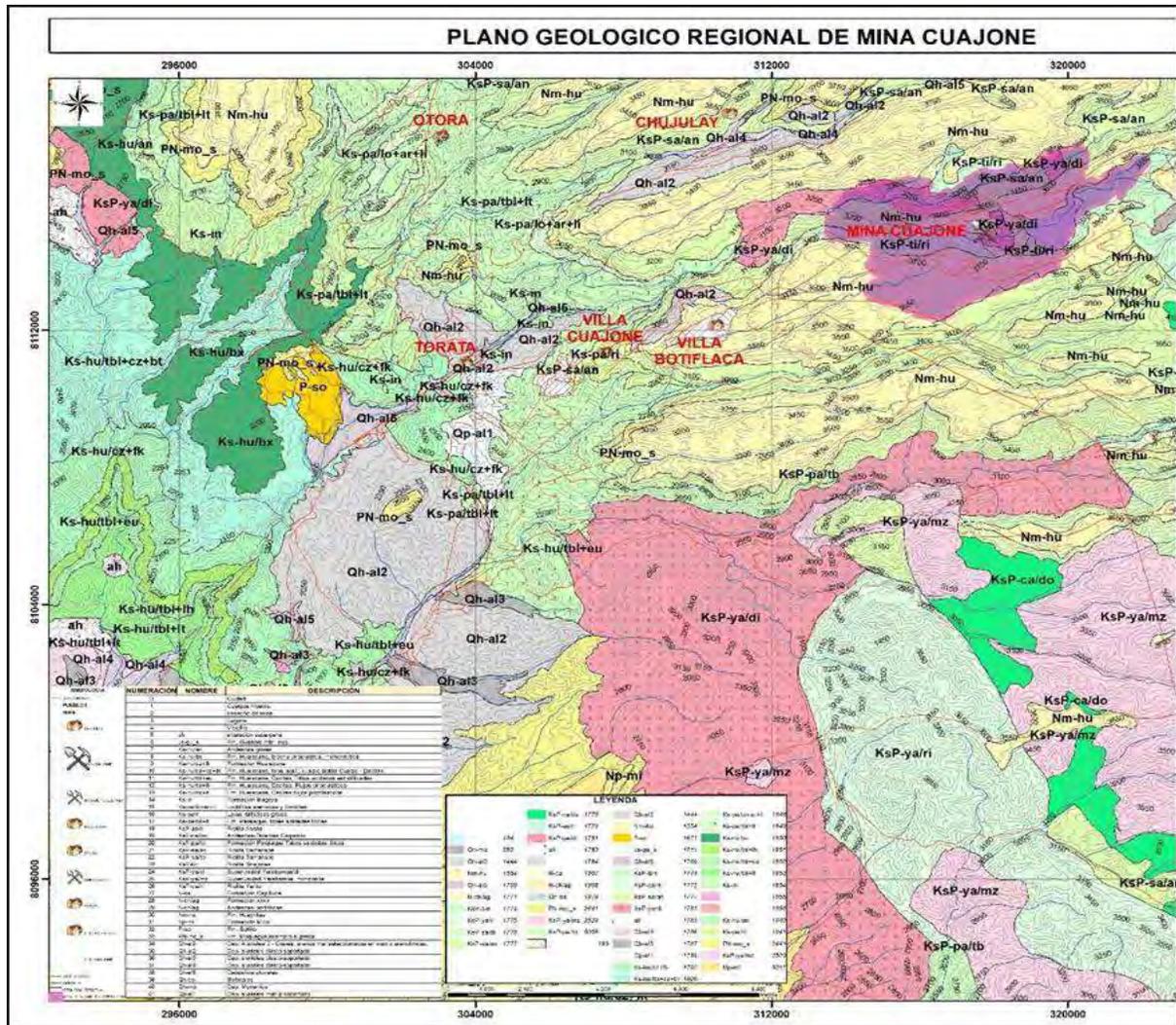


Figura 11: Geología regional del área de la Mina Cuajone (Fuente: GEOGPSERU E.I.R.L.).

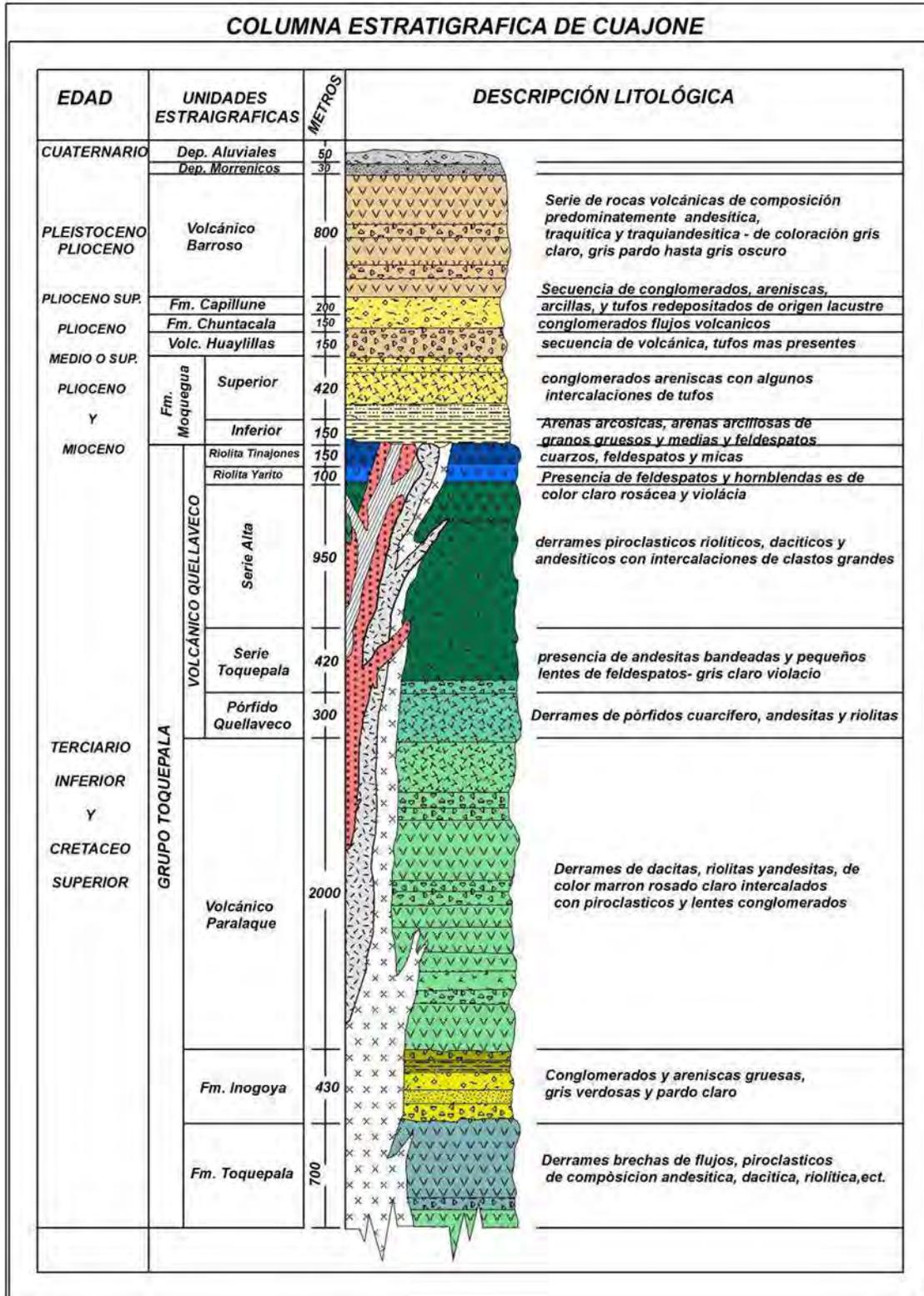


Figura 12: Columna estratificación regional de Mina Cuajone: Bellido 1972, (Fuente: GEOTECNIA-SPCC).



4.2. GEOLOGÍA LOCAL.

Fisiográficamente, la mina de Cuajone se encuentra en el Flanco Andino que está constituido por rocas volcánicas y macizos intrusivos que muestran una topografía abrupta con fuertes pendientes cuyas cumbres llegan a los 4,000 m.s.n.m. En las partes altas se presenta una topografía moderadamente ondulada con algunos sectores planos mayormente cubierto por rocas volcánicas.

El cuerpo mineralizado ha sido parcialmente erosionado en el lado Nor-Oeste por el río torata y débilmente erosionado en su parte central de Este a Oeste en la quebrada chuntacala que discurre sus aguas en épocas de lluvia al río torata.

Como es el caso de muchos depósitos de pórfidos de Cu, una intensa alteración hidrotermal ha destruido parcial y totalmente la textura original de las rocas caja y la agrupación mineralógica en las rocas pre-mineral e intrusivas en Cuajone.

La litología que domina el yacimiento está mayormente conformada por rocas volcánicas que se han depositado a través de los tiempos desde fines del cretáceo hasta la actualidad, no se tiene afloramientos de rocas de mayor antigüedad.

En caso de muchos depósitos de pórfidos de Cu, este depósito viene siendo desde cretácico hasta la actualidad, donde no se observa afloramientos de mayor antigüedad por lo cual es importante conocer la litología, mineralización y las alteraciones hidrotermales.



4.2.1. LITOLOGÍA.

La litología que predomina en Cuajone está mayormente conformada por rocas volcánicas que se han ido depositando a través de los tiempos, desde fines del cretáceo hasta la actualidad.

En el área no se tienen afloramientos de rocas de mayor antigüedad.

Se tienen identificados 5 grupos con diferentes tipos de roca y que han sido divididas en:

4.2.1.1. GRUPO 1: (VOLCÁNICOS PRE MINERAL).

Las rocas más antiguas en el área de la mina son los dos miembros más bajos del grupo Toquepala de volcánicos (cretáceo superior 1 paleoceno), la andesita basáltica y la Riolita Porfirítica.

La andesita basáltica parte de su coloración oscura a la biotita, probablemente de origen hidrotermal, anfíbolita (tentativamente antofilita) y al piroxeno (hendenbergita) que han sido identificados. Algún remanente de la estructura porfirítica, se puede encontrar, en la forma de finos granos anhedrales, ocasionalmente subhedrales, ferromagnesianos corroídos, aunque la alteración es a menudo total, la parte inferior del basalto no ha sido encontrada ni en taladros, ni en roca expuesta.



El flujo de Riolita Porfirítica concordante con los estratos de basalto es de ligera profundidad. La potencia de la riolita es arriba de los 250 m, la riolita tiene una estructura fuertemente porfirítica, con cuarzo circundante y fenocristales de 2 mm de promedio, en una matriz afanítica.

4.2.1.1.1. RIOLITA PORFIRITICA (RP).

Está compuesta por un flujo ácido porfirítico de textura muy marcada con abundantes fenocristales de cuarzo de diferentes tamaños de hasta 2 mm de diámetro, generalmente subredondeados. La matriz es afanítica, densa y dura con una coloración de gris claro a blanquecino, está concordantemente encima de la Andesita Basáltica (AB) con un ligero buzamiento hacia el Oeste-Suroeste (Manrique y Plazoles 1980). La potencia de este flujo lávico llega hasta los 370 m. y en la actualidad se encuentra aflorando principalmente en la ladera Sur de la quebrada chuntacala y en la ladera norte de la quebrada torata. Se correlaciona con cuarzo quellaveco (QQ), volcánico quellaveco de grupo toquepala que aflora en la mina Toquepala.

4.2.1.1.2. ANDESITA INTRUSIVA (AI).

Andesita intrusiva está compuesta por granos de plagioclasas, biotita, hornblenda y cuarzo, con una coloración gris verdosa, con una textura mayormente equigranular. Se encuentra en mayor proporción en la zona Sur-Este del yacimiento porfirítico bordeando principalmente los cuerpos de latita porfirítica. Esta roca viene a ser una alteración de la andesita basáltica (AB). Todas las alteraciones crearon una serie de confusiones con la referencia a la presencia de una andesita intrusiva (AI), pero por estudios recientes, se ha confirmado que esta roca no viene a ser sino una alteración fílica de la andesita basáltica (G. Park 1998).



4.2.1.1.3. ANDESITA BASÁLTICA (AB).

Secuencia de flujo lávico pertenecientes probablemente a los volcánicos para laque del grupo toquepala, rocas de color gris verdosa a negra, dependiendo del grado de alteración.

Su color es debido a la sobreimposición de biotita secundaria de origen hidrotermal, presenta una textura que varía de fanerítica holocristalina de grano fino a porfirítica. La potencia no ha sido definida debido a que ningún taladro diamantino ha logrado atravesarla y superficialmente se constituye en la roca basal de toda secuencia volcánica.

Se estima una potencia superior a los 800 mts. Los fenocristales son subhedrales a euhedrales y están constituidos mayormente por plagioclasas, en menor cantidad por hornblenda que mientras más cerca del cuerpo mineralizado, debido a la alteración, están mayormente alteradas a biotitas secundarias, en muchos de los afloramientos se manifiesta un débil magnetismo. Se le ha considerado como una serie de flujos andesíticos volcánicos, pero últimamente está cobrando mayor fuerza la teoría de ser un intrusivo somero perteneciente al Batolito Andino del Sur que en la zona de Arequipa toma el nombre de Batolito de la Caldera.

La teoría se basa generalmente en las texturas presentes en los taladros diamantinos de esta roca, se han llegado a observar vetillas sinuosas, de cuarzo granular y halos de feldespatos potásicos, lo que lleva a interpretar que éstas se formaron en un ambiente de elevada temperatura en un sistema viscoso durante la cristalización del magma.

Cerca de la zona mineralizada se tiene una serie de minerales constituyentes de esta roca como productos de alteración, tal es el caso de la presencia de Sílice, Biotita secundaria, Epídota, Cloritas y Arcillas.



4.2.1.2. GRUPO 2 (INTRUSIVOS).

El principal cuerpo intrusivo en Cuajone es un stock de latita porfirítica alterada y mineralizada.

Para el área de la mina este es un stock de latita porfirítica cuarzosa, con cuarzo libre rodeado de fenocristales de 2 - 4 mm de diámetro. Aunque altamente alterados, algunos feldespatos pseudos morfológicos han sido preservados en cristales alargados de 2 x 5 mm de promedio. La matriz probablemente fue criptocristalina.

Los contactos entre la latita y los volcánicos pre-mineral son especialmente con andesita basáltica, puede ser transicional a causa de la asimilación.

4.2.1.2.1. DIORITA.

Aproximadamente entre 1 y 2 km. Al oeste del cuerpo mineralizado, se tiene un stock de diorita de forma irregular elongado cuyo eje mayor tiene una dirección predominante Norte-Sur. Este stock atraviesa a la andesita basáltica y a toda la secuencia de rocas pertenecientes al grupo toquepala.

Dataciones radiométricas recientes tomadas en la quebrada chuntacala y en la quebrada torata, le asignan una edad de 66.7 ± 1.7 M.A. (Park, 1998).



Las rocas tienen una coloración que varía de gris – gris verdoso, gris oscuro. Mayormente son holocristalinas, equigranulares de grano medio a grueso y ocasionalmente son porfiríticas. En superficie presentan una disyunción esferoidal.

Otro pequeño stock de diorita aflora a 1.7 km. al este del cuerpo mineralizado en la quebrada torata. Tiene una longitud de afloramiento de 0,7 km de largo por 0,35 km de ancho y su coloración es gris oscuro a negra.

4.2.1.2.2. LATITA PORFIRÍTICA.

Con una dirección predominante Nor-Oeste, Sur-Este, se tiene la presencia de un cuerpo intrusivo de latita Porfirítica de aproximadamente 2,5 km de largo por 0,7 km de ancho, elongado, que se encuentra intensamente alterado en su sector Sur-Este decreciendo dicha alteración hacia el Nor-Oeste.

Se le asigna una edad eoceno inferior entre 57 y 52 M.A (Estrada 1975, Me Bride 1977, Zweng 1984, Beckinsale 1985, Ciark 1990, Tosdal 1990 y Park 1998).

Principalmente basados en la ocurrencia y cantidad de mineralización y en las alteraciones, se asume que ha habido tres pulsos magmáticos que estarían conformando este cuerpo intrusivo.



4.2.1.2.3. LATITA PORFIRÍTICA 1.

El primer pulso magmático está ubicado en el sector Sur-Este del afloramiento de esta roca en lo que actualmente constituye el tajo principal. Esta intrusión habría sido la responsable de la mineralización en cuajone en la cual tanto la latita porfirítica como las rocas pre minerales que la rodean fueron mineralizadas e intensamente alterados.

La latita porfirítica se presenta fuertemente alterada con una textura predominantemente porfirítica con granos de cuarzo que llegan hasta 4 mm de diámetro sub redondeados y feldespatos rectangulares mayormente alterados en una matriz criptocristalina.

Todo este cuerpo está conformado por una mineralización de cobre y molibdeno explotable económicamente.

Los contactos litológicos con las rocas que la rodean son mayormente cercanos a la vertical y principalmente con la andesita basáltica por la alteración, el contacto es gradacional.

4.2.1.2.4. LATITA PORFIRÍTICA 2.

El segundo pulso magmático es actualmente conocido como Barren Latite Porphiritic (BLP). Se encuentra localizado en dos sectores que muy probablemente se interconectan en profundidad: El primer sector aflora instruyendo al primer pulso de latita porfirítica en su parte central con una forma irregular elongada hacia el Nor-Oeste en una longitud aproximada de 300m. de largo por 200m. de ancho. El segundo sector aflora inmediatamente al Nor-Oeste del primer pulso en la parte media del afloramiento total de latita porfirítica con una forma



ovoide de aproximadamente 850m de largo por 550m de ancho, este pulso se encuentra separando el cuerpo mineralizado principal con el cuerpo mineralizado perteneciente a la extensión Nor-Oeste.

Presenta una menor alteración y la mineralización tiene leyes de cobre que actualmente económicamente no son explotables.

4.2.1.2.5. LATITA PORFIRÍTICA 3.

El tercer pulso magmático se encuentra ubicado en el sector Nor-Oeste del afloramiento de la latita porfirítica en el valle del río Torata y presenta un diámetro aproximado de 800 m. La roca se presenta con una alteración débil, con escasa mineralización de cobre. Los granos de cuarzo en algunos casos llegan hasta 2cm. de diámetro, sub redondeados a redondeados en una matriz microcristalina a criptocristalina.

4.2.1.2.6. BRECHAS.

Consisten en clastos redondeados a sub redondeados localmente derivados, alterados y mineralizados en volcánicos y rocas intrusivas, contenidos en una matriz fresca de latita porfirítica.

La intrusión de los cuerpos de Latita Porfirítica (LP 1, LP2 y LP3), originaron la presencia de cuerpos de brecha bordeando dichas intrusiones que están mayormente constituidos por clastos de latitas y andesitas de diferentes tamaños redondeados, sub redondeados, angulares y subangulares dependiendo del arrastre que han tenido desde



profundidad envueltos en una matriz de latita Porfirítica de ahí que se derivan las Brechas Porfirítica (de LP1, LP2 y LP3).

Estas brechas se encuentran mayormente ubicadas en el contacto entre los diferentes pulsos magmáticos de latita porfirítica y en menor proporción aprovechando zonas de debilidad como fallas y fracturas en las cercanías a estos contactos tal y como sucede en el sector Sur-Este del tajo, con la falla mayor sur.

Del mismo modo aquellas que aparecen en contacto con la andesita originan las brechas de andesita basáltica y brecha andesita intrusiva.

Otro tipo de brecha presente es la pebble de alteración hidrotermal que generalmente tienen forma de diques con clastos redondeados a sub redondeados con matriz de polvo de roca y originadas de eventos tardíos que no contienen alteración hidrotermal y son estériles.

4.2.1.2.7. DIQUES.

En la mina Cuajone se tiene la presencia de diques de hasta 800 m de longitud con potencias variables hasta de 3m compuestos mayormente por latitas porfiríticas con ocasional mineralización diseminada que tiene relación con la segunda intrusión de latita porfirítica 2.

Mayormente se encuentran emplazados en fallas cuyas direcciones son variadas con cierta predominancia hacia el Nor-Oeste y Este-Oeste. Los buzamientos son sub verticales hacia el Sur, Sur-Oeste.



4.2.1.3. GRUPO 3: (VOLCÁNICOS POS-MINERALES).

Las mayores secuencias piroclásticas son reconocidas en cuajone, separadas por la formación quebrada chuntacala y ahora por el minado. Estos son los volcánicos huaylillas y los volcánicos chuntacala del lado sur y lado norte de la mina respectivamente, Sus edades son 17-22 millones de años para huaylillas y de 9-14 millones de años para chuntacala.

4.2.1.3.1. FORMACIÓN HUAYLILLAS.

Aflora principalmente en la ladera sur al Sur-Este de la quebrada chuntacala y en la ladera norte del río torata. Está constituida por una secuencia de conglomerados, tobas, vitrófiros, traquitas (denominación local por Manrique y Plazoles, 1975) y aglomerados. Se le asigna una edad entre 17 y 23 MA y presenta potencias de hasta 230 m. en los alrededores de lámina. Sobreyace discordantemente a las rocas del grupo toquepala e intrusivos.

La secuencia comienza con un conglomerado riolítico cuyo afloramiento se presenta al Este del tajo rellenando una paleo superficie con una dirección predominante Este-Oeste. Consiste de clastos subangulares a sub redondeados indiferentemente clasificados y con tamaños hasta de 0,40 m de diámetro mayormente compuestos de riolitas en una matriz arenosa arcillosa tufácea.

Sobre yace a la riolita porfirítica en discordancia erosional y se constituye como la roca base de la formación huaylillas. Por medio de perforación diamantina sea logrado interceptar hasta 110 m. de potencia en este tipo de roca.



la Toba Salmón es la segunda roca de esta formación. Se presenta en la ladera sur de la quebrada chuntacala cuya potencia llega hasta 16 m. y cubre como un manto en discordancia erosiona a las rocas pre mineral, intrusivo y al conglomerado riolítico. Entre sus características principales se tiene una coloración rosácea principalmente en la base que va gradualmente cambiando a blanquecina en el tope, es blanda de grano fino y presenta un fracturamiento conoidal. En la ladera norte del río Torata, la toba salmón aflora con una potencia de hasta 100 m. con una coloración gris clara blanquecina a rosácea, es también blanda y presenta fenocristales de sanidina, flogopita y biotita.

Gradacionalmente entre la toba salmón y las traquitas se tiene la presencia de vitrófiros con potencias variables hasta de 20m. que sugiere un flujo de material muy viscoso el cual tuvo un enfriamiento muy rápido. Las coloraciones varían de rosáceas en contacto con la toba Salmón a marrones y negras hacia el tope en contacto con las traquitas, es frágil y presenta fractura concoidea.

Sobreyaciendo gradacionalmente a la toba salmón y a los vitrófiros, se tiene la presencia de una potente capa de Traquitas que presentan una coloración marrón pardusco-rosácea y violácea con cristales anhedrales de flogopita, fenos anhedrales y subhedrales de sanidina y ocasionales biotitas. La matriz es silicificada y de color marrón parduzco a violácea.

Presenta un fracturamiento rugoso sub horizontal predominante con ocurrencia principalmente de arcillas como relleno y potencias variables de hasta 0.30m. Ocurren



también otros fracturamientos subverticales con diferentes direcciones y fractura mayormente concoidea con pátinas y rellenos locales de piro lusita dendrítica. La característica principal de esta roca es que presenta un bandeamiento de flujo y la ocurrencia variada de vesículas de diferentes diámetros. Se han descrito hasta doce variedades de flujos de traquita que tienen características estructurales particulares en cuanto a fracturamiento (Satchwell 1982).

Sobreyaciendo a las traquitas concordantemente se encuentra una Toba Traquítica con potencias de hasta 30m de coloración grisácea de grano fino con lapilli y pómez que es de tamaño centimétrico y presencia con micas de biotita, además de toba micácea de color amarillenta de grano fino con lapilli y con micas de biotita y la toba blanca, aflora en las partes altas de lámina en el sector Sur al Sur-Este que tiene una potencia máxima de 30 m.

Después de la deposición de la toba blanca, se tiene una segunda etapa erosiva importante que forma un valle ligeramente paralelo a la actual quebrada chuntacala en la que la mayor parte de la formación huaylillas en el sector entre las quebradas chuntacala y Torata prácticamente desaparece.

Posteriormente este paleo relieve es parcialmente rellenado por un conglomerado traquítico que está compuesto mayormente por clastos de traquitas y tobas subangulares de variados tamaños hasta de 0,30 m en una matriz tufácea arenosa.

Seguidamente se tiene la presencia de un conglomerado verde y amarillo que aflora también en el paleo valle antiguo de la quebrada chuntacala tanto en el sector este como en el oeste del actual tajo. Está compuesto mayormente por clastos redondeados, angulares y



subangulares de andesitas, riolitas, latitas, brechas, traquitas y tobas de diferentes tamaños hasta de 0,80 m en una matriz areno arcillosa tufácea que se encuentran al igual que el conglomerado traquítico a manera de una cubierta coluvial discordantemente en las laderas de la quebrada con potencias de hasta 30 m.

Sobreyaciendo discordantemente a las rocas anteriores se presenta el aglomerado gris emplazado en el paleo valle de la quebrada chuntacala. Es un flujo compuesto de clastos angulares y redondeados de andesitas de diferentes tamaños y colores que varían desde negras a grises y rojizas y tobas en una matriz areno tufácea de color gris.

Finalmente se presenta la toba retrabajada en pequeños paleo valles y el aglomerado tobáceo y aglomerado traquítico que está constituido por clastos angulares a sub redondeados de traquitas y tobas en una matriz tufácea. Se encuentra emplazado en las cumbres de la ladera Sur de la quebrada chuntacala y por referencias de mapeos antiguos se tenía dicha roca en el eje de la quebrada chuntacala.

4.2.1.4. GRUPO 4: (FORMACIÓN CHUNTACALA).

Entre los actuales valles de chuntacala y torata, aproximadamente a 400m al norte de la quebrada chuntacala, se depositó la formación chuntacala a la cual le han asignado una edad entre 9 y 14 MA (Tosdal 1990).

Está compuesta por una sucesión de conglomerados, flujos, tobas, y aglomerados que han sido depositados en forma gradacional en unos casos y discordantemente en otros.



Las disconformidades intraformacionales que existen dentro de la formación chuntacala de acuerdo a Manrique y Plazoles (1975) y Tosdal (1984) indicaban que hubo en el área de la mina levantamientos episódicos en el mioceno medio y superior, esos levantamientos episódicos no necesariamente se realizaron en las cercanías de la mina, sino más bien un poco más alejados ya que como podemos observar en las bases de esas intraformaciones se tiene un relieve bastante atenuado ligeramente ondulado y las disconformidades presentes mayormente se habrían desarrollado por periodos erosivos intraformacionales. La formación chuncala tiene una potencia aproximada de hasta 200 m.

La secuencia comienza con un conglomerado basal que se encuentra en discordancia erosionada (tercer periodo erosivo importante) sobre rocas pre minerales, intrusivas y aglomerado gris. Tiene una potencia de hasta 32 m y está constituido por clastos de andesitas, rolitas, traquitas, latitas y tobas mayormente sub redondeados a redondeados y en menor proporción subangulares de hasta 1,20 m de diámetro en una matriz arenoarcillosa.

Luego se tiene discordantemente la presencia del toba cristal que en la base muestra a una toba gris blanquesina (Aglomerado Blanco) de hasta 5 m. de potencia de naturaleza blanda y flujo bandeado. En total se tiene una potencia de hasta 120m. Su fracturamiento es predominantemente sub horizontal, también presenta fracturas verticales en variadas direcciones y con disyunción columnar rellenas en algunos casos con bastante pirolusita y material arcilloso.



Sobre yaciendo al toba cristal en contacto sub horizontal gradacional, se presenta la toba Inferior que es de un color blanco a blanco amarillento, de naturaleza blanda, presenta una textura débilmente porfirítica en una matriz afanítica. Los principales cristales que se pueden observar son de sanidina, biotita, epidota y flogopita. Aflora en el sector Norte del Tajo y tiene una potencia de hasta 90 m.

Posteriormente se encuentra al aglomerado inferior sobreyaciendo a la toba inferior y toba cristal con discordancia erosional y como relleno de un pequeño paleo valle. es un flujo aglomerádico de color marrón oscuro compuesto mayormente por clastos subangulares a sub redondeados de andesitas de variados tamaños hasta de 0,40 m en una matriz mayormente tobácea consolidada. Tiene una potencia de hasta 90 m en el eje central de la paleo quebrada que va decreciendo hacia las laderas.

En los niveles superiores de la formación chuntacala y con discordancias erosiónales, se tiene la presencia de una toba superior (potencia máxima de 65 m), un aglomerado superior (potencia máxima de 50 m) y una andesita porfirítica; que completan la secuencia volcánica. Después continúa un cuarto periodo erosivo importante hasta la actualidad, formándose los valles actuales de torata y chuntacala.

4.2.1.5. GRUPO 5: (DEPÓSITOS CUATERNARIOS).

Solo se considera los depósitos de aluviales compuestos por clastos de muy variada composición y litología mayormente redondeados que varían de tamaños y se encuentran entre mezclados con arenas y arcillas.

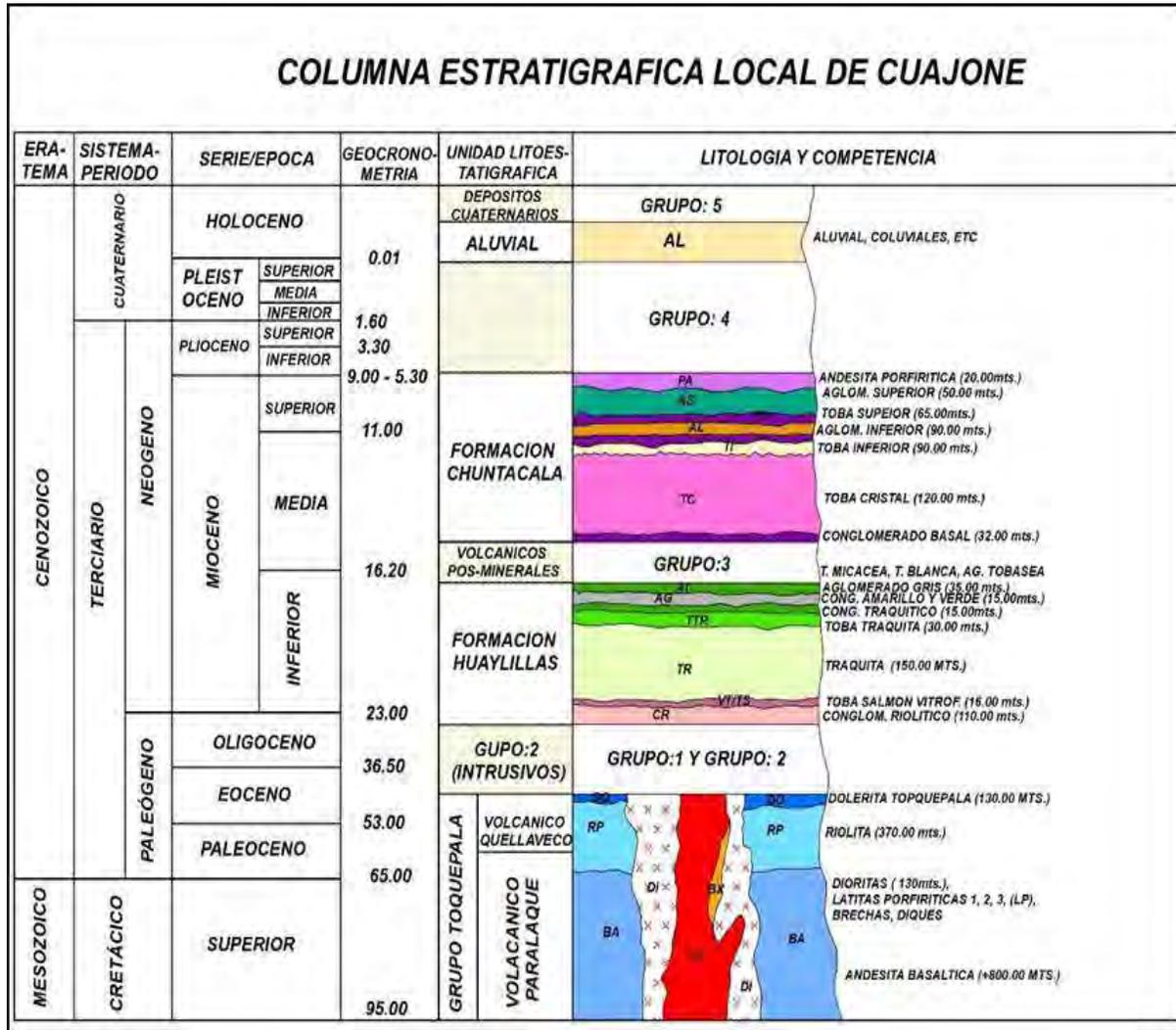


Figura 13: Columna estratigráfica local Mina Cuajone (Fuente: GEOTECNIA-SPCC).

4.2.2. ALTERACIONES HIDROTERMALES.

Es cualquier cambio en la composición mineralógica de la roca debido a procesos físicos o químicos especialmente por la acción de fluidos hidrotermales o fluidos superficiales, producen la alteración hidrotermal, que es el resultado de un intento de los contactos de las rocas por alcanzar un equilibrio bajo elevadas condiciones de temperatura en un ambiente



acuoso. Los fluidos que transportan las soluciones a elevada temperatura reaccionan con las paredes porosas, removiendo sus constituyentes y depositando otros.

Los cambios en los contactos pueden ser físicos o químicos y se traducen en reemplazamiento o recristalización de minerales, remoción de componentes químicos, incremento de permeabilidad y porosidad, cambios de color, textura o cocientes isotópicos.

En Cuajone se ha reconocido una zona de alteración hidrotermal de 3 a 4 Km, siendo más intenso mientras más cerca al cuerpo mineralizado nos encontremos, teniendo variaciones internas mayormente expuestas al fracturamiento y permeabilidad de la roca.

Los tipos de roca expuestas de Cuarzo-feldespatos fueron alterados a Fílico-Argílico, mientras que aquellos que contenían originalmente ferromagnesianos, fueron alterados a Biotitas y Cloritas (Alteración Potásica).

La alteración a arcillas es muy intensa en Cuajone, el cual puede ser considerado como un pórfido con alto contenido de arcilla en comparación con otros depósitos, esta arcilla es probablemente de Origen Hipógeno y también Supérgeno, su abundancia es debido al fuerte cizallamiento y fracturamiento los cuales proporcionaron canales para los fluidos ascendentes y descendentes y a la presencia de paleo relieves expuestos a la intemperie por largos períodos de tiempo.



Los paleo valles posteriormente rellenos por rocas postminerales han ejercido un control paleo-topográfico en el Este y Oeste del tajo, responsable así del descenso de la capa lixiviada y a introducción de arcilla Supérgena en zonas adyacentes. La mineralogía dominante de alteración hidrotermal ha sido utilizada como la base de la clasificación de tipos de minerales que presentan en fisuras o vetas bastante ramificadas (Ore Types) en Cuajone.

4.2.2.1. ALTERACIÓN POTÁSICA.

Se ha reconocido superficialmente por el minado del tajo en el sector Norte-Oeste del cuerpo mineralizado y en el fondo del actual Pozo (Pit). También ha sido reconocido por taladros diamantinos en profundidad. En la Andesita Basáltica se caracteriza por la superposición masiva de biotitas secundarias muy finas, con magnetita, clorita y ocasionalmente anhidrita. En La Latita Porfirítica, se le ha podido determinar en profundidad en forma de venillas que contienen feldespato potásico, magnetita y biotita secundaria.

4.2.2.2. ALTERACIÓN PROPÍLITICA.

Se encuentra mayormente en los márgenes del cuerpo mineralizado y abarca aproximadamente 4 Km de extensión radialmente. La asociación que presenta es epidota, calcita, pirita y clorita que ocurren principalmente en la Andesita y en la Riolita Porfirítica. Incrementa la acumulación de materiales de pirita/chalcopirita (Py/Chpy), mientras más distantes nos encontramos del cuerpo mineralizado.



4.2.2.3. ALTERACIÓN FÍLICA (SERICÍTICA O CUARZO- SERICÍTICO).

Ambos feldespatos (Plagioclasas y Feldespatos Potásicos), transformados a sericítas y cuarzo secundario con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300° - 400°C y en un rango de PH - 5 a 6.

La ocurrencia de este tipo de alteración en Cujone se presenta principalmente en la Latita Porfirítica y en la Riolita Porfirítica, menor proporción en la Andesita Basáltica abarca la mayor área de superficie de exposición actual del tajo de fracturamiento, la biotita de grano muy fino secundaria, magnetita y ocasional anhidrita.

4.2.2.4. ALTERACIÓN POTÁSICA – PROPÍLITICA.

Resulta de la gradación que existe entre la alteración potásica y la alteración propílitica. Ha sido determinada mayormente en el borde de la alteración Potásica.

La asociación que presenta es la ocurrencia de piritita, biotita secundaria, magnetita y clorita, ocasionalmente epidota.

4.2.2.5. ALTERACIÓN POTÁSICA – FÍLICA.

Determinado mayormente por taladros diamantinos, viene a ser una gradación y/o superposición de la alteración fílica con la alteración potásica. Los principales constituyentes vienen a ser la sericita y el cuarzo que se presenta mayormente en venillas y en las cercanías.



4.2.2.6. ALTERACIÓN PROPÍLITICA – FÍLICA.

Aparecen en los bordes de la alteración fílica en la que se tiene la presencia de sericita, cuarzo, cloritas y muy ocasionalmente epidota. Es contenido de piritita (Py) es alto.

4.2.2.7. ALTERACIÓN ARGÍLICA (INTERMEDIA Y AVANZADA).

La alteración argílica intermedia o argílica o argílica moderada, importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, presenta un grado más alto de hidrolisis relativo a la alteración propílitica con un PH - 4 y 5, mientras que la alteración argílica avanzada caracterizada por la destrucción total de feldespatos con un hidrolisis muy fuerte dando lugar a la formación de caolinita y/o alunita, transformando la mayor parte de los minerales de las rocas transformados a dickita, con un PH – sobre 2. Se presenta principalmente en las cercanías a superficie y en las zonas mineralógicas conformadas por la capa de material lixiviado, óxidos y sulfuros enriquecidos llegando a pasar hasta la zona transicional mayormente en rocas sumamente fracturadas, porosas y permeables. No se descarta la posibilidad de que parte de esta alteración, especialmente en profundidad, haya sido producida por acción hidrotermal.

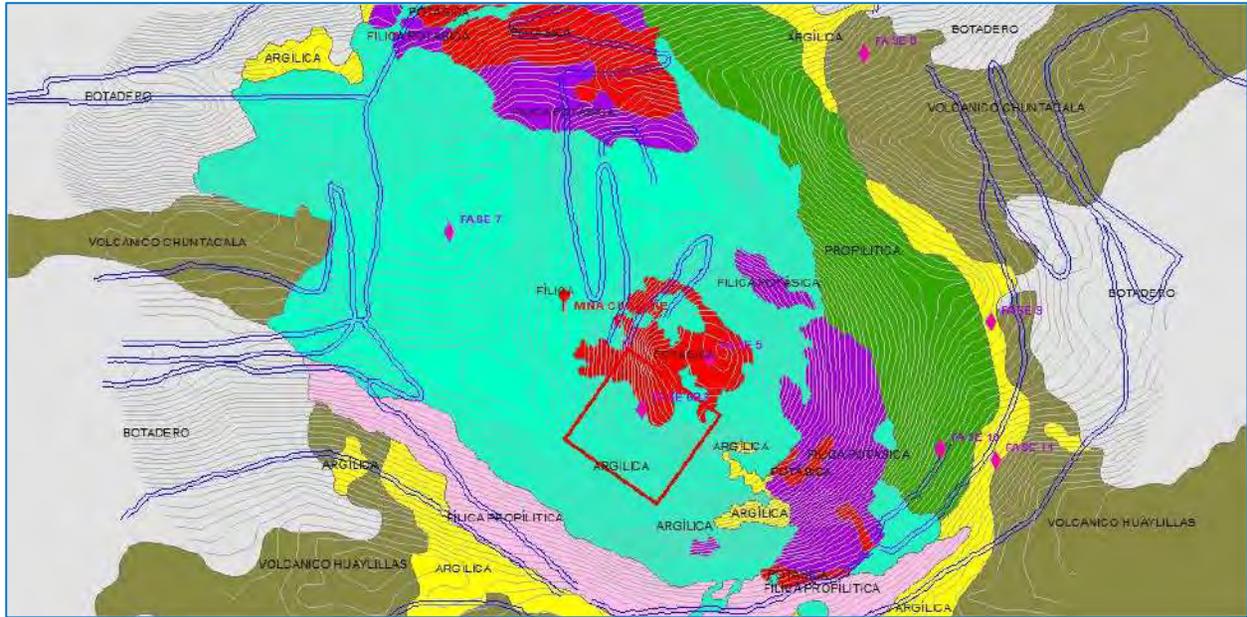


Figura 14: Alteración hidrotermal de la mina Cuajone (Fuente: Geotecnia SPCC).

4.3. HIDROGEOLOGÍA.

Principalmente hacer el control de cauces naturales dentro de la mina, construcción de drenes horizontales y verticales sin afectar las diferentes fases dentro de la operación ni las rampas de acceso que tienen diferentes direcciones, como también en fondo mina, lo cual se bombera desde fondo del tajo de la Mina Cuajone.

Las aguas que discurren por la quebrada chuntacala son captados en el surtidor 4, donde se drena por una tubería HDPE (Tubo de polietileno de alta densidad), con dirección al estanque 3, con caudal promedio de 1.7 litros por segundo (l/s), donde se realizó registro el año 2023, es almacenada y luego es trasladado en camión cisterna con darle un uso adecuado para regado de rampas y alimentación de perforadoras.



Por otro lado, hay afloramientos de aguas en el talud Este y Sur-Este del tajo, los cuales están controlados mediante pozos, por sistema de drenes horizontales y por bombeo por tuberías HDPE (Tubo de polietileno de alta densidad), con dirección al fondo mina.

Según registro de aforos, desde el 2011 hasta la fecha, el caudal drenado desde el talud Este es un promedio de 2.4 litros por segundo (l/s), mientras tanto al Sur-Este fue aforado en 0.2 litros por segundo (l/s), en diciembre del 2011, lo cual incrementa el caudal en fondo mina, permitiendo un bombeo constante hacia los pozos 1 y 2 con un caudal de 3.5 litros por segundo (l/s), con dirección al Oeste, para luego hacer el bombeo de almacenado en los pozos 1 y 2.

Por último, existen filtraciones por los depósitos aluviales del río Torata o Toratan, el caudal promedio es 2.70 litros por segundo (l/s), el cual es bombeado al estanque 3 y 6, donde la mina le da usos para los diferentes controles de polvo en los botaderos y rampas.

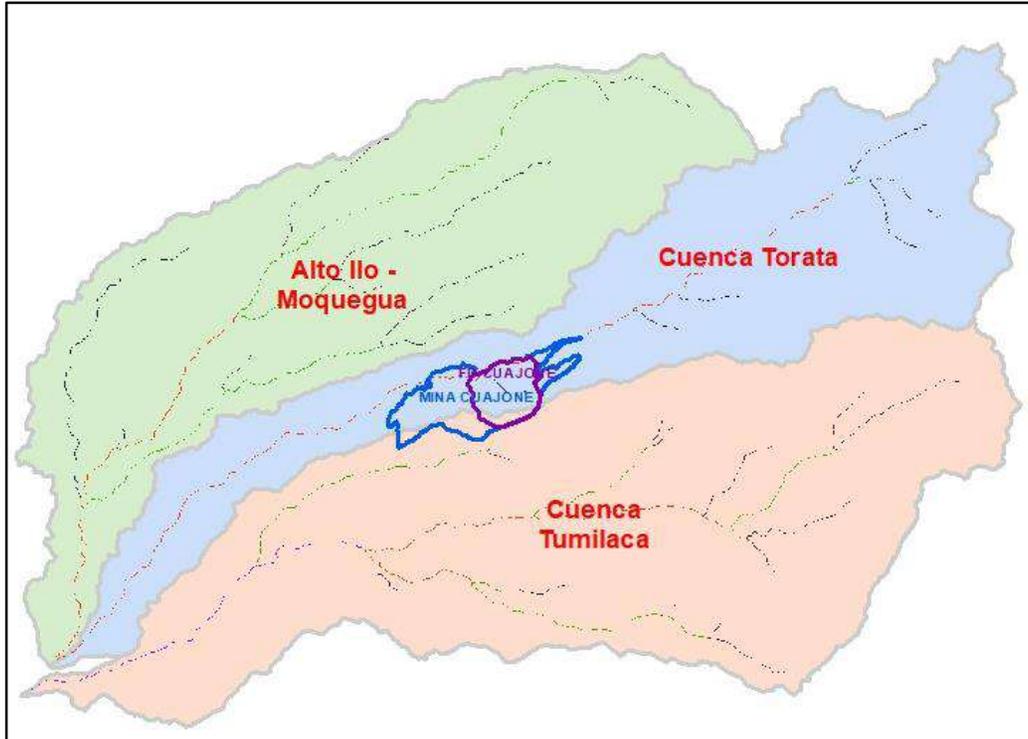


Figura 15: Cuencas hidrológicas del distrito Torata que intersectan la mina Cujone (Fuente: geogpsperu e.i.r.l.).

4.4. MINERALIZACIÓN DEL DEPÓSITO.

4.4.1. MINERALIZACIÓN DE COBRE (Cu).

El cuerpo mineralizado de cobre de Cujone ($> 0.40\%$ de Cu) presenta una mineralización regular, homogénea y tiene una mineralogía simple. Abarca una extensión de aproximadamente 2,300 m. de longitud por 900 m. de ancho, alongado con una dirección Nor-Oeste al Sur-Este. Presenta un cuerpo de baja ley en el sector Nor-Oeste central de 550 por 850 m. y otro cuerpo en el sector Sur-Este central de 200 por 300 m. sección vertical la mineralización tiene una forma de embudo y los valores de leyes decrecen económicamente en el sector Nor-Oeste aproximadamente en el Nivel 2950, mientras que en el sector Sur-Este



profundizan hasta el Nivel 2580 en donde todavía se tienen taladros con mineralización superior a 0.40 % de Cu.

La distribución de roca mineralizada es la siguiente:

DISTRIBUCIÓN DE LA MINERALIZACIÓN	
TIPO DE ROCA	PORCENTAJE
Andesita basáltica (AB)	50%
Latita porfirítica (LP)	46%
Riolita porfirítica (RP)	2%
Bechas mineralizadas (BX)	2%

Tabla 4: Distribución de mineralización de Cu.

La diferenciación de las zonas mineralizadas está definida principalmente por los minerales predominantes que se encuentran en una de ellas y la relación del índice de solubilidad ácida, cianurada e insoluble.

La Mineralización en Cuajone ha sido diferenciada en:

4.4.1.1. ZONA TRANSICIONAL.

El paso de la zona enriquecida a la zona primaria no es definido, teniéndose entre ambas una amplia zona transicional caracterizada principalmente por la presencia de piritacalcopirita y en menor proporción la presencia de calcosita y bornita.



La potencia aproximada es de 190 m. y tanto su base como su tope tienen una forma ondulada gradacional en contacto con los sulfuros enriquecidos y la zona primaria.

4.4.1.2. ZONA PRIMARIA.

Aflora en los niveles más profundos del tajo y vienen a constituir la mineralogía dominante del yacimiento de Cuajone.

La mineralogía es simple y está constituida por Pirita, Calcopirita, Bornita y ocasionalmente se tiene Esfalerita, Galena y Enargita. Ubicadas en venillas o finamente diseminada dentro del Stock principal de Latita Porfirítica. En las rocas andesíticas que contienen clorita, la calcopirita se encuentra reemplazando los ferromagnesianos en venas y racimos. Las razones de pirita: calcopirita para la zona central son bajas dentro del rango de 1:1 a 2:1, aumentando hacia la periferia en donde son de hasta 15:1. Dentro de la zona de brecha más profunda se pueden encontrar trazas de Enargita, Tetraedrita, Esfalerita y Galena.

La zona primaria representa actualmente más del 98 % de Reservas minables que se tiene en Cuajone. Con el análisis secuencial de Cu, esta zona tiene más del 80% de Cu residual.

4.4.1.3. ZONA ENRIQUECIDA.

La zona enriquecida de Cuajone está definida mineralógicamente por la predominancia de Sulfuros Secundarios sobre otro tipo de mineralización económica, la cual se refleja por un incremento en las leyes de Cu. El espesor promedio de esta zona mineralógica ha tenido un espesor de 20 m. (Stevenson 1972).



Las tres etapas erosivas que suceden entre los 50 y 14 Ma (Eoceno-Oligoceno), habrían sido los precursores para dar origen a la formación de la zona enriquecida o zona de sulfuros secundarios por la bajada del nivel freático en la zona de Sulfuros Primarios.

Esta zona está representada por la Calcosina (Cu_2S), Bornita (Cu_5SFe_4), Digenita y Covelita (CuS); minerales que han reemplazado parcial o totalmente a la Calcopirita y en parte a la Pirita generalmente como un revestimiento en forma de pátinas de los cristales.

La zona enriquecida ha sido mayormente minada quedando todavía in situ sulfuros secundarios en el sector Norte y Oeste del Tajo principalmente en zonas donde se tiene la presencia de brechas que han facilitado la circulación de agua.

Los sulfuros secundarios aparecen debajo de los óxidos o zonas lixiviada en forma gradacional configurando una forma semi-tabular horizontal ligeramente inclinada hacia el Oeste. Gradacionalmente también sobreyace a la zona transicional. Se tiene referencias que en el pasado se tuvieron potencias de hasta 78m en zonas cercanas al Este de la Quebrada Chuntacala, pero el promedio de su potencia es de 20m.

Actualmente en Cuajone, todo material mineralizado que tenga una ley igual o mayor a 0.10 % de Cu y que tenga más de 50% de Cu soluble en cianuro, es considerado como sulfuro secundario, considerando el análisis secuencial de Cu.



4.4.1.4. ZONA LIXIVIADA.

El origen de la zona lixiviada sobre el depósito se debe a que el cobre entró en solución por medio del ácido sulfúrico de baja concentración que se formó por la reacción del agua de lluvia con la piritita (Satchwell, Paul C. 1982).

Ocurre inmediatamente debajo de los volcánicos postminerales en espesores que varían desde pocos metros en la Andesita Basáltica del sector Norte del tajo hasta 120 m en el sector Sur de la mina en la Riolita Porfirítica.

Esta zona está mayormente constituida por limonitas que se presentan como óxidos e hidróxidos de Fe como la hematita, gohetita y en menor proporción y esporádicamente jarosita y pirolusita. La intensidad es variable dependiendo mayormente del fracturamiento de la roca.

4.4.1.5. ZONA DE ÓXIDOS.

El proceso de oxidación está relacionado a los componentes del agua subterránea que generalmente contienen CO₂ (dióxido de carbono), O₂ (oxígeno) y algunas veces complejos yoduros, cloruros y bromuros. Estos compuestos son generadores muy fuertes disolventes tales como el Sulfato Férrico y el Cloruro Férrico quienes atacan a los minerales formando soluciones de sulfatos como Cu₂SO₄, Fe₂(SO₄), ZnSO₄, con un pH ligeramente ácido a moderado, algunas veces alcalino cuando circulan a través de carbonatos y feldespatos.



Los sulfuros hipógenos expuestos a la acción del medio ambiente se descomponen formando óxidos, carbonatos, hidróxidos, silicatos y soluciones sulfatadas hasta la parte superior del Nivel Freático.

La oxidación en general es producto de la ocurrencia de ácido Sulfúrico, con pH y Eh (Redox indica el grado de oxidación de los sulfuros), de los minerales y de las soluciones meteóricas.

La zona de óxidos en Cuajone está prácticamente minada, quedando únicamente algunos remanentes pequeños en el sector Norte y Sureste del tajo.

Inicialmente esta zona ha sido descrita como una capa tabular casi horizontal de 15 m de espesor promedio.

El mineral minado de este tipo de mineralización ha sido depositado en Stocks de Óxidos especialmente designados para este fin, para luego realizar el carguío hacia los Pads (Lixiviación tipo valle), en estos momentos se están lixiviando en forma parcial.

Los principales minerales que se presentan en la zona de óxidos son la Crisocola, Malaquita, Calcantita, Brocantita, Cuprita, Cu nativo y Tenorita; cuya ocurrencia se concentra principalmente en fallas y fracturas y en menor proporción en forma diseminada.



El Cu nativo se encuentra en placas delgadas y dúctiles en las fracturas y en forma dendrítica en orificios. Esta mineralogía fue confirmada por el estudio hecho por (EMPRESA ASARCO 1982).

Actualmente en Cuajone, todo material mineralizado que tenga una ley igual o mayor a 0.10 % de Cu y que tenga más de 20% de Cu Soluble en ácido, es considerado como óxidos, considerando el análisis secuencial de Cu.

4.4.2. MINERALIZACIÓN DE MOLIBDENO (Mo).

Es el principal subproducto de Cuajone que se obtiene separándolo de los concentrados de cobre en la planta concentradora. La ley promedio de Molibdeno para el yacimiento es 0.033 % y ocurre como un sulfuro de molibdenita ya sea en forma cristalizada en venillas Molibdeno de cuarzo, en forma de pátinas en las fracturas de las rocas y finamente diseminado visible al microscopio.

El molibdeno no tiene un zonamiento de óxidos, enriquecidos transicional y primario tal como ocurre con el cobre, lo cual se explica por el comportamiento diferente entre el Cu y el Mo. En un ambiente supérgeno en el rango oxidante, el Molibdeno es inmóvil en pH ácido. La presencia de mineralización de Molibdeno es independiente de los otros sulfuros del yacimiento que sugiere una fase separada de mineralización.



CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

5.1. GENERALIDADES.

Todas las estructuras geológicas involucradas en el análisis de la actividad tectónica que modifique las clases de depósito encontradas, lo considero necesario conocimiento de estas deformaciones y capas sedimentarias.

Mediante este epígrafe conoceremos de qué manera están dispuestas las formaciones geológicas para conocer en cuanto es la magnitud de cambio de las discontinuidades con respecto a la disposición de agua.

Todo el método técnico que se empleó para la toma de rumbos y buzamientos, efectuado en el campo mediante el manejo de la brújula Brunton y efectuando la regla de la mano derecha, puesto que los diferentes programas tácitamente procesan la data de información con el método de la mano derecha.

5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.

La tendencia estructural en el Sur del Perú predomina con una orientación Nor-Oeste al Sur-Este de forma casi paralela a la Fosa Oceánica del Pacífico, Batolito de la Costa, Depresión Tectónica, Flanco Occidental de los Andes y las Fallas Regionales como la de Incapuquio, Micalaco, Viña Blanca y Botiflaca. (BELLIDO 1979).



5.2.1. SISTEMA DE FALLAS INCAPUQUIO.

Tienen un rumbo preferencial entre 290° y 310° y han sido reconocidas desde cerca al límite de la frontera con Chile, atraviesa el departamento de Tacna y gran parte del departamento de Moquegua en una distancia aproximada de 140 km de largo.

Tienen hasta 1 km. de ancho compuesta de rocas alteradas y trituradas y un buzamiento sub vertical.

De acuerdo con Wilson y García 1967; las fallas son de tipo transcurrente y han tenido lugar durante el Terciario Inferior.

5.2.2. FALLA MICALAO.

Aflora en las inmediaciones de la mina Toquepala entre el pueblo de Micalaco y la quebrada Cortadera. Tiene un afloramiento de 21 km de longitud y llega a tener potencias de hasta 500 m principalmente en zonas de cizalla.

Su buzamiento es sub vertical y está mayormente rellena por cuarzo, turmalina, sulfuros, diques, brechas, rocas trituradas, ligera alteración hidrotermal, material fracturado y material cizallado.

Esta estructura se encuentra limitando la mineralización en el sector Sur de la mina Toquepala con un rumbo de 290° .



5.2.3. *FALLA VIÑA BLANCA.*

Tiene un afloramiento aproximado de 5,5 km en la Riolita Porfírica a 3 km al Este-Sureste de la mina Cuajone.

No atraviesa a las rocas volcánicas postminerales de la formación Huaylillas, lo cual indica que su ocurrencia sucedió probablemente en el Terciario Inferior y no ha tenido reactivaciones posteriores.

Tiene una dirección predominante de N290° y un buzamiento preferencialmente sub vertical.

Se presenta como una serie de estructuras paralelas y sinuosas que varían en potencia hasta 2m pero que en conjunto pueden llegar hasta 20m.

La mina Cuajone se encuentra emplazada dentro del sistema de fallas de Viña Blanca y Botiflaca. El relleno está mayormente conformado por rocas fracturadas, rocas cizalladas, brechas y fragmentos de rocas de diferente y variada composición.

5.2.4. *FALLA BOTIFLACA.*

Aflora aproximadamente a 2,5km al Sur-Oeste de la mina Cuajone en forma sinuosa con una longitud de aproximadamente 20 km cruzando las quebradas de Cocotea y Torata.



Tiene una dirección generalizada de N280° a N300° y presenta un buzamiento sub vertical. La potencia llega hasta 40 m (Manrique y Plazoles 1974) y está compuesta por roca fuertemente.

fracturada, brechas heterolíticas compuestas por clastos y fragmentos subangulares a sub redondeados.

Atraviesa rocas pertenecientes al grupo Toquepala y por posibles reactivaciones posteriores también atraviesan rocas post minerales volcánicas pertenecientes a la formación Huaylillas.

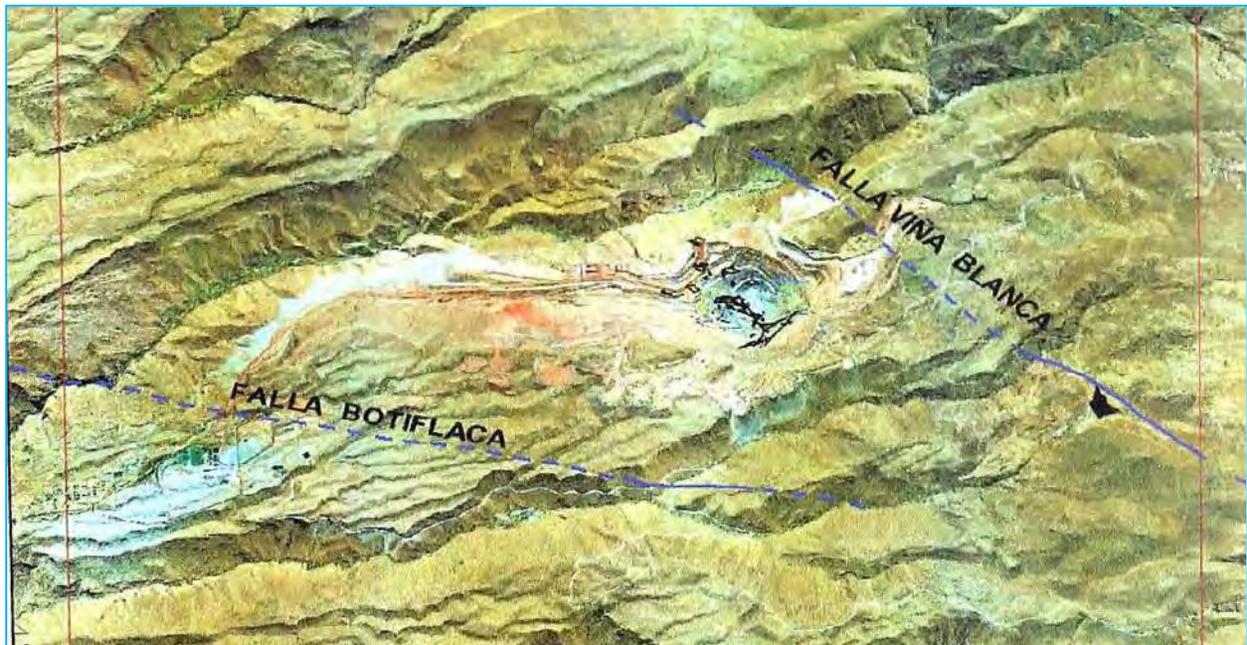


Figura 16: Sistemas de falla distrital, la mina Cuajone se encuentra emplazada dentro del sistema de fallas de viña blanca y botiflaca.



5.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.

El transcurso del tiempo de la operación y desarrollo de cuajone, han sido descubiertos en conjuntos de estructuras principales y secundarios durante los estudios realizados, lo cual se llegaron a interpretar el comportamiento estructural del yacimiento.

Las estructuras al Nor-Este dominan completamente el yacimiento de la mina cuajone, que se relaciona con la geología estructural regional, estas estructuras o zonas de debilidad tienen su máximo manifestación en el emplazamiento del cuerpo intrusivo de latita porfirítica con una forma elongada hacia el Nor-Oeste.

Las fallas que se identificaron dentro de la mina cuajone es:

5.3.1. FALLA MAYOR SUR.

La falla más importante que aflora dentro de la mina ha sido denominada Falla Mayor Sur. Se presenta como una estructura que tiene varios ramales que se bifurcan y se unen indistintamente con un azimuth preferencial de 212° , buzamiento de 57° y aflora en una longitud de 950 m con un ancho variable de hasta 50 m.

Esta falla posiblemente continúa por el extremo Nor-Este de la mina en la quebrada Chuntacala que en estos momentos está mayormente cubierta por material de botaderos. En su extremo Sur-Oeste está limitada por los volcánicos de la Formación Huaylillas.



CAPITULO V: GEODINÁMICA.

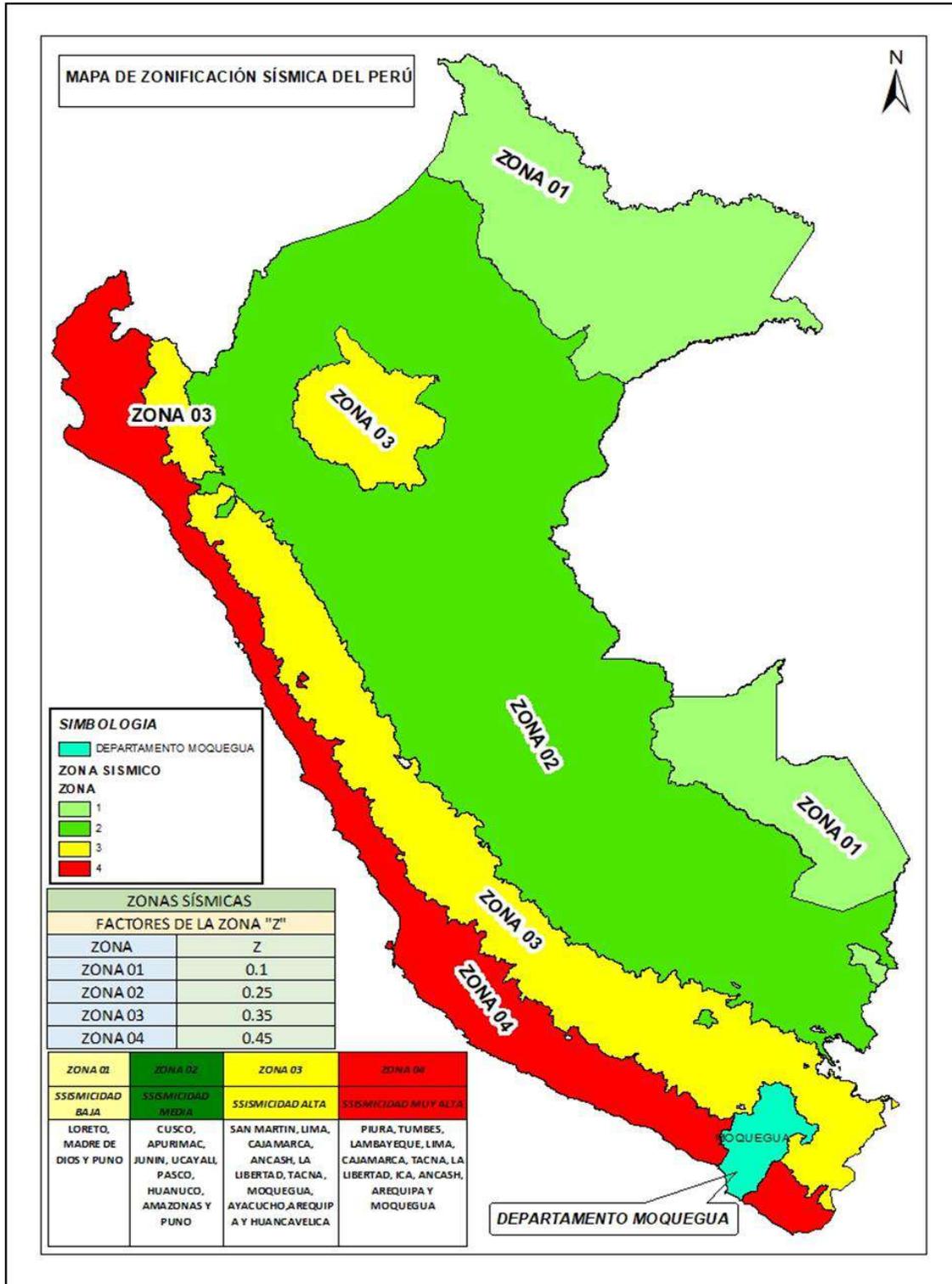
6.1. GENERALIDADES DE LA GEODINAMICA INTERNA.

6.1.1. SISMICIDAD.

De acuerdo con el Mapa de Zonificación Sísmica propuesto en la Norma de Diseño Sismo resistente E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2006), el área de estudio se encuentra comprendida en la Zona 3 y la Zona 4, correspondiéndole una sismicidad alta y sismicidad muy alta.

La definición de la palabra "sismicidad" no es muy precisa, pero podemos describirla como la actividad sísmica en un área particular durante un cierto período de tiempo, o como la cantidad de energía liberada en forma de ondas sísmicas. Sin embargo, la representación de la sismicidad deberá tener en cuenta no sólo el número de eventos registrados sino también su dimensión, frecuencia y distribución espacial, así como su modo de ocurrencia.

La sismicidad histórica en la zona central del Perú está dominada por sismos generados a lo largo de la fosa Perú-Chile, en donde la placa de Nazca subduce hacia el Este por debajo de la placa Sudamericana a una tasa de desplazamiento relativo de 60 a 75 mm/año. Los movimientos a lo largo de la interfase de las placas de Nazca y Sudamericana han producido sismos con magnitudes entre 8,0 y 9,0 Mw en los últimos 50 años.



Mapa 1: Se observa en el proyecto las zonas de sismicidad en el mapa de zonificación sísmico del Perú (Fuente: IGP.).



6.1.1.1. ANTECEDENTES SÍSMICOS EN LA REGIÓN DE MOQUEGUA.

Aunque existen registros históricos del impacto de los terremotos en el Imperio Inca, esta información se remonta a la época de la conquista. En la descripción de los sismos se han utilizado como documentos básicos en los trabajos de tesis.

Historia nos indica que Moquegua y la zona sur del país se han registrado sismos desde 1604, con magnitudes que han superado los 8 grados en la escala de Richter, con consecuencias graves, que se han sentido hasta en centro del país.

24 DE NOVIEMBRE DE 1604.- A las 13:30, la conmoción sísmica arruinó las ciudades de Arequipa y Arica. Un tsunami destruyó la ciudad de Arica y el puerto de Pisco, como consecuencia del Tsunami murieron 23 personas en Arica. Tuvo una magnitud de 7.8, y alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli, en las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna y Arica.

18 DE SETIEMBRE DE 1833.- A las 05:45 violento movimiento sísmico que ocasionó la destrucción de Tacna y grandes daños en Moquegua, Arequipa, Sama, Arica, Torata, Locumba e Ilabaya, murieron 18 personas; fue, sentido en La Paz y Cochabamba, en Bolivia.

13 DE AGOSTO DE 1868.- A las 16:45. Este terremoto alcanzó una intensidad de grado XI y fue acompañado de tsunami. Según el historiador Toribio Polo (1904), este terremoto es uno de los mayores que se han verificado en el Perú desde su conquista. El



epicentro posiblemente estuvo en el Puerto de Arica, se sintió hasta unos 1400 Kms al norte y a la misma distancia hacia el sur. En Moquegua murieron 150 personas, en Arequipa 10 y en Tacna 3, se contaron como 300 movimientos sísmicos o réplicas hasta el 25 de agosto, tuvo una magnitud de 8.6.

11 DE OCTUBRE DE 1939.- A las 09:59. Se registró un fuerte sismo en el Observatorio Sismológico de Lima. Causó graves daños en el pueblo de Chuquibamba y Caravelí, además provocó daños en las ciudades de Arequipa y Moquegua. Se sintió con gran intensidad en las localidades de Puquio, Quicacha, Palpa, Chala y Mollendo, alcanzando intensidades de VII en Chuquibamba, en Arequipa y Mollendo se sintió con una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

24 DE AGOSTO DE 1942.- A las 17:51. Terremoto en la región limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, alcanzando intensidades de grado IX de la Escala Modificada de Mercalli, el epicentro fu, situado entre los paralelos de 14° y 16° de latitud Sur. Causó gran destrucción en un área de 18,000 kilómetros cuadrados. Murieron 30 personas por los desplomes de las casas y 25 heridos por diversas causas. Se sintió fuertemente en las poblaciones de Camaná, Chuquibamba, Aplao y Mollendo, con menor intensidad en Moquegua, Huancayo, Cerro de Pasco, Ayacucho, Huancavelica, Cuzco, Cajatambo, Huaraz y Lima. Su posición geográfica fue -15° Lat. S. y -76° long. W. y una magnitud de 8.4, en Arequipa tuvo una intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli.



11 DE MAYO DE 1948.- A las 03:56. Fuerte movimiento sísmico en la región sur afectó parte de los Dptos. de Arequipa, Moquegua y Tacna. Los efectos destructores fueron máximos dentro de un área aproximada de 3,500 Km², dejando el saldo de 1 muerto y 66 heridos. En el área central alcanzó el grado VII en la Escala Modificada de Mercalli. La posición geográfica del epicentro fue, de -17.4° Lat.S. y - 71° Long. W. La profundidad focal se estimó en unos 60-70 Km., con una magnitud de 7.1, en Moquegua se sintió con una intensidad de VII y en Arequipa alcanzó una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli.

13 DE ENERO DE 1960.- A las 10:40:34, fuerte terremoto en el departamento de Arequipa que dejó un saldo de 63 muertos y centenares de heridos. El pueblo de Chuquibamba quedó reducido a escombros, siendo igualmente destructor en Caravelí, Cotahuasi, Omate, Puquina, Moquegua y la ciudad de Arequipa.

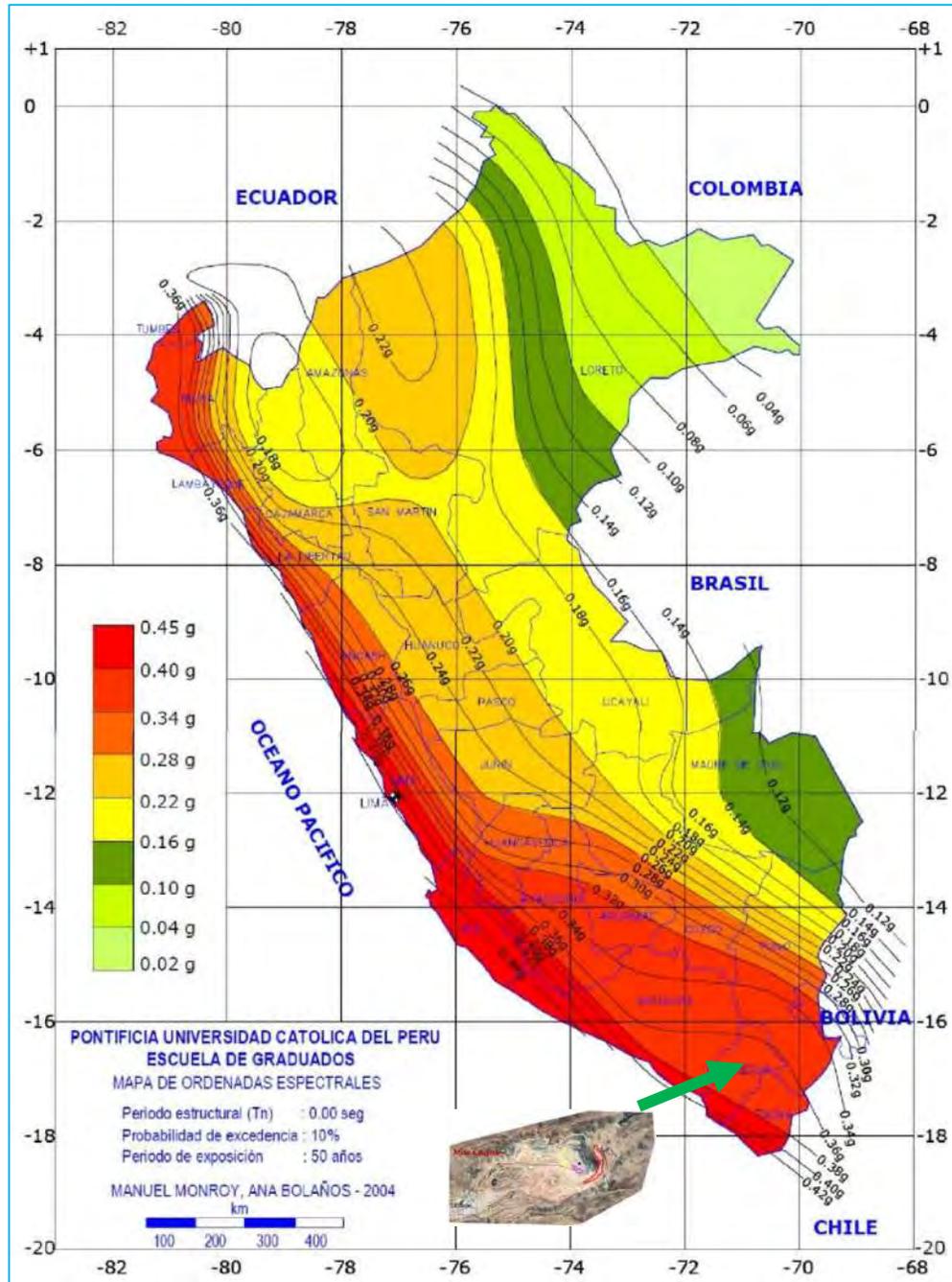
23 DE JUNIO DE 2001.- A las 15 horas 33 minutos, terremoto destructor que afectó el Sur del Perú, particularmente los Departamentos de Moquegua, Tacna y Arequipa. Este sismo tuvo características importantes entre las que se destaca la complejidad de su registro y ocurrencia. El terremoto ha originado varios miles de post-sacudidas o réplicas.

Las localidades más afectadas por el terremoto fueron las ciudades de Moquegua, Tacna, Arequipa, Valle de Tambo, Caravelí, Chuquibamba, Ilo, algunos pueblos del interior y Camaná por el efecto del Tsunami.



EL 19 DE JULIO DE 2021.- a las 01:17:52 horas, se registró un movimiento sísmico de magnitud 4.3, profundidad 116 Km, referencia (Continente) 16 Km al SO de Mariscal Nieto, Moquegua – Moquegua, intensidad III – IV Moquegua, Latitud y Longitud (°): -17.31, -71.01.

EL 12 DE JULIO DEL 2022.-a las 18:36:12 horas, se registró movimiento sísmico de magnitud 5.4, con una profundidad de 18 Km con coordenadas: latitud -16.18, longitud -71.35 intensidad V -Omate, La Capilla, General Sánchez Cerro – Moquegua a 41 km al O de Omate General Sánchez Cerro – Moquegua.



Mapa 2: Mapa de isoaceleraciones, de modo que, para nuestra zona de estudio se puede observar una aceleración sísmica de (0.34 a 0.36) g, correspondiente a un periodo de exposición de 50 años y una probabilidad de excedencia de 10% de acuerdo con el mapa de isoaceleraciones del Perú. FUENTE: Manuel Monroy.



6.1.1.2. MAPA DE INTENSIDAD SÍSMICA EN EL ÁREA DEL PROYECTO.

De acuerdo con el mapa de distribución de máxima intensidad sísmica mostrado en la escala de Mercalli a la zona del proyecto se encuentra entre las curvas de intensidad de VII y VIII, afectada por las estructuras de fallamiento activo de la región, por lo que será necesario considerar estos efectos dentro de los cálculos correspondientes.

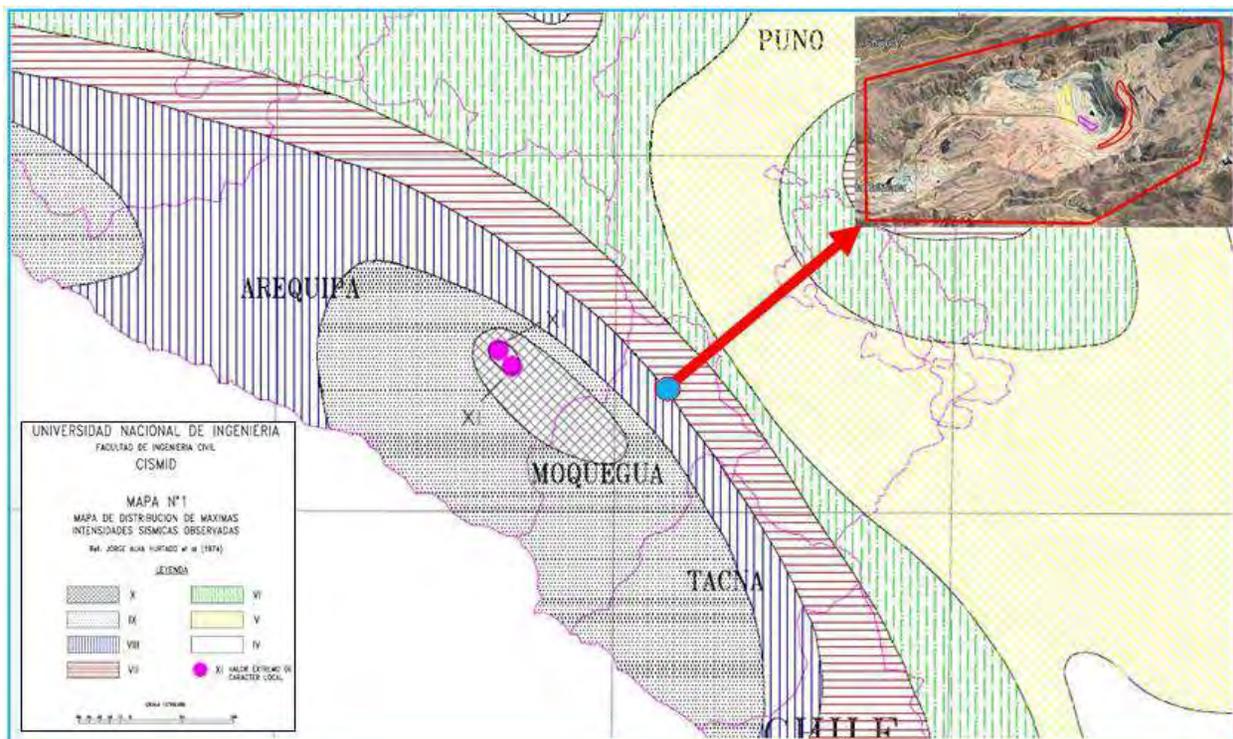


Figura 18: Se observa el mapa de intensidad sísmica mercalli modificada, por ende, en la zona del proyecto se pueden producir sismos con intensidad máxima de VII y VIII, grados en la escala modificada de mercalli. Fuente: Jorge Alva Hurtado Et Al-1984.



6.1.1.3. MAPA DE ZONAS DE SISMICIDAD EN EL ÁREA DEL PROYECTO.

La zona del proyecto se encuentra en la zona 3 de sismicidad, que corresponde a una sismicidad alta, pero la región de Moquegua está dentro de las zonas 3 y 4 considerados de una sismicidad alta y muy alta, que está relacionada al accidente estructural situada en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona de alta actividad sísmica.



Figura 19: Se observa el mapa de las zonas de sismicidad, en donde la zona de estudio se encuentra en la zona 3 de sismicidad alta. Fuente: DGPM-MEF.

6.1.2. DESLIZAMIENTOS.

Por el diseño de topografía que presenta en la planificación de minado se ha visto afectado por la presencia de riesgos geológicos debido al esfuerzo/deformación mediante la cual se predice la naturaleza y extensión de desplazamiento compatibles con el equilibrio del talud a medida que se vaya minando, lo cual significa que la estática de estos taludes dependerá de la geometría del tajo y del estado de esfuerzos primarios.



6.2. GENERALIDADES DE LA GEODINÁMICA EXTERNA.

6.2.1. CAÍDA DE ROCAS.

La caída de rocas o chispas de taludes es contante en los diferentes niveles de la zona del proyecto que afectan directamente a la producción de minado, debido a que están expuesto al intemperismo físico, acción de gravedad, la vibración que generan en los proyectos de voladura y peso de equipos que generan la vibración.



CAPÍTULO VI: ESTABILIDAD DEL TALUD SUR-OESTE DEL TAJO CUAJONE.

7.1. INTRODUCCIÓN.

El talud Sur-Oeste de la fase 6b2 del tajo Mina Cuajone ha estado presentando deformaciones de tipo cuña desde el año 2020 hasta la fecha, esta cuña afecta el minado de la pala 01 donde es la concentración del mineral, por tanto, se puede observar el deslizamiento 45 (D45) y deslizamiento 47 (D47), abarcando varios niveles, el D45 afecta desde el nivel 3535 al 3400 y el D47 afecta los niveles 3515 al 3400. Producto del minado las cuñas D45 y D47 se activaron comprometiendo el cumplimiento del plan minado diario, semanal y mensual e incluso comprometiendo el alcance del objetivo propuesto de Southern Perú Cuajone, como también la seguridad de los equipo y trabajadores.

Por la zona del deslizamiento en la parte inferior se consideró continuar el minado con la pala 01, con constante supervisión por el departamento de geotecnia para remover el material deslizado.

Actualmente se han presentado planes para minimizar el deslizamiento quitando el peso en la parte superior, hacer una voladura controlado y hacer el desquinche o retirar las piedras sueltas que pudieron quedar en los taludes.

Hasta la fecha no se volvió a detectar los desprendimientos de las rocas ni movimientos de masas rocosos gracias al monitoreo con instrumentos geotécnicos.

7.2. MAPEO DE INFORMACIÓN IN-SITU.

Para la evaluación de la zona D45 y D47 de las estabilidades de los bancos afectados al Sur-Oeste de la mina Cuajone, se toma en cuenta los detalles en campo y toma de muestras



para los ensayos de laboratorio y para gabinete, para su respectiva caracterización del macizo rocoso por el método Bieniaswski 98 de RMR y GSI, el mapeo de las estructuras de las fallas viña blanca, botiflaca, cuajone, falla mayor sur y la identificación de afloramiento rocoso de riolita porfírica que presenta en la zona D45 y D47.



Foto 2: Escarpe izquierdo generado por el deslizamiento D47.



Foto 3: Escarpe derecho generado por el deslizamiento D45.

7.2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

El levantamiento topográfico se realizó con equipo Escáner multipunto T 8800 de I-Site, el cual puede brindar toda la topografía dentro de un mismo levantamiento pudiéndose geo-referenciar y la densidad de la nube de puntos creada dependerá de que tan cerca o lejos nos encontremos del objetivo del monitoreo, naturalmente, entre más cerca será mayor la densidad de nube de puntos.

Para este punto en especial realizamos escaneos previos al deslizamiento de D45 y D47, seguidamente por levantamiento topográfico previo (antes) al deslizamiento y post (después) deslizamiento. Estos levantamientos servirían para poder representar de mejor manera la topografía de la zona en las secciones A-A' y B-B' para su correcto análisis por software geotécnico (SLIDE).



Foto 4: Vista panorámica del deslizamiento D45 y D47 al Sur-Oeste del Tajo Cujone.

PTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
P01	539392.1027	85173.8607	3490.231	Borde izquierdo de corona
P02	85173.8607	85166.8310	3490.984	Borde Izquierdo de Corona
P03	539396.7101	85148.2477	3505.352	Borde Izquierdo de Corona
P04	539448.5644	85091.2769	3505.987	Escarpe Izquierdo
P05	539492.6856	85055.5392	3008.612	Grieta Izquierda Secundaria
P06	539511.2597	85041.8922	3520.5420	Grieta Izquierda Secundaria
P07	539547.0939	85015.4966	3524.703	Centro de Corona
P08	539586.8507	84986.0767	3530.546	Escarpe Derecho
P09	539628.8254	84948.3583	3533.3082	Grieta Derecha secundaria
P10	539663.2421	84954.4265	3534.8338	Grieta Derecha Secundaria

Tabla 5: Levantamiento topográfico del deslizamiento D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2.

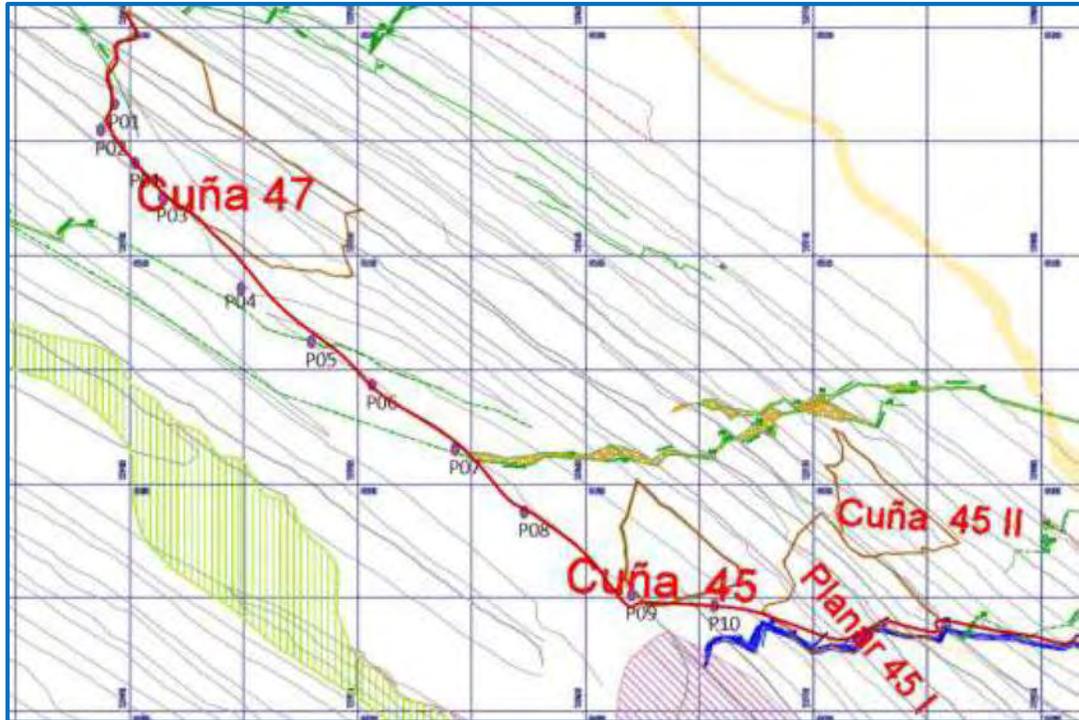


Figura 20: Levantamiento topográfico con el equipo escáner multipunto T 8800.

7.2.2. LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO.

Para el levantamiento geológico del área del estudio D45 y D47 se procedió a hacer una inspección visual de la zona, diferenciando entre las litologías existentes su tipo de alteración, presencia de fallas, la cual influye en el comportamiento del macizo rocoso, por medio de esto tener una mejor distribución de muestreo para ensayos de laboratorio y gabinete; así como también, colocar la correcta distribución de la misma en la sección A-A' y B-B' que va representar en la zona del estudio respectivamente de la zona apoyándonos para esto de GPS diferencial para demarcar la litología y alteración de la zona.

7.2.3. LEVANTAMIENTO DE LA ZONA INESTABLE.

Definido a partir del levantamiento topográfico en In-Situ, se determinaron las dimensiones de la zona del talud D45 y D47 que presentan la inestabilidad, utilizando la



terminología recomendada por la International. Association for Engineering Geology (IAEG).

Los parámetros medidos fueron los siguientes:

1. **ANCHO DE LA MASA DESPLAZADA:** Ancho máximo de la masa que se desplazada perpendicularmente a la longitud de la masa deslizada (3).
2. **ANCHO DE LA SUPERFICIE DE FALLA:** Ancho máximo entre los márgenes derecho e izquierdo del deslizamiento perpendicularmente a la longitud.
3. **LONGITUD DE LA MASA DESLIZADA:** Distancia máxima del deslizamiento entre la cabeza hasta pie del deslizamiento.
4. **LONGITUD DE LA SUPERFICIE DE FALLA:** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
5. **PROFUNDIDAD DE LA MASA DESPLAZADA:** Máxima profundidad de la masa deslizada perpendicularmente al plano conformado por (1) y (3).
6. **PROFUNDIDAD DE LA SUPERFICIE DE FALLA:** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medido perpendicularmente al plano conformado por (2) y (4).
7. **LONGITUD TOTAL:** Distancia mínima desde la punta a la corona hasta el pie del deslizamiento.
8. **LONGITUD DE LA LÍNEA CENTRAL:** Distancia desde pie de talud hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales.

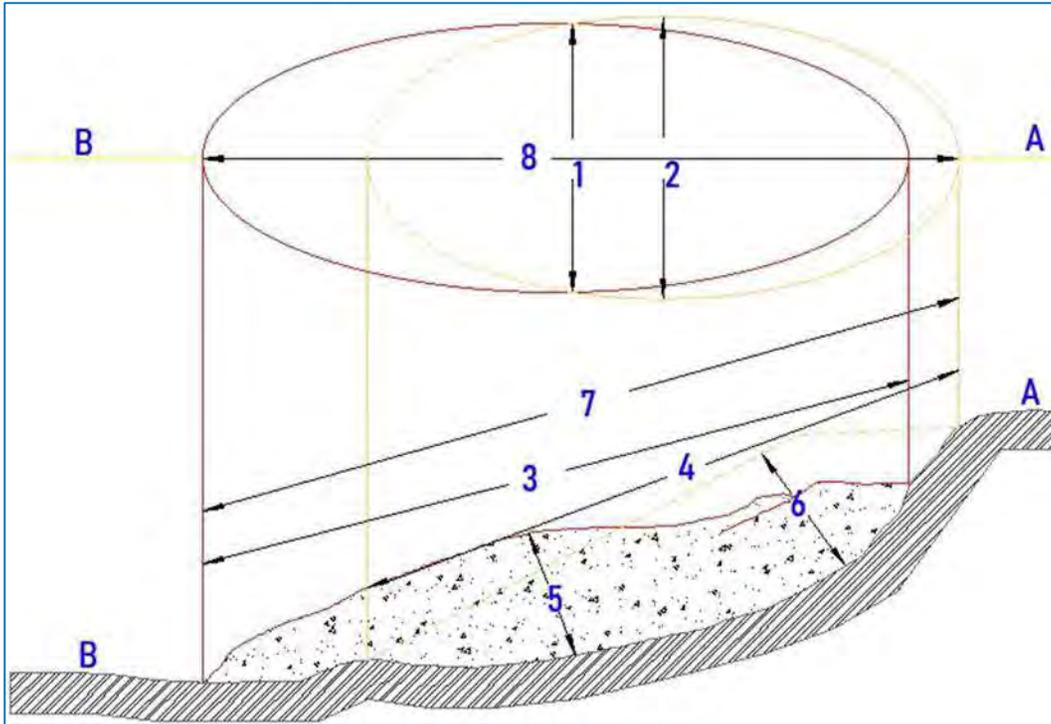


Figura 21: Dimensiones de los movimientos en masa (Fuente: IAEG Commission on Landslides 1990).

7.3. EVALUACIÓN GEOLOGÍA DE LA ZONA DEL ESTUDIO D45 Y D47.

7.3.1. MAPEÓ LITOLÓGICO.

La zona del estudio litológicamente presenta rocas volcánicas que afloran es la riolita porfírica (RP), donde se puede ver alteraciones propilitico por pequeños puntos, que pertenece a la unidad litoestratigráfico del volcánico quellaveco que esta del grupo toquepala. En la zona subyace al primer periodo erosivo del cuajone donde podemos observar presencia de conglomerados ríloticos (CR) y Toba Salmon (TSA), por la parte superior a este afloramiento.

Como también se puede observar por la parte baja el afloramiento de andesita basáltica (AB), por la parte central de andesita intrusiva (AI) que es una alteración de andesita basáltica



en pequeñas franjas, que pertenece al grupo Toquepala, dentro de la unidad litoestratigráfica de volcánico paralaque.

En el nivel 3535 del D45, presenta con el contacto D47 Toba Salmon con Riolita Porfírica con alteración propilitica, la alteración que presenta es de fuerte a débil que puede abarcar hasta un nivel superior 3490 con un contacto irregular y gradacional con un ligero buzamiento hacia el Oeste, se observa una coloración de café rojizo, este tipo de oxidación está conformado por estructuras producto de un proceso de intemperismo y meteorización superficial.

Con respecto al D45 se encuentran la riolita moderadamente fresca con una alteración propilitica que presenta una coloración de pardo blanquecino, con ausencia de oxido hasta niveles inferiores de 3310.

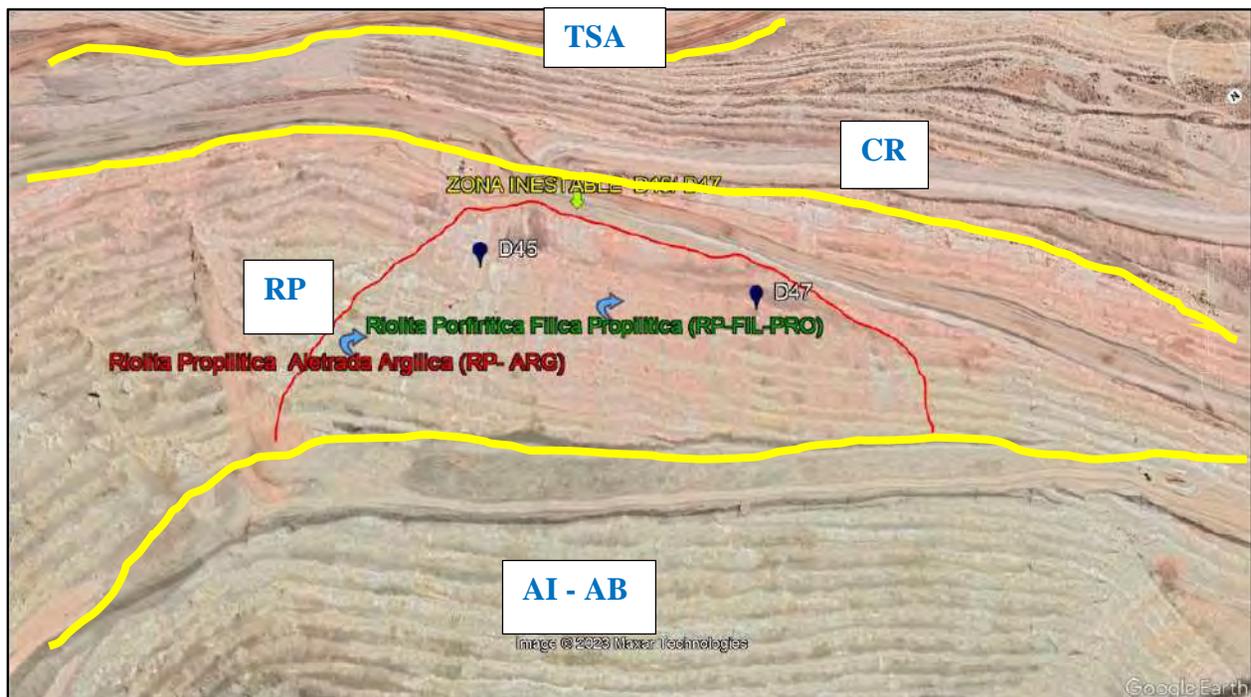


Figura 22: Zona inestable al Sur-Oeste los D45 y D47 de la mina Cuajone.



Se puede observar en la figura 22, las diferentes litologías que afloran o presentan como es toba salmón, conglomerado riolítico, la riolita porfiritica, andesita intrusiva y la andesita basáltica considerando las alteraciones que tiene cada uno de ellos, para tener esta litología en consideración para el cálculo de factor de seguridad.

7.3.2. DRENAJE DE LA MINA CUAJONE.

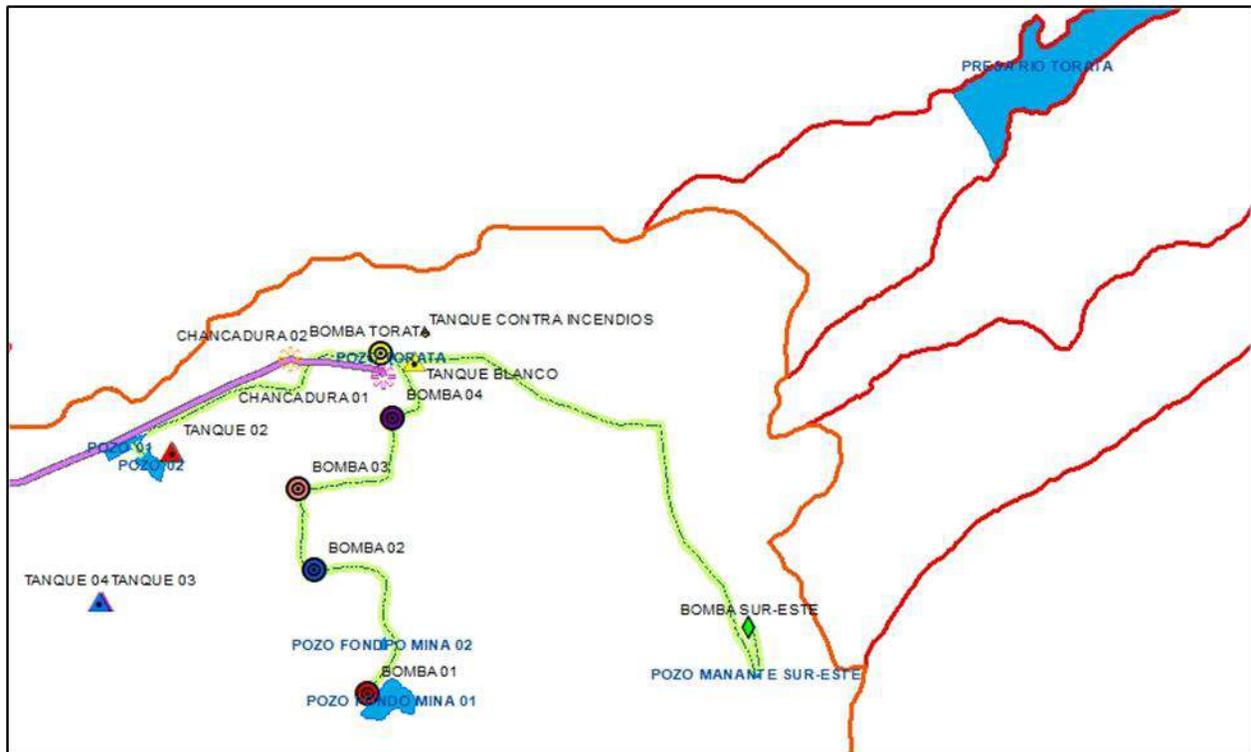


figura 23: Sistema de bombeo del tajo Cuajone: (Fuente: Propio).

En la actualidad, la figura 23 nos muestra como es el sistema de drenaje de Mina Cuajone, donde podemos hacer hincapié sobre las aguas superficiales en temporadas de lluvia y en tiempos de estiaje los diferentes posos de almacenamiento y bombeos de aguas desde la parte inferior a la parte superior para los diferentes usos que sean necesarios, las aguas que presentan en temporadas de lluvia o aguas superficiales es canalizado para discurrir con



dirección a pozos o sumideros, que se realizan en la mina, después de esta recoger con camiones cisternas para regado de las rampas u otros usos, con lo cual evitan la filtración para no generar la sobrecarga al talud.

7.3.3. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL.

Se hizo un mapeo a detalle de la zona que comprometía las zonas de deslizamiento D45 y D47 del sector Sur-Oeste de la fase 6b2 del tajo Cuajone. Encontrándose las diferentes fallas que podrían afectar directamente como la falla mayor sur que se encuentra dentro de la mina, la falla cuajone que también está dentro de la mina el cual hace el control estructural de la mineralización, la falla botiflaca esta longitudinalmente cruza la quebrada cocotea y torata afectando toda la parte Sur-Oeste de la mina, con la presencia de estas fallas hace que el macizo rocoso al Sur-Oeste, sean más fracturados y débiles que juega un rol muy importante para que las rocas tienden a fracturarse fácilmente cuando se realiza una voladura y también favorece para el minado del material.

7.3.4. ANÁLISIS CINEMÁTICO ESTRUCTURAL DE LA ZONA DEL ESTUDIO.

Las zonas que están en proceso de deformación estos a su vez tienen un control estructural como la presencia de tipos de fallas que se pueden encontrar dentro de la mina cuajone, presencia de diques desestabilizantes, zonas de cizalle de alto grado de fracturamiento o patrones de control por discontinuidades para ello se tiene que representar una revisión de los tipos de fallas probables en un talud Sur-Oeste como es la presencia la falla en cuña en D45 y D47, Cuando esta falla se encuentra dominada por las estructuras (con control estructural) para el estudio del talud en fase 6B2, estos deslizamientos D45 y D47 se observo las familias de discontinuidades.



7.3.4.1. FALLAS CON CONTROL ESTRUCTURAL.

7.3.4.1.1. FALLA PLANAR (ROTURA PLANAR).

Este tipo de falla planar depende mucho en la rugosidad y el tipo de relleno que se tiene entre los bloques lo cual puede definir si el bloque se mueve parcialmente o no.

La falla tipo planar la roca que tenemos acá es volcánica hay dos planos bien claros, el plano que está a la derecha y tenemos el otro plano que está a la izquierda el que más ha tenido influencia para que se deslice este bloque ha sido el de la izquierda cuando veamos la toma del costado alrededor vamos a la importancia que tiene este plano para el movimiento después hay otro plano que es casi horizontal pero bueno, ha caído por la propia jugada de estos dos planos se han hecho que se mueva.

Se puede ver la dirección de los planos de los bloques y el movimiento que tuvo el bloque cuando cayó además de eso hay otros planos que ayudan a que se genere un movimiento con los planos verticales que cortan el bloque y que hacen posible que se genere el movimiento.

En esta fotografía se puede ver en el bloque deslizado, mostrándose otra vez la inclinación de los estratos y la dirección del buzamiento también las fracturas verticales que hace que se divida el bloque y en pedazos más pequeños.



Foto 5: Representación de formación de falla planar.



Foto 6: Vista del área del deslizamiento de una falla planar.



Foto 7: Formación de una falla planar en un banco de un talud minero.

7.3.4.1.2. FALLA POR CUÑAS (ESTE TIPO DE FALLA SE ENCUENTRA EN LA ZONA D45 y D47, AL SUR-OESTE DE LA MINA CUAJONE).

Este tipo de fallas en cuña presenta en los deslizamientos D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6B2 del fondo de la mina Cuajone, en minerías a cielo abierto es comúnmente presenciar este tipo de familias de discontinuidades que tienen un control estructural, identificarlos tempranamente favorece hacer un control de este tipo de fallas que puede presentar al realizar cualquier tipo de corte en un talud rocoso.



La falla en cuña en taludes como se puede ver en la foto 9 al Sur-Oeste se observa varios familias de discontinuidades los cuales van a distintas direcciones, pero claramente se ve la formación de una cuña muy grande producto de las familia de las discontinuidades que se generaron en los D45 y D47, se puede ver los planos que afectan a dicho deslizamiento, ahora lo que vamos a hacer analizar la familias de discontinuidades que presentan la falla en cuña, buscando analizar y entender su comportamiento y para luego modelarlo usando un software de geotecnia- Swedge.

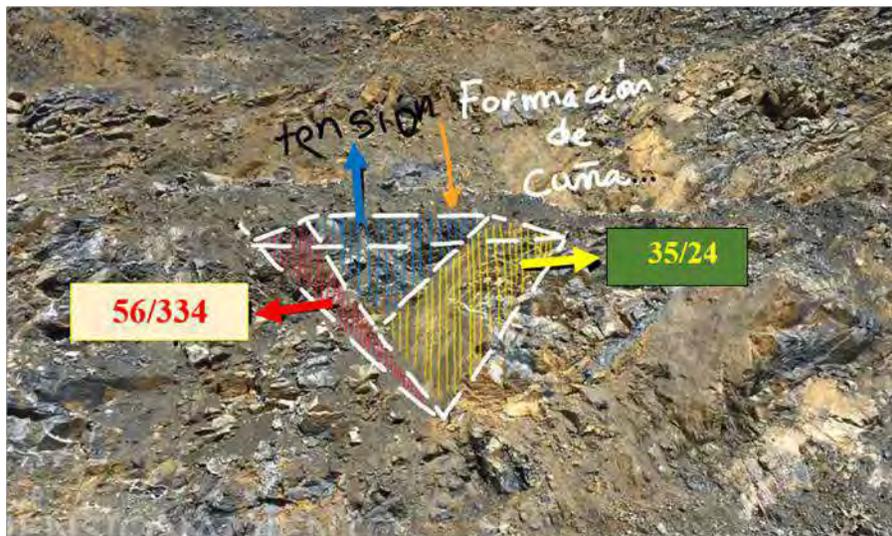


Foto 8: Representación de una formación de falla en cuña



Foto 9: Vista de una formación de una falla en cuña en un talud minero al Sur-Oeste de la fase 6B2.

Ahora claramente se puede ver el inicio de las dimensiones del tetraedro que forman la cuña además de los planos y las dimensiones de esta que presentan en los D45 y D47, para tener una fácil ubicación del problema aplicamos los datos tomados en campo de la zona del estudio, para analizar esto vamos a trabajar usando el SOFTWARE DIPS para hacer el modelamiento estereográfico primero colocamos los dos planos que generan el movimiento que son 35° de inclinación y 241° y 56° de inclinación con 334° y por ultimo tenemos el talud el cual tiene 80° de inclinación y 303° de dirección agregamos ahora el ángulo de fricción el



cual es de 25° tomar en cuenta que acá se está trabajando en planos y no en polos por eso es que ponemos el complemento del ángulo de inclinación.

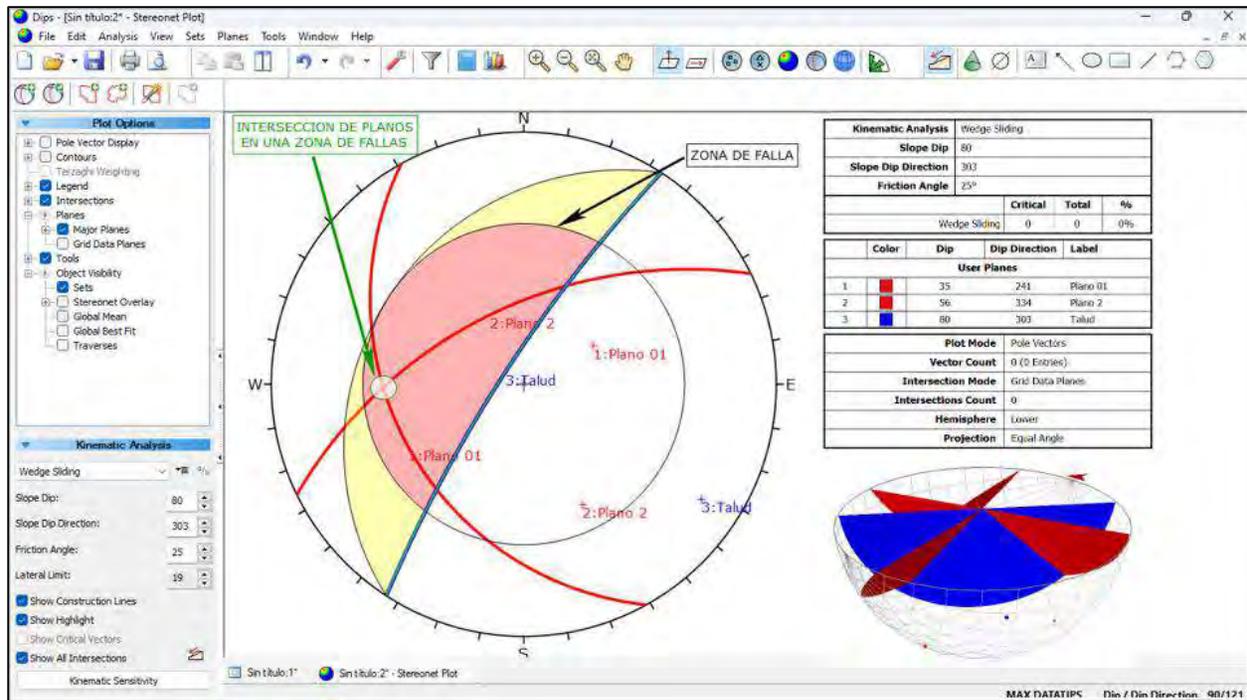


Figura 24: Representación estereográfica de una falla en cuña en Software Dip de Rocscience.

Si los planos se interceptan en el área sombreada y están cayendo en la zona de inestabilidad cinemático.

Ahora vamos a simular el comportamiento en cuña de los deslizamientos D45 y D47 usando el software SWEDGE DE ROCSCIENCE para una mejor visualización y dimensionar el bloque.



Primero poniendo los planos que delinear la cuña luego colocamos los planos que definen el talud después de esto colocamos las discontinuidades de tensión que se forman por la caída del bloque y damos parámetros suficientemente bajos para simular la falla del talud.

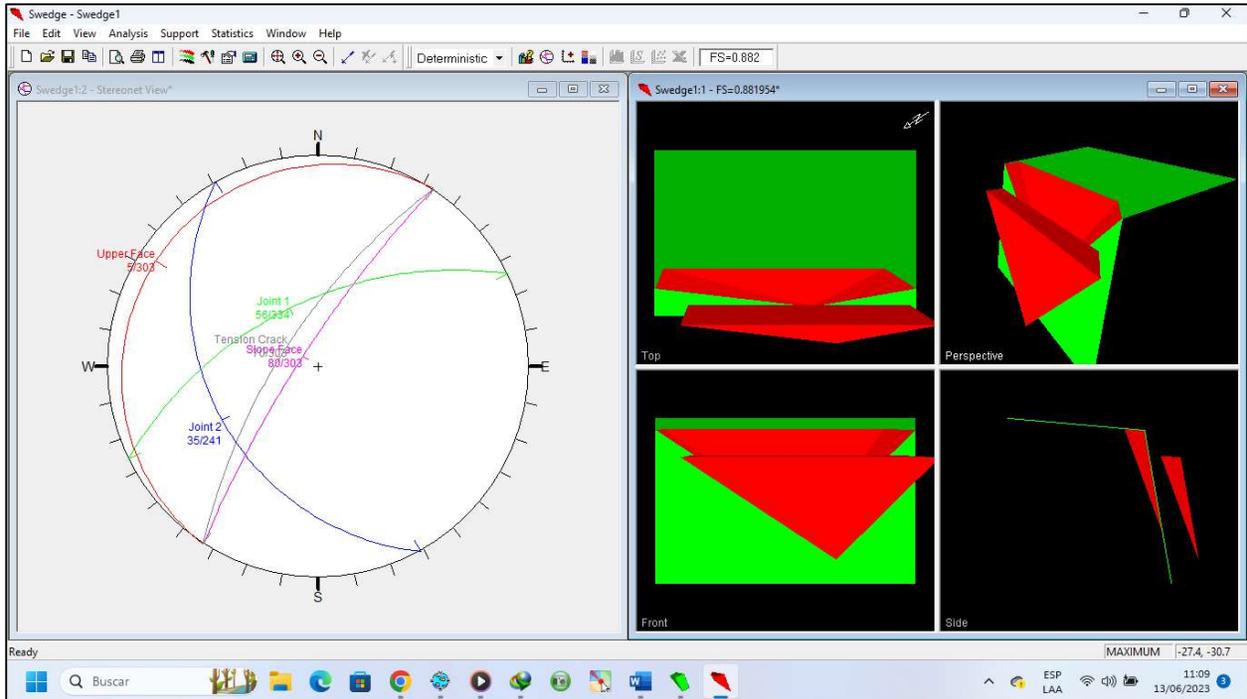


Figura 25: Representación de una falla en cuña donde se ve el tetraedro o el material que se va deslizar en software de Swedge de Rocscience.

Como se puede ver en la foto el talud obtenido con el software es muy preciso a los deslizamientos D45 y D47 que se ha simulado para mejor visibilidad, una vez terminado esto podemos ver que el factor de seguridad que se tiene es igual a 0 y que representa la falla de un talud al Sur-Oeste de la mina cuajone, además se puede ver como un bloque modelado si representamos la realidad pues conserva la misma forma.



7.3.4.1.3. FALLA TIPO TOPPLING (VOLCAMIENTO).

El vuelco es un tipo de mecanismo de fallo que ocurre comúnmente en masas rocosas que están subdivididas por la fracturación del macizo en una serie de bloques o columnas aproximadamente verticales, de forma que éstos giran alrededor de un punto fijo y se produce el deslizamiento entre los propios bloques de roca.

Sin embargo, no todas las discontinuidades existentes en un macizo rocoso pueden llevar a la que se produzca un vuelco.

Para que se produzca vuelco los planos de discontinuidad deben ser sensiblemente paralelos al talud y aflorar abruptamente y con gran inclinación en él. Asimismo, el centro de gravedad de los bloques y columnas de roca en que las discontinuidades subdividen el macizo debe caer fuera de la dimensión de su base. Los vuelcos se caracterizan por tener movimientos horizontales significativos en su parte superior, pero muy reducidos en su pie. Para poder compatibilizar este

movimiento diferencial entre el pie y la parte superior, debe darse el movimiento de todo el bloque, por lo que es necesario que se supere la fuerza de rozamiento máxima movilizable por fricción entre bloques.

Es importante señalar que el análisis cinemático debe realizarse de forma independiente para cada discontinuidad (o familia o agrupación de discontinuidades) y para cada talud bajo estudio, ya que en un macizo rocoso sólo algunas de las discontinuidades existentes conllevan un riesgo potencial vuelco.

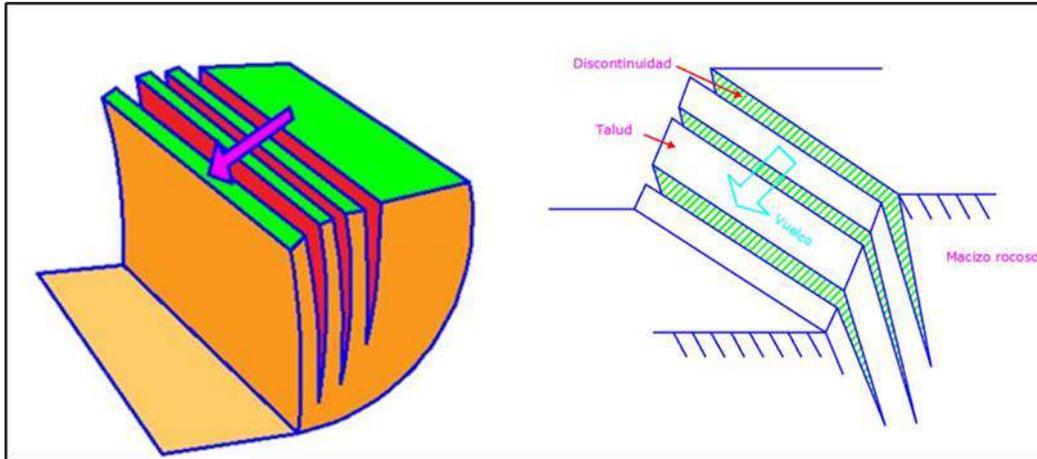


figura 26: Esquema de una falla tipo toppling o volcamiento.



foto 10: Vista de una formación de una falla en vuelco en un talud minero.

Este documento ha mostrado de forma práctica la metodología a seguir para realizar el análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca a vuelco.



7.3.4.2. FALLAS SIN CONTROL ESTRUCTURAL.

7.3.4.2.1. CAÍDA DE ROCAS.

Es el tipo de falla más simple y común en toda mina cuajone, y sucede cuando una roca suelta tiende a caer por diferentes factores como la vibración por la voladura o tránsito de equipos pesados, se movilizan producto de una pequeña perturbación que hace cambiar su estado de reposo a movimiento, rodando por el talud hasta quedar detenida. Su predicción es muy difícil y por tanto se recurre comúnmente a métodos de contención de rocas en la caída más que al modelamiento de la falla misma, por lo tanto, modelos de simulación de caída relativas de rocas sueltas son capaces de producir razonablemente exactas predicciones de trayectorias de caída de rocas.



Foto 11: Vista de un talud minero con mucha frecuencia de caída de rocas.

7.3.4.2.2. FALLA CIRCULAR.

Es una falla sin control estructural a diferencia de las fallas planas, de cuña y volcamiento. La falla circular, también conocida como deslizamiento o rotura rotacional, es producida por muchos sets de fallas, las cuales tienen distintos rumbos y buzamientos, y dejan la roca muy fracturada sin direcciones preferenciales de deslizamiento, perdiendo la cohesión.



En este caso siendo objetivo en la mecánica de rocas, este tipo de fallas o roturas se presentan generalmente en un macizo rocoso, pero de rocas muy alteradas, donde la superficie de fallas no está condicionada por los planos de discontinuidades, sino por una superficie que define una línea de mayor resistencia.

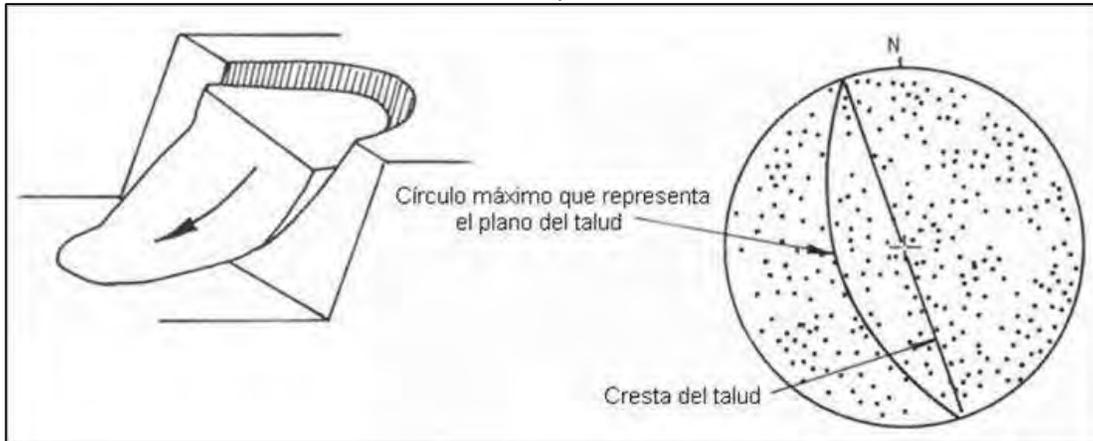


Figura 27: Representación de esquema de una falla circular.

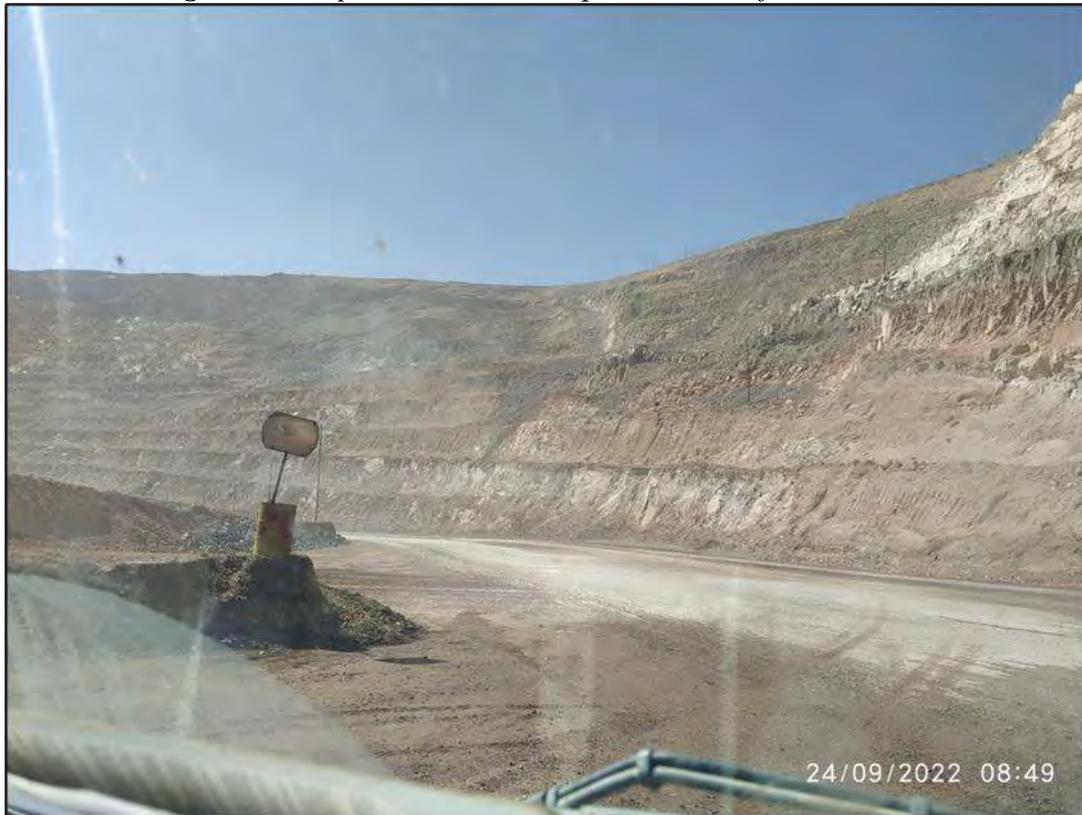


Foto 12: Vista de una formación de una falla circular en un talud minero.



7.4. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA INESTABLE D45 Y D47

7.4.1. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DE MACIZOS ROCOSOS.

Los sistemas de clasificación de macizos rocosos son utilizados principalmente para categorizar cuantitativamente la calidad de un macizo rocoso, evaluando determinados parámetros geomecánicos, como son la resistencia y comportamiento de la roca; familias de discontinuidades existentes, espaciado de los planos, caracteres geomecánicos de las discontinuidades tales como continuidad, rugosidad, separación, resistencia, meteorización y relleno; presencia de agua superficiales; tensiones in-situ, naturales o inducidas; alteraciones producidas en el macizo rocoso.

En los deslizamientos de D45 y D47 aplicamos los parámetros de líneas arriba para el macizo rocoso de la riolita porfirítica para determinar la calidad que estas rocas presentan al Sur-Oeste de fase 6B2 de la mina Cuajone. A continuación, se exponen y desarrollan las clasificaciones de macizos rocosos de uso actual (RQD, RMR y GSI) en las tareas metodológicas geológico-geotécnicas que se utilizan en el marco conceptual para taludes en minería a cielo abierto en macizos rocosos.

Para este grafico de la figura 28 el caso de RQD no se presencia, es un parámetro direccional del grado de fracturamiento de un testigo de roca, por lo tanto, no debe ser considerado como una clasificación del macizo, sino como un valor necesario para determinar la clasificación en cualquiera de los dos métodos siguientes propuestos.

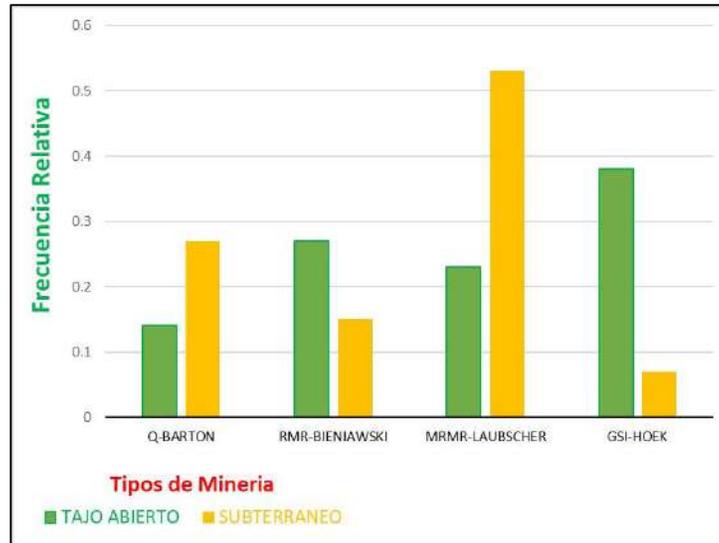


Figura 28: Frecuencia relativa de clasificación geotécnica de macizo rocoso a tajo abierto y subterráneo (fuente: flores & karzulovic, 2002.).

De acuerdo con la revisión de los diferentes métodos de clasificación del macizo rocoso, podemos extraer las siguientes consideraciones, usaremos los dos métodos más relevantes que tenemos en figura 28 para minería a cielo abierto o minería a tajo abierto usando el SOFTWARE GEOTABLE para facilitarnos el avance sobre la clasificación del macizo rocoso en los deslizamientos D45 y D47 al Sur-Oeste de la mina Cuajone, como es: RQD, RMR y GSI.

7.4.1.1. DETERMINACIÓN DE RQD PARA EL DESLIZAMIENTO D45 Y D47.

El RQD (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere en 1967 y es el índice más usado para medir el grado de fracturación de un macizo rocoso.

Se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la



longitud total del sondeo. Para determinar el RQD en la zona del deslizamiento D45 y D47, o zona de estudio al Sur-Oeste de la mina cuaje, se proceden por dos procedimientos de cálculo como es para testigos y macizo rocoso tomando en cuenta de esta por número de fisuras por metro cúbico.

7.4.1.1.1. PRIMER PROCEDIMIENTO DE RQD PARA TESTIGOS (PERFORACIÓN DIAMANTINA).

Con los datos que se realizaron en los gabinetes de Southern Perú en el área de logeo se ha obtenido los valores para determinar el RQD en los deslizamientos D45 y D47 se tiene que medir en porcentaje y solo puede medirse en testigos de sondeo con un diámetro mínimo de 55 mm o superior a 57.4 mm de diámetro para un logeo geotécnico en el almacenamiento en “Core Case” caja para testigos, Hay que prestar especial hincapié en que el RQD se suele medir por longitud de maniobra de sondista y en tramos de 100cm, 150cm y 200cm.

Para este caso usaremos la siguiente ecuación:

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud_de_fragmentos} \geq 10_cm}{\text{longitud_total_perforada}} \cdot 100, \quad RQD = \frac{\Sigma \text{testigos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{longitud del taladro}} \times 100 \% \dots\dots (1)$$

✚ Según SPCC. Cuajone clasifica el macizo rocoso según la tabla 6:



CLASE	RQD (%)	COLOR	DESCRIPCIÓN O CALIDAD DE ROCA
A	90 - 100		Macizo de Muy Buena Calidad
B	75 - 90		Macizo de Buena Calidad
C	50 - 70		Macizo de Moderada Calidad
D	25 - 50		Macizo de Mala Calidad
E	0 - 25		Macizo de Muy Mala Calidad

Tabla 6: Clases de RQD para testigo (Fuente: Geotecnia SPCC).

Para hacer nuestro cálculo de RQD tenemos la muestra (CORE CASE) caja para testigos de sondaje en la figura 29 del nivel 3400 que es la parte alta del deslizamiento o desde inicia el deslizamiento del D45 y D47 considerando los criterios en los core para mayores o iguales a 10, por lo tanto, menores a este se consideran 0.

También los trozos que contengan numerosos poros o que sean friables (o una combinación de estas características), no deben ser incluidos en la determinación del RQD (ASTM, 2002).



Figura 29: Datos tomados en riolita porfírica para el procedimiento para la medición del RQD (Deere, 1966), (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC).



Teniendo en cuenta estos datos en las rocas de riolita porfírica podemos calcular el valor de RQD usando la ecuación 01 o usando el software de geotecnia quien nos facilita SPCC. Para el deslizamiento de talud D45 y D47

$$RQD = \frac{25+12+14+0+0+12+25+0}{110} = 80\%$$

Usando el SOFTWARE GEOTABLE, podemos comprobar el resultado que realizo usando la ecuación 1 que se obtuvo el dato de 80%.



RQD (%)

Parámetro: Testigos

Juntas/metro ó juntas/m3: []

Longitud de Testigos: [] Ingresar (m)

Longitud Total de la base: 110

Calcular

25
12
14
12
25

Borrar

RQD (%): 80 Buena

Limpiar

Recomendaciones de fortificación según deere

Figura 30: Cálculo de RQD de la figura 24, considerando longitudes superiores a 10cm.

Según los resultados de un logeo geotécnico para la determinación del RQD de la zona del estudio llegamos a la conclusión de que el valor 80% nos indica según a la ecuación 1 y según la figura 30 es de clase B, el valor esta entre 75% - 90% de RQD de color verde y según la tabla 6 de comparación nos indica que el macizo rocoso es de buena calidad, con estos resultados se generan una nueva tabla para los deslizamientos D45 y D47 que es la tabla 7 donde podemos determinar otros parámetros que son necesarios para el análisis del deslizamiento D45 y D47 para luego estabilizar dicho deslizamiento.



<i>ECUACIÓN 1</i>	<i>GEOTABLE</i>	<i>CLASE</i>	<i>RQD</i>	<i>COLOR</i>	<i>DESCRIPCIÓN O CALIDAD DE ROCA</i>
80%	80%	B	75%-90%		Macizo de Buena Calidad

Tabla 7: Se muestran los resultados del cálculo geotécnico de RQD.

7.4.1.1.2. SEGUNDO PROCEDIMIENTO DE RQD POR NUMERO DE FISURAS POR METRO CÚBICO.

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico (Jv = Joint Volumetric number), para hacer la comprobación también es necesario realizar este procedimiento junto a los deslizamientos D45 y D47 para realizar un levantamiento litológico-estructural (Detail line) y tener el promedio de los resultados en el área o zona predeterminada de la operación minera.

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico al realizar el levantamiento litológico estructural de las paredes del talud de la mina al Sur-Oeste de Cuajone con estos valores se calcula la capacidad de carga para las voladuras en el área del estudio se aplica el criterio de (Palmstrom (1975)).

Nota: El Jv se calcula sumando el número de fisuras por metro cubico que corten de manera independiente a cada uno de los 3 ejes de un cubo imaginario de un cuerpo rocoso. No se debe contar una fisura en más de un eje, por ejemplo, si una fisura corta al eje x y al eje y, la contaremos bien en el eje x o en el eje y, pero no en ambos. Para tener una mayor precisión, mediremos una longitud adecuada en cada eje y luego hallaremos el número de fisuras en un solo metro cubico, haciendo una regla de 3 simple.

Tenemos para los cálculos las siguientes ecuaciones.



$$RQD = 115 - 3.3(Jv) \text{ Según Palmstrom (1975) (2).}$$

$$Jv = Jvx + Jvy + Jvz \text{ (3).}$$

$$Jvx = \frac{1}{S1}, Jvy = \frac{1}{S2}, Jvz = \frac{1}{S3} \text{ (4).}$$

Dónde: Jv = número de fisuras por metro cúbico o índice volumétrico de juntas.

S1, S2, S3 = Espaciamiento entre discontinuidades.

Para este caso usamos la tabla 8, para determinar RQD según Jv, elaborado por SPCC.

CLASE	RQD (%)	COLOR	CALIDAD	DESCRIPCIÓN
A	90 – 100		Muy Buena	Macizo de Muy Buena Calidad, (0-7) Juntas por m ³
B	75 - 90		Buena	Macizo de Buena Calidad, (8-12) Juntas por m ³
C	50 - 75		Aceptable	Macizo de Moderada Calidad, (13-19) Juntas por m ³
D	25 - 50		Pobre	Macizo de Mala Calidad, (20-27) Juntas por m ³
E	0 - 25		Muy Pobre	Macizo de muy mala Calidad, (>27) Juntas por m ³

Tabla 8: Clases de RQD para número de fisuras por metro cúbico. (Fuente: Geotecnia SPCC).

Para este caso de análisis por número de fisuras por metro cubico analizamos del nivel 3515, donde se tiene al alcance como podemos ver en la figura 31, para ello usamos la fórmula 2.

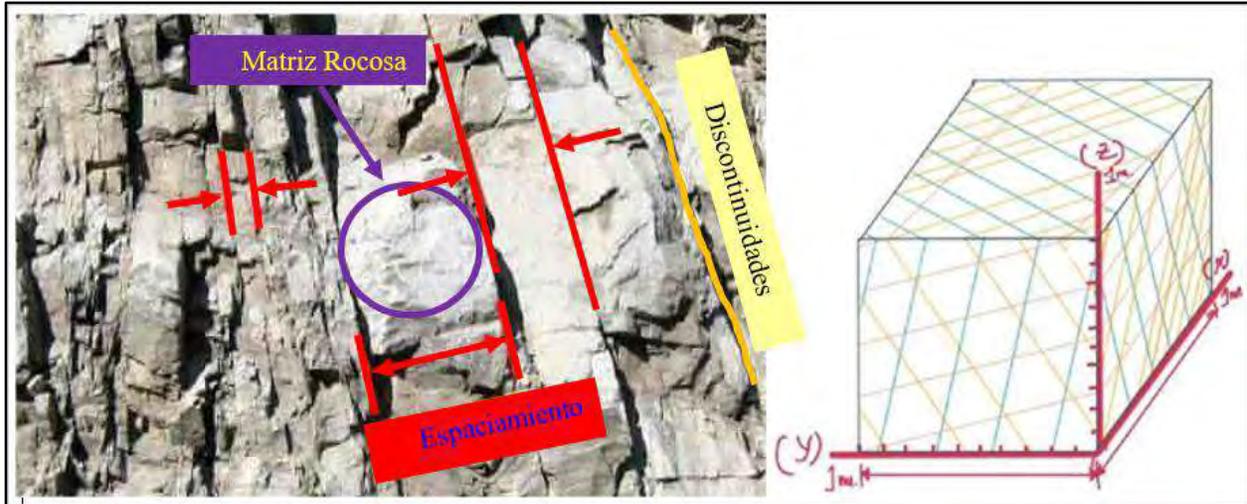


Figura 31: Estimación de rocas por 8-12, $J_v.m^3$, buena RQD 75% - 90%, (Fuente: Elaboración propia).

1) Para determinar las J_v usamos la ecuación 3:

$$J_v = \frac{1}{0.20} + \frac{1}{0.35} + \frac{1}{0.45} = 10.07$$

2) Para calcular RQD usamos la ecuación 2:

$$RQD = 115 - (3.3)(10.07) = 82\%$$

✚ Usando el SOFTWARE GEOTABLE minimizamos el tiempo para hacer el reporte, podemos determinar los parámetros J_v para el deslizamiento D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6B2 tenemos:



The screenshot shows a software window titled "RQD" with a close button in the top right corner. At the top center, there is a green rectangular box with the text "RQD (%)" in red. Below this, the interface is organized into several sections:

- Parámetro:** A dropdown menu currently set to "juntas/m3".
- Juntas/metro ó juntas/m3:** A text input field containing the value "10".
- Longitud de Testigos:** A section with two input fields and a button labeled "Ingresar (m)". The second input field is labeled "Longitud Total de la base".
- Calcular:** A button with a dotted border.
- Resultados:** A blue rectangular box with "RQD (%)" in white text, followed by an input field containing "82" and another input field containing "Buena".
- Borrar:** A button located to the right of a large empty rectangular area.
- Limpiar:** A button located below the empty area.
- Recomendaciones de fortificación según deere:** A wide button at the bottom of the interface.

Figura 32: Según el software GEOTABLE el valor de RQD hallado es 82%.

Según los resultados de un análisis Jv por m3 para la determinación del RQD en los deslizamientos D45 yD47 llegamos a la conclusión de que el valor de 82%, según la tabla 8 de la clasificación SPCC, los resultados del análisis de comprobación de la figura 32 y de la ecuación 2, es de clase B, el valor esta entre 75% - 90% de RQD de color verde de un macizo rocoso de buena calidad, donde se observó en el talud de (8-12) Juntas por m3, se genero una nueva tabla 9 con los resultados finales para determinar la clasificación del macizo rocoso.



<i>ECUACIÓN</i>	<i>GEOTABLE</i>	<i>CLASE</i>	<i>RQD</i>	<i>COLOR</i>	<i>CALIDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
82%	82%	<i>B</i>	75_90%		<i>Buena</i>	<i>Macizo de Buena Calidad, (8-12) Juntas por m3</i>

Tabla 9: Se muestran los resultados del análisis de J_v por m^3 para un RQD.

Con los resultados obtenidos de RQD por testigos y J_v nos da un resultado donde se observó la tabla 9 y 7 con valores que están dentro de 75-90%, lo cual hace que el resultado de los datos sea más confiable.

7.4.1.2. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE RMR (BIENIAWSKI) PARA EL DESLIZAMIENTO D45 YD47.

Bieniawski (1976) publicó una clasificación del macizo rocoso denominada Clasificación Geomecánica o Sistema Rock Mass Rating (RMR). Posteriormente este sistema ha sido mejorado hasta llegar a la versión de clasificación de Bieniawski (1989).

Se basa en la suma de una serie de factores o parámetros del macizo rocoso que se observó en D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6B2, para su clasificación geomecánica.

Los siguientes 6 parámetros son utilizados para clasificar un macizo rocoso al Sur-Oeste de la fase 6B2 de la mina usando el sistema RMR de Bieniawski (1989):



FACTOR	SIGNO	DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN	VALUACIÓN
A1	(+)	Resistencia a la compresión uniaxial del material rocoso	Básica	0 a 15
A2	(+)	Descripción del grado de fracturamiento de la roca RQD		3 a 20
A3	(+)	Espaciamiento de las discontinuidades (Fisuras diaclasas).		5 a 20
A4	(+)	Condición de las diaclasas		0 a 30
A5	(+)	Condición del agua subterránea		0 a 15
B	(-)	Orientación de las discontinuidades	Ajuste	0 a -12
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR			SUMA=	VALUACIÓN TOTAL

Tabla 10: Determinación de RMR (Fuente: geotable clasificación geomecánica).

Para el cálculo en la estabilidad de talud del D45 y D47 aplicamos la siguiente ecuación con los factores de la tabla 10:

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 - B(\text{correcciones}) \dots \dots \dots (5).$$

En Tabla 11, se indican las clases consideradas para modelar el parámetro RMR según SPCC de geotecnia para talud al Sur-Oeste de tajo Cuajone, con sus respectivos colores y descripción de la calidad respectivamente.



CLASE O CLASIFICACIÓN	RMR (VALUACIÓN O VALORACIÓN)	COLOR	DESCRIPCIÓN DE LA ROCA
<i>I</i>	80 - 100		<i>Macizo de Muy Buena Calidad</i>
<i>II</i>	60 – 80		<i>Macizo de Buena Calidad</i>
<i>III</i>	40 – 60		<i>Macizo de Regular Calidad</i>
<i>IV</i>	20 – 40		<i>Macizo de Mala Calidad</i>
<i>V</i>	0 – 20		<i>Macizo de Muy Mala Calidad</i>

Tabla 11: Clases de RMR Bieniawski, Z.T, modeladas en el tajo Cujone. (Fuente: Geotecnia SPCC).

Para determinar el sistema de valoración de la masa rocosa usamos la tabla 11 de Sistema de clasificación geomecánica RMR (Según Bieniawski, 1989) y el SOFTWARE GEOTABLE para facilitar los resultados de lo más breve posible para el análisis respectivo.



A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VALORACIONES									
PARÁMETROS		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia De La Roca Intacta	Índice De Carga Puntual	> 10mpa	4-10mpa	2-4mpa	1-2mpa	Para Este Rango Bajo, Es Preferible El Ensayo De Compresión Uniaxial.		
		Resistencia Compresión Uniaxial	> 250mpa	100-250mpa	50-100mpa	25-50mpa	5-25mpa	1-5mpa	<1mpa
Valoración		15	12	7	4	2	1	0	
2	Calidad De Perforación De Testigos RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
		Valoración	20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento De Discontinuidades	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	60-200mm	<60mm			
		Valoración	20	15	10	8	5		
4	Condición De Las Discontinuidades	Superficies Muy Rugosas No Continuas Cerradas, Sin Apertura Paredes Rocosas Sanas	Superficies Ligeramente Rugosas Apertura <1mm Paredes Ligeramente Intemperizadas	Superficies Ligeramente Rugosas Aperturas <1mm Paredes Altamente Intemperizadas	Espejo De Fallas O Panizos <5mm De Espesor Apertura De 1-5mm Juntas Continuas	Panizos Suaves >5mm De Espesor O Apertura >5mm Juntas Continuas			
		Valoración	30	25	20	10	0		
5	Agua Subterránea	Flujo Por 10m De Longitud De Túnel (L/M) Presión De Agua Principal Máximo Condición General	Ninguno O Completamente Seco	< 10 < 0.1 Húmedo	10 - 25 0.1- 0.2 Mojado	25-125 0.2-0.5 Goteo	>125 >0.5 Flujo		
		Valoración	15	10	7	4	0		

Tabla 12: Sistema de valoración de la masa rocosa – RMR (según Bieniawski 1989).

B. Ajuste de la valoración por orientación de las discontinuidades (ver F).						
parámetros		Muy favorable	favorable	regular	desfavorable	Muy desfavorable
valoraciones	Túneles y minas	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	taludes	0	-2	-25	-50	
C. CLASES DE MASA ROCOSA DETERMINADO POR LOS VALORES TOTALES						
valoración	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 21	
Numero de clase	I	II	III	IV	V	
descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala	
D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE ROCAS.						
Numero de clases	I	II	III	IV	V	
Tiempo de auto sostenimiento	20 años de spam 15m	1 año de spam 10m	1 semana spam 5m	10 hrs de spam 2.5m	30 minutos de spam 1m	
Cohesión de la masa rocosa KPa	> 400	300 – 400	200 – 300	100 - 200	<100	
Angulo de fricción de la masa rocosa	>45°	35° - 45°	25° - 35°	15° -25°	<15°	

Tabla 13: Para determinar los valores de B, C Y D para poder corregir la ecuación 5.



CONTINUACIÓN DE LA TABLA 4						
E. PAUTAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES.						
a	Longitud De Discontinuidad (Persistencia)	<1m	1 – 3m	3- 10m	10 – 20m	>20m
	Valoración	6	4	2	1	0
b	Separación (Apertura)	Cerrada	< 0.1mm	0.1 – 1mm	1 – 5mm	>5mm
	Valoración	6	5	4	1	0
c	Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Lisa	Espejo De Falla
	Valoración	6	5	3	1	0
d	Relleno (Panizo).	Ninguno	Relleno Duro < 5mm	Relleno Duro > 5mm	Relleno Suave < 5mm	Relleno Suave > 5mm
	Valoración	6	4	2	1	0
e	Intemperización	Sana	Ligera	Moderada	Muy Intemperizada	Descompuesta
	Valoración	6	5	3	1	0
F. EFECTO DE LA ORIENTACIÓN Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELERIA.						
Rumbo Perpendicular Al Eje Del Túnel			Rumbo Paralelo Al Eje Del Túnel			
Avance Con El Buzamiento Buzamiento 45°-90°		Avance Con El Buzamiento Buzamiento 20°-45°		Buzamiento 45°- 90°		Buzamiento 20°-45°
Muy Favorable		Favorable		Muy Desfavorable		Moderado
Avance Contra El Buzamiento Buzamiento 45°-90°		Avance Contra El Buzamiento Buzamiento 20°- 45°		Buzamiento 0°-20°, Independiente Del Rumbo		
Moderado		Desfavorable		Moderado		

Tabla 14: Para continuar los parámetros de la clasificación de la tabla 12 del número 4.

Para este cálculo usamos el SOFTWARE GEOTABLE.



Clasificaciones Geomecánicas
Regresar Convertidor Salir

Correlaciones y Conceptos Generales **MRMR** **GSI** **SMR**

RMR **Q de Barton** **GSI** **SMR**

Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)

Resistencia de la Roca Inalterada

Indice de Carga Puntual (MPa) > 10MPa 4-10MPa 2-4MPa 1-2MPa

Resistencia a la compresión uniaxial (MPa) > 250MPa 100-250MPa 50-100MPa 25-50MPa 5-25MPa 1-5MPa < 1MPa

Rating 4

RQD (Índice de calidad de la roca) **Espaciamiento de discontinuidades**

75-90 % >2m Ver Gráfico

Rating 17 **Calcular** **Rating** 20

Condición de discontinuidades

Persistencia 3-10m Apertura 1-5mm Rugosidad Moderadamente ru

Relleno Relleno duro <5mm Meteorización ligeramente alterado

Ver general 10 **Rating** 15

Presencia de agua

Caudal en 10m túnel (l/min) <10 Gw/G3 (Presión del agua/estuerzo principal) <0,1

Estado Ligeramente húmedo **Rating** 10

Corrección por orientación de las discontinuidades

Rumbo perpendicular al eje

A favor del Buzamiento **Rumbo paralelo al eje del túnel**

En contra del Buzamiento Túnel o minas
 Cimentaciones
 Taludes

Rating Ver gráfica

Calcular

RMR 76 Ver reporte

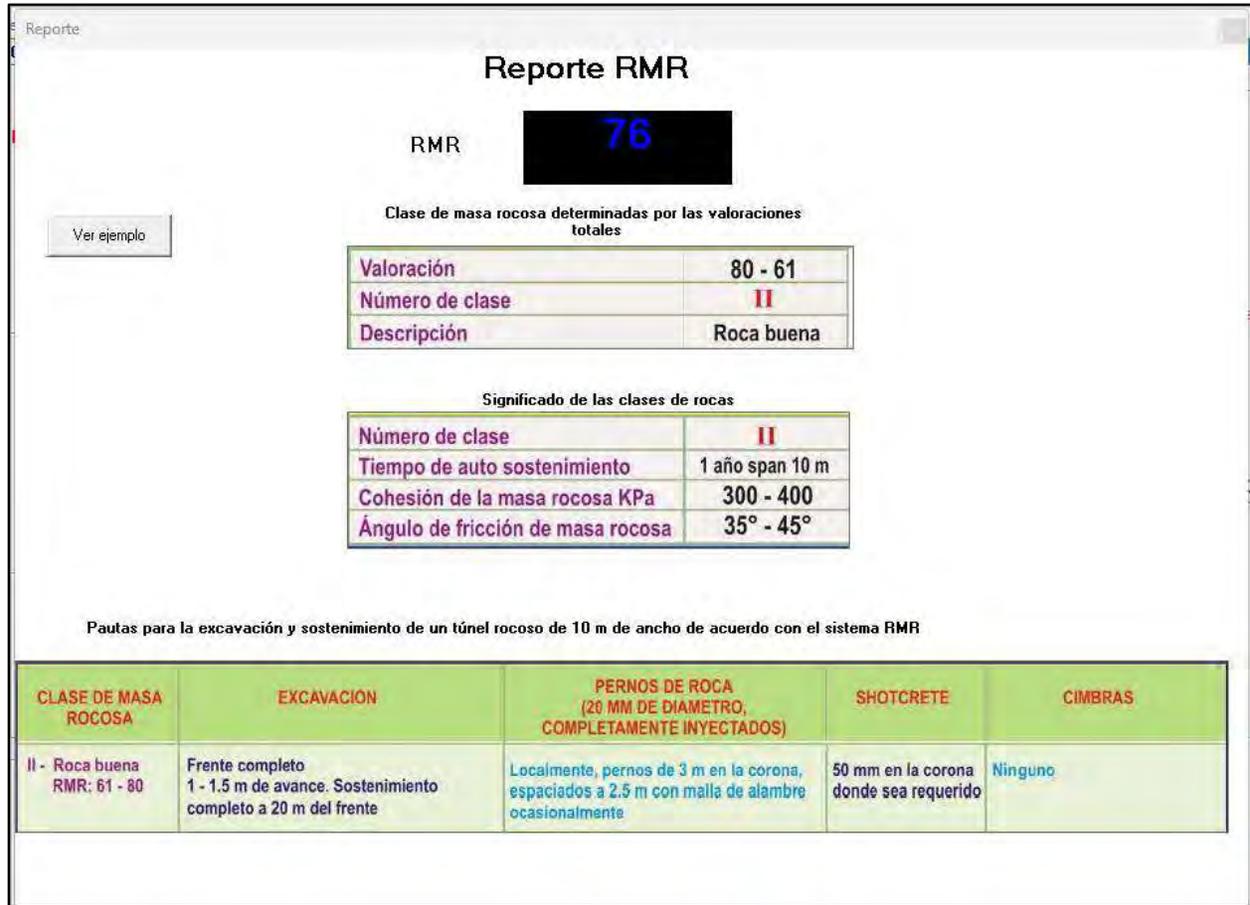
Figura 33: De acuerdo con los datos plasmado en el software geotable en el gabinete tenemos un RMR de 76.



✚ Aplicando la ecuación 5 tenemos un valor de RMR de 69.

ECUACIÓN 5	GEOTABLE	CLASE O CLASIFICACIÓN	RMR (VALUACIÓN O VALORACIÓN)	COLOR	DESCRIPCIÓN DE LA ROCA
69	76	II	60 – 80		Macizo de buena calidad

Tabla 15: El resultado de un análisis de un RMR según BIENIAWSKI 1989.



Reporte RMR

RMR **76**

Clase de masa rocosa determinadas por las valoraciones totales

Valoración	80 - 61
Número de clase	II
Descripción	Roca buena

Significado de las clases de rocas

Número de clase	II
Tiempo de auto sostenimiento	1 año span 10 m
Cohesión de la masa rocosa KPa	300 - 400
Ángulo de fricción de masa rocosa	35° - 45°

Pautas para la excavación y sostenimiento de un túnel rocoso de 10 m de ancho de acuerdo con el sistema RMR

CLASE DE MASA ROCOSA	EXCAVACION	PERNOS DE ROCA (20 MM DE DIAMETRO, COMPLETAMENTE INYECTADOS)	SHOTCRETE	CIMBRAS
II - Roca buena RMR: 61 - 80	Frente completo 1 - 1.5 m de avance. Sostenimiento completo a 20 m del frente	Localmente, pernos de 3 m en la corona, espaciados a 2.5 m con malla de alambre ocasionalmente	50 mm en la corona donde sea requerido	Ninguno

Figura 34: Resultado de un análisis de RMR en el SOFTWARE GEOTABLE.

En este caso con los resultados finales de la tabla 15 obtenidos tanto en software de geotable de la figura 34 y de los cuadros comparativos líneas arriba de las tablas 12, 13 y 14 nos sirve para hacer el diseño talud, con estos datos obtenidos hemos determinado la calidad del macizo rocoso al Sur-oeste del D45 y D47.



7.4.1.3. DETERMINACIÓN DE GSI. (ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICAS).

Hoek y Brown al, (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades.

El GSI proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso al Sur-Oeste de los deslizamientos D45 y D47, con diferentes condiciones geológicas y se obtiene de la combinación de 2 parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades.

En un principio, los parámetros del criterio de rotura de Hoek y Brown se derivaban a partir del índice RMR de Bieniawski. Sin embargo, la experiencia demostró que existían rangos de calidad del RMR para los cuales la aplicabilidad del criterio de rotura se veía muy limitada. Lo anterior motivó a Hoek a desarrollar el GSI como una caracterización basada más en observaciones geológicas fundamentales que propiamente “en números” (Hoek, 1985). A partir de la versión 2002 del criterio de rotura de Hoek y Brown, la cual incluye una revisión muy profunda de la correspondencia entre parámetros e índices de calidad, existe una amplia colección de correlaciones que permiten aproximar las constantes de cálculo a partir de bases más sólidas, aunque lo anterior no signifique que el criterio del ingeniero no continúa siendo el que juega el papel más relevante.



Para el caso de nuestro análisis del deslizamiento D45 y D47 de los niveles 3400-3535, 3400-3515 del talud al Sur-Oeste de la fase 6B2, podemos usar el software de goetable para análisis de Hoek del 2013 que este software geotécnico nos permite determinar el grado de libertad de GSI.

<i>CLASE</i>	<i>GSI</i>	<i>COLOR</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
<i>I</i>	<i>80 - 100</i>		<i>Macizo de Muy Buena Calidad</i>
<i>II</i>	<i>60 – 80</i>		<i>Macizo de Buena Calidad</i>
<i>III</i>	<i>40 – 60</i>		<i>Macizo de Regular Calidad</i>
<i>IV</i>	<i>20 – 40</i>		<i>Macizo de Mala Calidad</i>
<i>V</i>	<i>0 – 20</i>		<i>Macizo de Muy Mala Calidad</i>

Tabla 16: Clases de GSI (Hoek et al. 2013), (Fuente: Geotecnia SPCC).

Podemos estimar nuestro GSI de acuerdo con la figura 35 y 36 comparando la clasificación de Hoek Brown y tomar en cuenta esta comparación para clasificar según la tabla 16 para determinar el grado de libertad en los deslizamientos D45 y D47 que se encuentran al Sur-oeste de la fase 6b2.



ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

Figura 35: Clasificación GSI, Hoek Brown II (tomado de Gonzales Vallejo 2002).



CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA		CONDICIÓN DEL FRENTE				
<p>Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (<i>blockiness</i>) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación.</p>		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
ESTRUCTURA						
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	BR/MB	BR/B	BR/M	BR/P	BR/MP
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.	BI/MB	BI/B	BI/M	BI/P	BI/MP
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.	BC/MB	BC/B	BC/M	BC/P	BC/MP
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.	FI/MB	FI/B	FI/M	FI/P	FI/MP

Figura 36: Clasificación GSI, Hoek Brown I (tomado de Gonzales Vallejo 2002).

Con los resultados del análisis de GSI que es de 39.0 de la tabla 19 tenemos el grado de libertad de los deslizamientos D45 y D47 del macizo rocoso, donde el GSI no mide la calidad de la roca sino el movimiento del bloque por lo tanto el GSI solo toma dos parámetros para estimar una masa rocosa el tamaño de bloques y el espaciamiento. Por lo tanto, GSI solo se aplica en paredes rocosas.



ECUACIÓN (6)	GSI ANÁLISIS DE TABLAS	CLASE	GSI	COLOR	DESCRIPCIÓN
31	39	IV	20 – 40		Macizo De Mala Calidad

Tabla 17: Tabla de resultado de un análisis de un GSI.

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR y GSI										ESTACION	
										# Frec(%)	ROQ (%)
										1	100
										2	95
										3	90
										4	84
										5	79
										6	73
										7	64
										8	51
										9	37
										10	24
										11	10
										12	0
										13	0
										14	0
										15	0
										16	0
										17	0
										18	0
										19	0
										20	0
										21	0
										22	0
										23	0
										24	0
										25	0
										26	0
										27	0
										28	0
										29	0
										30	0
										31	0
										32	0
										33	0
										34	0
										35	0
										36	0
										37	0
										38	0
										39	0
										40	0
										41	0
										42	0
										43	0
										44	0
										45	0
										46	0
										47	0
										48	0
										49	0
										50	0
										51	0
										52	0
										53	0
										54	0
										55	0
										56	0
										57	0
										58	0
										59	0
										60	0
										61	0
										62	0
										63	0
										64	0
										65	0
										66	0
										67	0
										68	0
										69	0
										70	0
										71	0
										72	0
										73	0
										74	0
										75	0
										76	0
										77	0
										78	0
										79	0
										80	0
										81	0
										82	0
										83	0
										84	0
										85	0
										86	0
										87	0
										88	0
										89	0
										90	0
										91	0
										92	0
										93	0
										94	0
										95	0
										96	0
										97	0
										98	0
										99	0
										100	0

Figura 37: Datos tomados en campo para un mapeo geomecánica de RMR y GSI (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC).

7.5. ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES DE MACIZO ROCOSO Y ROCA INTACTA.

La caracterización geotécnica resulta fundamental para determinar las propiedades mecánicas de la roca intacta, las estructuras del macizo rocoso para poder comprender los diferentes fallas que presentan en los taludes y rocas del deslizamiento D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6B2, aplicamos el criterio generalizado de HOEK-BROWN, para ello usamos los valores de ensayo de resistencia a la compresión uniaxial en unidades megapascales (Mpa) y también el ensayo de índice de carga puntual en unidades megapascales (Mpa), para ello nos apoyamos usando el software de rocdada de rocscience y el software de apoyo geotable.



7.5.1. MACIZO ROCOSO.

El criterio de falla generalizado de Hoek-Brown para macizos rocosos fracturados está definido por:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times \left(m_b \times \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \dots\dots\dots (7) .$$

Donde:

- ✚ σ'_1 y σ'_3 = son los esfuerzos efectivos principales mayor y menor, respectivamente, en la condición de falla
- ✚ m_b = es el valor de la constante m de Hoek-Brown para el macizo rocoso.
- ✚ s y a = son constantes que dependen de las características del macizo rocoso.
- ✚ σ_{ci} = es la resistencia a la compresión uniaxial en (Mpa) de los trozos o bloques de roca intacta que conforman el macizo rocoso.
- ✚ D = Factor de perturbación que incluye los efectos de voladura y el desconfinamiento del macizo rocoso podemos analizar de acuerdo con la figura 40.



<i>Condición</i>	<i>Descripción de la Condición</i>	<i>D</i>
	<i>Tronaduras pequeñas en taludes de obras civiles inducen poco daño en el macizo rocoso, especialmente si se usan tronaduras controladas para minimizar el daño, como se muestra en la fotografía. Sin embargo, siempre se produce algún grado de perturbación debido al desconfinamiento del macizo rocoso.</i>	<p style="text-align: center;"><i>0.7</i> <i>Buena Tronadura</i></p> <p style="text-align: center;"><i>1.0</i> <i>Mala Tronadura</i></p>
	<i>Los taludes mineros en rajos profundos sufren daños importantes debido a las tronaduras de producción, como también al desconfinamiento asociado al desarrollo del rajo. En el caso de algunas rocas blandas la excavación puede hacerse sin tronadura (eg con bulldozer), lo que reduce significativamente el daño inducido en el macizo rocoso.</i>	<p style="text-align: center;"><i>1.0</i> <i>Tronaduras de Producción</i></p> <p style="text-align: center;"><i>0.7</i> <i>Excavación Mecánica</i></p>

Figura 38: Guías para evaluar el parámetro *D*. en el caso de taludes. (Fuente: Geotable clasificación geomecánica).

7.5.2. ROCA INTACTA.

Para los bloques de roca intacta que conforman el macizo rocoso, la ecuación (7) se simplifica a:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \times \left(m_i \times \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^{0,5} \dots\dots\dots (8).$$

Donde:

- ✚ σ'_1 y σ'_3 = son los esfuerzos efectivos principales mayor y menor, respectivamente, en la condición de falla.
- ✚ m_i = es el valor de la constante *m* de Hoek-Brown para roca intacta.
- ✚ *S* y *a* = son constantes fijas para la roca intacta el valor de *S* es 1 y el valor de *a* es 0.5
- ✚ σ_{ci} = es la resistencia a la compresión uniaxial en (Mpa) de los trozos o bloques de roca intacta que conforman el macizo rocoso.



La relación entre los esfuerzos principales efectivos en la condición de falla para un tipo de roca dado está definida por dos constantes, la resistencia en compresión no confinada σ_{ci} y una constante m_i . Siempre que sea posible, los valores de estas constantes deberían determinarse mediante análisis estadísticos de los resultados obtenidos de una serie de ensayos resistencia a la compresión uniaxiales o índice de carga puntual efectuados sobre testigos de sondajes cuidadosamente preparados.

Cuando no es posible realizar pruebas de laboratorio, se pueden utilizar las Tablas 19 y 20 para estimar los valores de σ_{ci} y m_i . Estas estimaciones se pueden usar para los propósitos de un diseño preliminar, pero para diseños a detalle se deberían de desarrollar ensayos de resistencia a la compresión uniaxiales en los laboratorios que permitan obtener valores más confiables.



Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca (19)	Limolita (9)	Arcillolita (4)
	No Clásticas	Orgánicas	← Grauwaca (18) →			
			← Creta (7) →			
		Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esperítica (10)	Caliza Micrítica (8)	
	Químicas		Yeso (16)	Anhidrita (13)		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol (9)	Rocas Córneas (19)	Cuarcita (24)	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita (25 - 31)	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss (33)	Esquistos (4 - 8)	Filitas (10)	Pizarras (9)
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito (33)		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
		Diorita (28)		Andesita (19)		
	Oscuras	Gabbro (27)	Dolerita (19)	Basalto (17)		
Norita (22)						
Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)		

Tabla 18: Valores de la constante m_i de la roca intacta para distintos tipos de roca (los valores entre paréntesis corresponden a estimaciones)

Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Tabla 19: Estimación en terreno de la resistencia a la compresión uniaxial.



- Para la estimación de las propiedades de macizo rocoso se tomó la siguiente metodología:
 - 1) Se hizo la estimación de los parámetros que definen la envolvente de falla de Hoek-Brown para la roca intacta en base a los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión uniaxial para las rocas Riolita Porfírica, estas rocas están presentes en los deslizamientos D45 y D47 al Sur-Oeste de la mina Cuajone.
 - 2) Se utilizó el software Rockdata v. 3.0 (del 2023) de Rocscience para la clasificación de la roca intacta de los parámetros m_i y σ_{ci} .
 - 3) Se consideraron los valores del índice GSI, de los resultados anteriores de la tabla 19
 - 4) Se consideró un factor por Hoek Brown un factor de perturbación o daño de voladura $D = 0.80$

- ✚ A continuación, se muestra el reporte de la envolvente de ruptura con 06 ensayos, con los resultados de nuestro ensayo de resistencia a la compresión uniaxial para la roca Riolita Porfírica tenemos σ_{ci} de 31.1 MPa, m_i de 14.8, según el análisis de GSI es 39.0, D es de 0.8, peso específico es de 0.0254 MN/m³, para una altura de 200m.

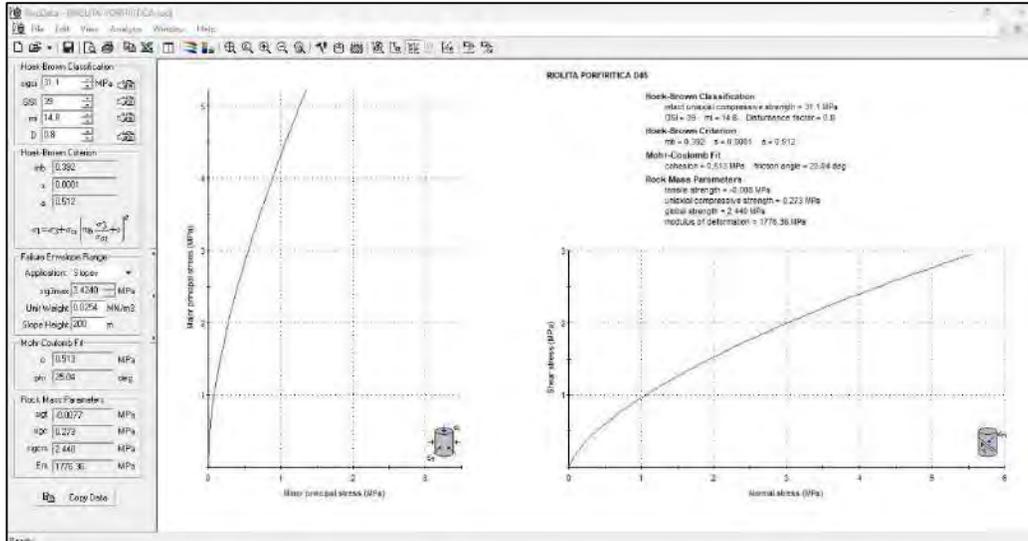


Figura 39: Estimación de ruptura para Riolita Porfírica en ROCDATA DE ROCSCIENCE (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC).

RIOLITA PORFÍRICA		ESPERADO	σ	MIN	BAJO	ALTO	MAX	UNIDAD
DATOS	m_i	14.8	14.80	2.5	9.8	12.3	17.3	-----
	σ_{ci}	31.1	31.14	29	-26.5	2	60	Mpa
	GSI	39.0	39.00	14	10.9	25	53	-----
	D	0.80	0.70		1.0	0.90	0.80	-----
	γ	0.0254	0.0254	0.0002	0.0248	0.0252	0.0256	MN/m3
	E_i	45.8						Gpa
	H	200	Profundidad del talud o altura del talud					
Caso	1	1 = Excavación subterráneas 2 = Taludes						

RESULTADOS			
m_b	=	0.392	----
s	=	0.0001	----
a	=	0.512	----
σ_{TM}	=	-0.0087	Mpa
σ_{CM}	=	0.336	Mpa
σ_{CMG}	=	2.820	Mpa
σ_{CMAX}	=	3.469	Mpa
σ_{3M}	=	0.1114	Mpa
c	=	0.513	Mpa
Φ	=	25.04	Grados
$E_{H-D2005}$	=	2.52	Gpa
V	=	0.27	-----
B	=	1.83	Gpa
G	=	0.99	Gpa

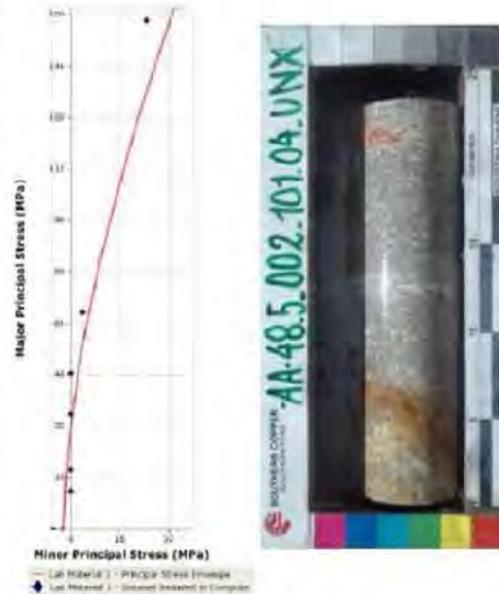


Figura 40: Propiedades geomecánicas de roca intacta de Riolita porfírica (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC).



Unidad	Propiedades Índice		Ensayos Mecánicos		Propiedades Mecánicas		Prop. Mec. Dinámicos		Roca Intacta		Módulos Dinámicos	
	γ (Tn/m ³)	n (%)	Tl (Mpa)	UCS (Mpa)	E (Gpa)	ν	Ed (Gpa)	Vd	m_i	σ_c (Mpa)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
Riolita Porfírica	2.54	3.2	5.74	28.8	45.8	0.14	60.5	0.24	14.8	31.1	5177.9	3028.5

figura 41: Ensayos de laboratorio y propiedades de la roca Intacta y propiedades de Roca Intacta (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC).

Unidad	Roca intacta			Macizo rocoso			
Litología	γ (Ton/m ³)	m_i	σ_{ci} (Mpa)	GSI	mb	s	a
Riolita Porfírica	2.54	14.8	31.14	39.0	0.392	0.0001	0.512

Figura 42: Ensayos de laboratorio de las propiedades geomecánicas de la zona (Fuente: Superintendencia Mina Cuajone – SPCC).

7.6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA INESTABLE D45/ D47.

En el flanco Sur- Oeste ha venido deslizando con el pasar de los tiempos desde los inicios del año 2020 (D45) y el deslizamiento (D47) en el año 2020, dando inicio al D45 su proceso de deformación de una cuña controlada asociado a una falla pebble (falla sin distinción), brecha con tendencia al Este-Oeste, con un buzamiento al norte.

Conforme con el crecer de los bancos del minado en el transcurso del desarrollo en los niveles del sector este incremento su cono de derrame de banco a banco en el nivel 3535.

Posteriormente en la zona D47 se forma a lo largo de una falla de tendencia al Nor-Oeste- Sur-Este, lo cual se van activando con los proyectos de la voladura masiva lo cual fue incrementando su cono de derrame a partir del nivel 3515.

En ambos deslizamientos los movimientos de masas fueron variables e inferiores a 5mm/d. de manera discontinua.



7.6.1. GEOLOGÍA.

La geología de la zona está controlada por rocas mineralizadas: Andesita Intrusiva (AI), andesita basáltica (AB), toba salmon (TSA), conglomerado riolítico (CR) y Riolita Porfirítica.

Esta última roca Riolita Porfirítica ha sido sometida por constantes pulsos en los cuales han fracturado y alterado su estructura original que se encuentran aflorando en los deslizamientos D45 y D47.

7.6.2. GEOTECNIA.

El talud Sur-Oeste de en el fondo de mina ha presentado generalmente rupturas por tipo Cuña los deslizamientos D45 y D47, además, los planes de minado han sido afectados en la fase 5 fondo mina donde proveen full mineral, comprometiendo la estabilidad de la zona en los últimos años. Además, las sobre cargas de explosivos por la necesidad de fragmentar más la roca para facilitar su procesamiento en chancadora ha generado que las fracturas se dilaten más de lo permitido.

7.6.3. TIPOS DE ROTURA.

Los deslizamientos D45 y D47, por sus características está catalogada como una ruptura tipo Cuña. Esta ya había sido descrita y vista con anterioridad. Al momento de su caída dejó en evidencia una cuña de menores dimensiones, esta última presentaba aproximadamente 135 metros de altura y 115 metros.



El proceso de deformación y posterior colapso de la cuña se originó por la remoción de material que acuñaba al pie del talud.

7.7. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA ZONA SUR- OESTE DE LA FASE 6B2.

El análisis de estabilidad está basado básicamente en obtener el factor de seguridad (FS), que se determina en los taludes del estudio del deslizamiento D45 y D47. Este factor se halla comparando los esfuerzos a lo que se somete los taludes y los esfuerzos que puedan soportar.

Para taludes relativamente homogéneos, la superficie de falla se aproxima aún arco circular a lo largo, las fuerzas de ruptura puedan ser analizados.

7.7.1. CRITERIO DE ACEPTABILIDAD (CA).

generalmente el criterio de aceptabilidad depende de la magnitud y consecuencia de una eventual inestabilidad de talud, y se define en términos de valores mínimos o máximos permisibles para uno o más de los siguientes parámetros: factor de seguridad, margen de seguridad, probabilidad de falla e índice de confiabilidad.

7.7.2. FACTOR DE SEGURIDAD (FS).

El análisis de los mecanismos de falla en los taludes nos permitirá cuantificar el factor de seguridad, el que a su vez entrega la condición mínima segura para la inclinación de la pared en ingeniería geotécnica, se utiliza un factor de seguridad para taludes mineros superior a 1,3.



Resultado del análisis retrospectivo de taludes estables sugieren, de acuerdo con el factor de seguridad (F_s), si F_s es mayor que 1 se tiene una condición estable, si F_s es igual a 1 se tiene una condición de equilibrio límite o falla incipiente y si el F_s es menor que 1 se tiene una condición de falla o inestabilidad.

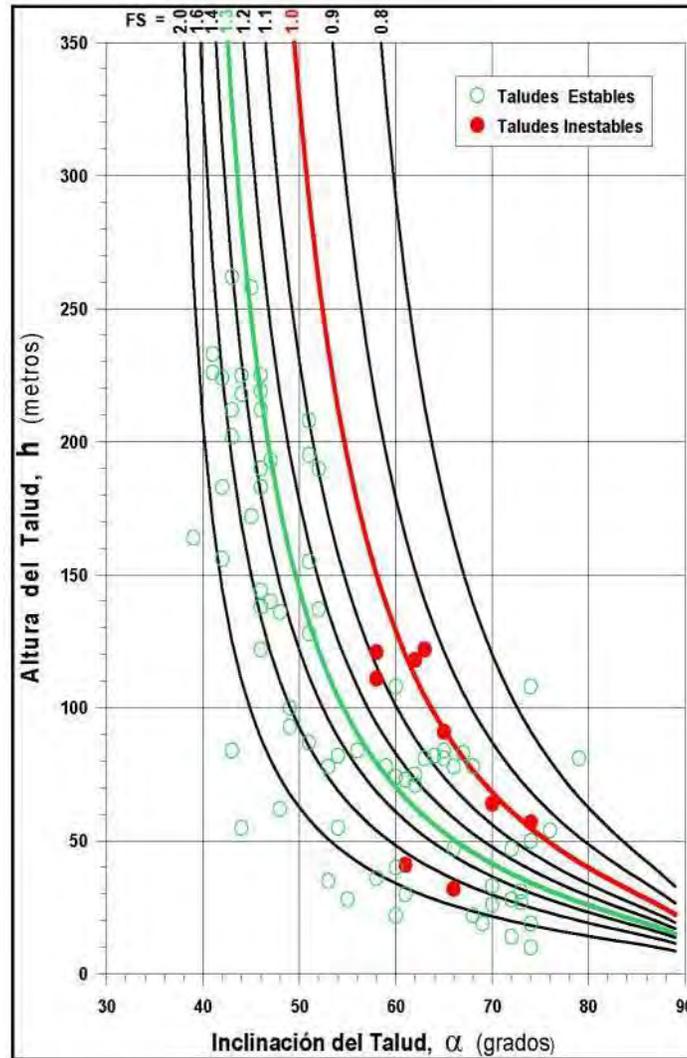


Figura 43: Altura de talud v/s ángulo de talud para el gráfico empírico de estabilidad de taludes de Hoek (Vallejos [19]).

De acuerdo con este valor de 1,3 se cuantificará el valor de factor de seguridad de acuerdo con el método de dovelas para fallas circulares como Bishop simplifica, Fellenius y Jambu, por métodos que se maneja para acelerar el procedimiento realizamos con el software de SLIDE v 6.0.

7.7.2.1. EL MÉTODO ORDINARIO O FELLENIUS (1927).

Aplicable para fallas circulares, trabaja utilizando el equilibrio de las fuerzas, no toma en cuenta las fuerzas entre dovelas.

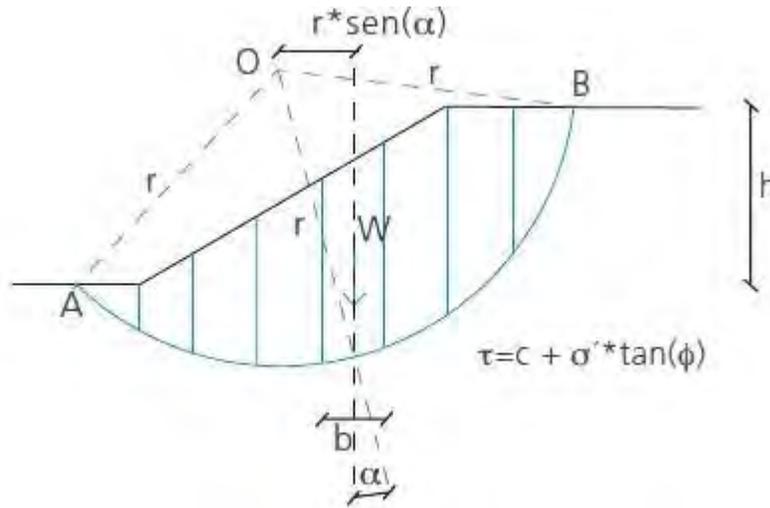


Figura 44: Esquema del análisis de estabilidad de taludes por el método de Fellenius (Fuente: **RODRÍGUEZ CIFUENTES**)

Las fuerzas que actúan sobre el talud se pueden apreciar en la figura 44, donde se toma la n ma dovela como ejemplo:

Donde:

- W : Resultante peso dovela
- R : Fuerza que actúa como reacción al peso de la dovela
- N_n y $N_{(n+1)}$: Fuerzas normales que actúan en cada lado de la dovela
- T_n y $T_{(n+1)}$: Fuerzas tangenciales que actúan en cada lado de la dovela
- N_r : Componente normal de la reacción R
- T_r : Componente tangencial de la reacción R

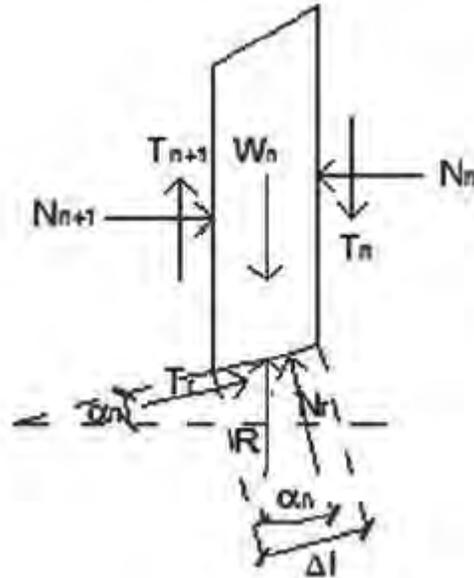


Figura 45: Esquema de las fuerzas que actúan en la ψ dovela, de acuerdo al método de Fellenius

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c \cdot \Delta l + W_n \cdot \cos(\alpha_n) \cdot \tan(\phi)]}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin(\alpha_n)}$$

- ✚ Para encontrar el FS del círculo de rotura crítico, es decir, el mínimo FS del talud, se deben realizar varios intentos reubicando el centro del círculo de falla.

7.7.2.2. EL MÉTODO SIMPLIFICADO DE BISHOP (1955).

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factor de seguridad de taludes, aunque el método solo satisface el equilibrio de momentos se considera que los resultados son muy precisos en comparación con otros métodos.

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c \cdot b + W_n \cdot \tan(\phi)] \cdot \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n \cdot \sin(\alpha_n)]}$$



- ✚ Es posible notar que el valor del FS no aparece de manera explícita, dado que se presenta a ambos lados de la ecuación, por lo que se debe realizar un proceso iterativo para poder encontrarlo.

7.7.2.3. EL MÉTODO DE JAMBU (1954).

Describió un método de análisis que podía ser aplicado tanto en superficies de deslizamientos circulares como no circulares donde la formulación original fue ampliada para cubrir el análisis de la capacidad portante y de los problemas de presión de la tierra.

Este fue el primer método de rebanada donde se satisfacen los equilibrios globales de momentos y fuerzas.

Jambu formulo las ecuaciones generales de equilibrio resolviendo vertical y horizontalmente respecto a la base de cada rebanada considerando el equilibrio global de las fuerzas se tiene una expresión para el factor de seguridad.

$$FS = \frac{f_0 \cdot \sum \left\{ [c + b + W \cdot \tan(\phi)] + \frac{1}{\cos(\alpha) \cdot m \cdot a} \right\}}{\sum W \cdot \tan(\alpha)}$$

7.7.3. FALLA DE UN TALUD MINERO.

Si el volumen del material afectado usualmente proporciona a las consecuencias de la falla queda limitado por la geometría de talud y por una superficie de ruptura.

7.7.4. PROBABILIDAD DE FALLA (PA).

la probabilidad de que ocurra la falla de un talud minero, el factor de seguridad debe ser igual menor que 1.



7.8. RESULTADO E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD AL SUR-OESTE DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE.

Según los resultados del análisis de estabilidad, el factor de seguridad obtenidos, la interpretación de los resultados, el análisis de estabilidad considera hacer un reajuste de los perfiles correspondientes entre las secciones A-A' y B-B' sobre los deslizamientos D45 y D47, con la topografía antes de ocurrir la inestabilidad y los parámetros iniciales calculados previamente.

El proceso de inestabilidad posteriormente se realizó con un plan de descarga de material inestable que corresponde en los bancos 3535-3400 (D45) alcanzando una altura de 135m y 3515-3400 (D47) alcanzando una altura de 115m, donde el material desplazado será removido un total de 130142 TM en los dos deslizamientos para minimizar el impacto inestable e incrementar el factor de seguridad en la zona.

Se toma como referencia la norma geomecánica de rocas ASTM D2845 normas de la ASTM (*American Society of Testing Materials*) y los métodos sugeridos de la ISRM (*International Society of Rock Mechanics*), este manual nos facilita para determinar el factor de seguridad lo cual nos sirve como referencia para un plan propuesto para la tabla 20.

Al considerar una evaluación de la topografía actual con descarga de la zona de coronación se obtuvieron resultados favorables, inferiores a la condición inicial, pero superior al criterio de aceptabilidad, con estos resultados finales la evaluación ha permitido continuar con los procesos de minado en la fase 6B2 y fase 5.



<i>Sección</i>	<i>Condición inestable</i>		<i>Condición del plan propuesto</i>	
	<i>Estático</i>	<i>Pseudo estático</i>	<i>Estático</i>	<i>Pseudo estático</i>
<i>Sección A - A'</i>	0.0	0.008	1.5	1.4
<i>Sección B - B'</i>	0.0	0.009	1.5	1.4

Tabla 20: Según la norma ASTM D2845 el F.S. para un plan propuesto en la sección A-A´ B-B´.

7.8.1. IMPLEMENTACION DE LA INESTABILIDAD DE TALUD D45 Y D47,

UTILIZANDO EL SOFTWARE SLIDE DE ROCSCIENCE.

Para el análisis del talud Sur-Oeste de la fase 6b2 tajo Cuajone se han tomado características peculiares de acuerdo a la experiencia según la clasificación de los métodos más usados en una mina a cielo abierto para rocas competentes.

7.8.1.1. ANÁLISIS DE SECCIÓN A-A', D45 ESTÁTICO Y PSEUDO ESTÁTICO CON COEFICIENTE SÍSMICO DE 0.15 CM/S2, CON SOFTWARE SLIDE V.6.

Resultado de análisis por el método de dovelas para el FS. Igual a 0.0, donde podemos ver en la figura 47 y a más detalle podemos observar en la figura 48 donde el deslizamiento afecta 135m de altura a 9 bancos, para un talud estático y Pseudo Estático con un coeficiente sísmico de 0.15 cm/s2 nos indica que es un talud es inestable, se realizó por los tres métodos de dovelas para fallas circulares como es de Jambu, Fellenius y Bishop, para ello el cálculo se realizó en el software Slide de Rocscience.

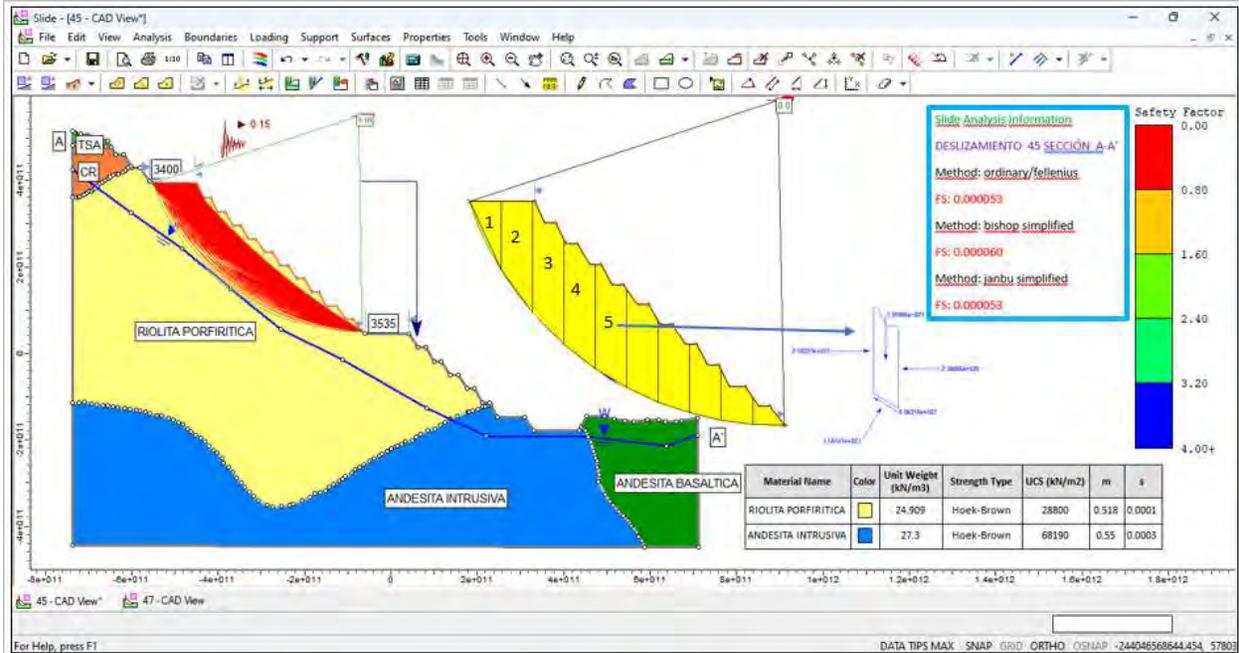


Figura 46: Resultado de Fs para el D45 con un coeficiente sísmico De 0.15

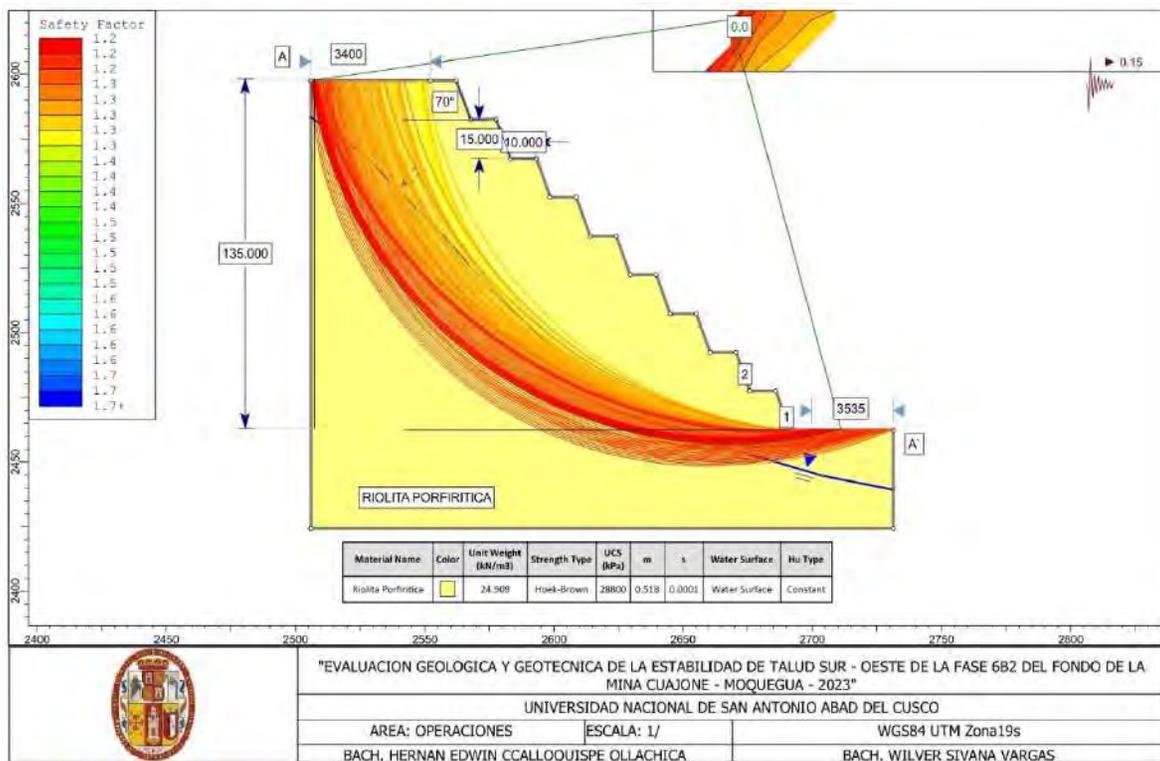


Figura 47: Análisis de Fs del D45 de los 9 bancos de una altura de 135m. donde se puede ver mejor a detalle.



<i>Método de dovelas</i>	<i>Estático</i>	<i>Pseudo estático</i>
<i>Fellenius</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>
<i>Bishop simplificado</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>
<i>Janbu</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>

Tabla 21: Análisis por método de dovelas sección A-A' D45 al inicio del proyecto.

Con este resultado de análisis de estabilidad de talud D45 tiene un factor de seguridad 0.0 que nos indica que es inestable, es necesario hacer un reajuste del perfil y del ángulo del talud final que será de 60°, para una condición de un plan propuesto donde Fs sea mayores o iguales a 1.5, para lo cual estabilizar el material deslizante para tomar criterios de colocar o cercar el área con una berma de seguridad y monitoreando constante con equipos y personal encargado, hasta estabilizar la zona del deslizamiento.



Foto 13: Vista de un monitoreo don Georadar la zona del deslizamiento al Sur-Oeste de la fase 6b2.

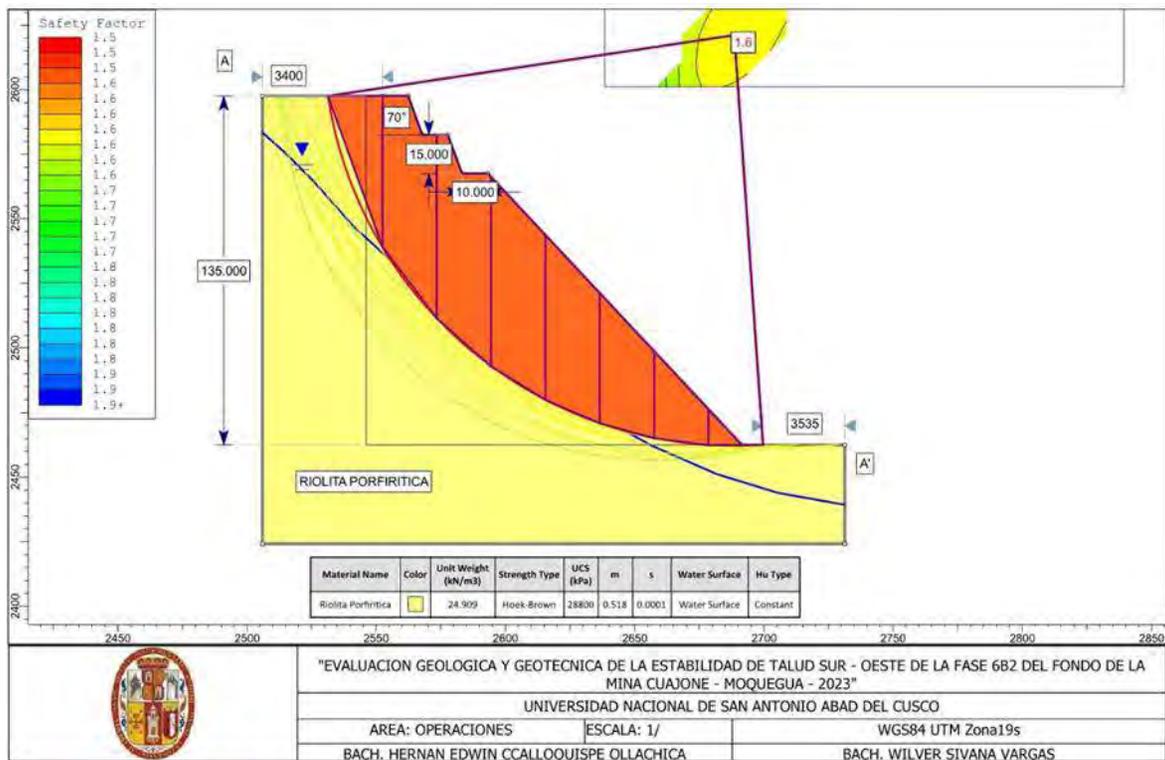




Figura 48: Perfil reajustado del D45 sin coeficiente sísmico alcanzando una altura de 135 m. por método de dovelas.

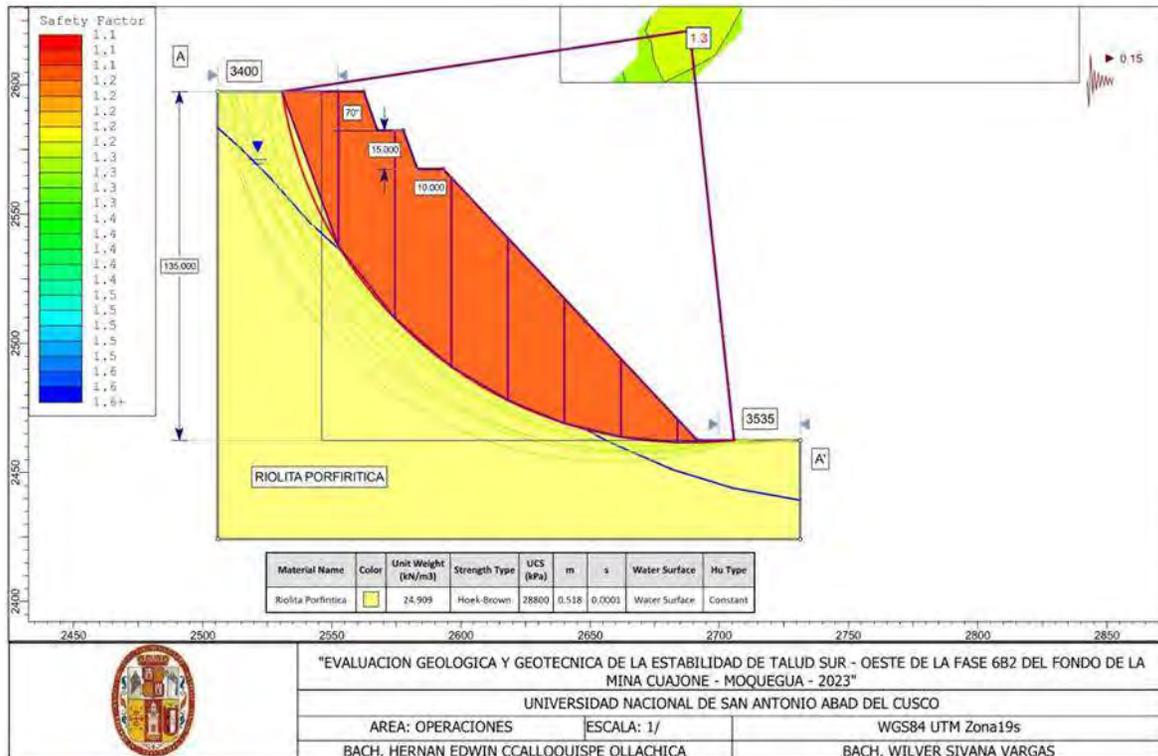


Figura 49: Vista de un reajuste del perfil D45 con un coeficiente sísmico horizontal de 0.15 cm/s².

Método de dovelas	Estático	Pseudo estático
Fellenius	1.6	1.3
Bishop simplificado	1.7	1.4
Jambu	1.5	1.3

Tabla 22: Resultado de un reajuste del perfil A-A' D45 alcanzando el Fs al plan propuesto.

Una vez estabilizado remover el material deslizado hasta lograr por completo, en coordinación con el personal de operaciones, geología y geotecnia para luego hacer el desquinche, y re perfilado del material con una cadena y una llanta para lo cual hacer cargado el material excedente del material desplazado, para lograr otro perfil reajustado al nuevo ángulo del talud será de 60° y cuyo perfil quedara de mayor longitud y tamaño de los bancos



y de igual manera para alcanzar F_s propuesto mayores a este plan propuesto , para garantizar el plan minado a futuro.



Foto 14: Vista de cómo se retira el material desplazado en el deslizamiento una vez estabilizado con equipos.

7.8.1.2. ANÁLISIS DE SECCIÓN “B-B” D47 ESTÁTICO Y SEUDO ESTÁTICO CON COEFICIENTE SÍSMICO DE 0.16 CM/S², CON SOFTWARE SLIDE V.6.

Resultado de análisis por el método de dovelas para el FS. Igual a 0.0, donde podemos ver en la figura 51 y a más detalle el F_s se puede visualizar en los 7 bancos afectados en la figura 52, para un talud estático y pseudo estático con un coeficiente sísmico de 0.16 cm/s² nos indica que es un talud es inestable, se realizó por los tres métodos de las dovelas aplicado para fallas circulares



como son Jambu, Fellenius y Bishop, para ello el cálculo se realizó en el Software Slide de Rocscience, donde este programa nos facilita el cálculo a la brevedad.

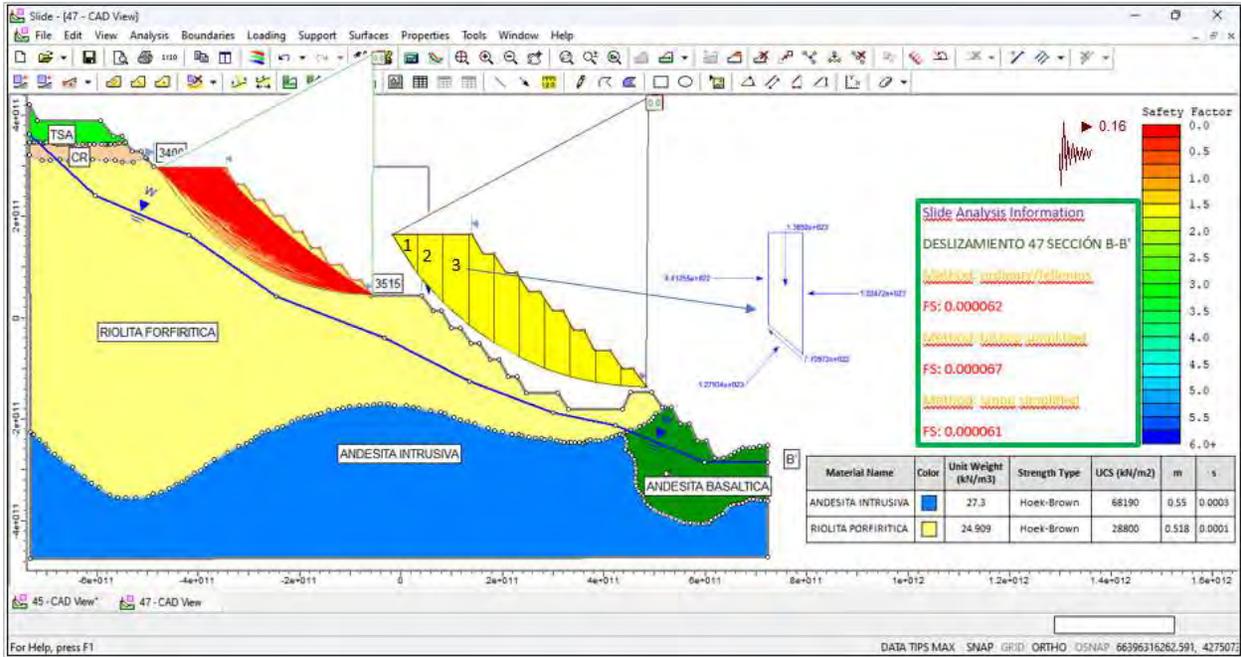


Figura 50: Resultado de Fs para El D47 con un coeficiente sísmico de 0.16

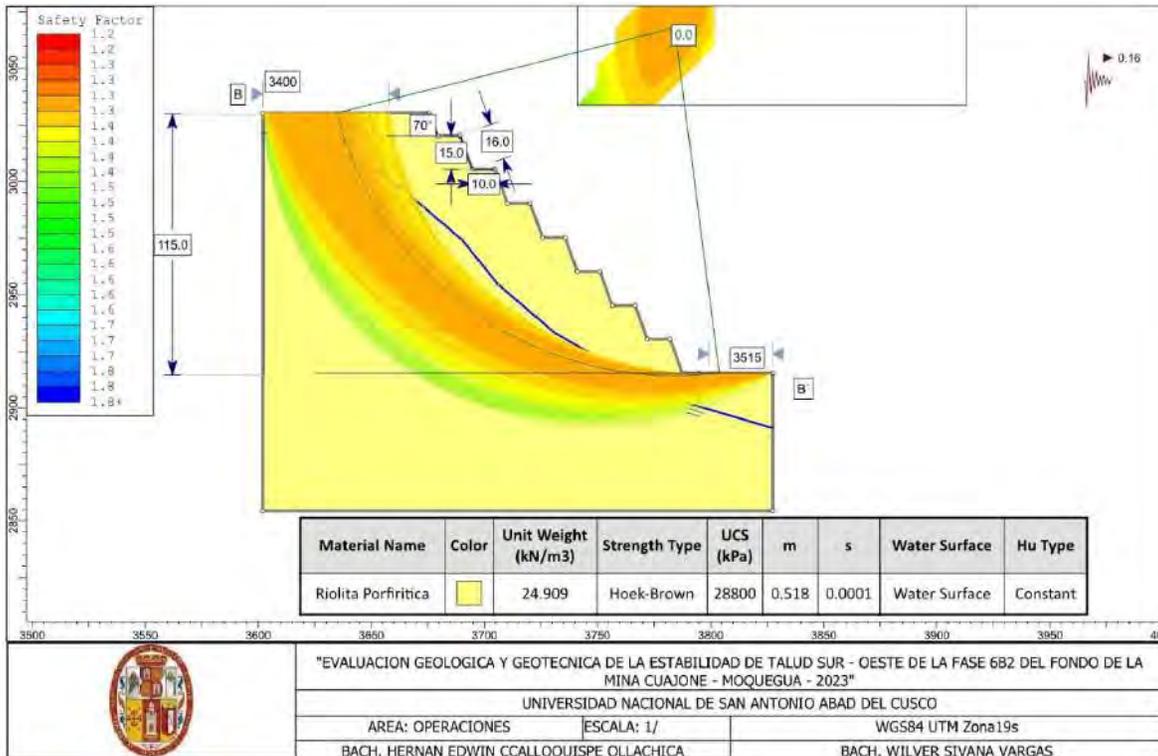


Figura 51: Análisis de Fs del D47 de los 7 bancos de una altura de 115m. donde se puede ver mejor a detalle.



<i>Método de dovelas</i>	<i>Estático</i>	<i>Pseudo estático</i>
<i>Fellenius</i>	0.0	0.0
<i>Bishop simplificado</i>	0.0	0.0
<i>Janbu</i>	0.0	0.0

Tabla 23: Análisis por método de dovelas sección B-B' D47.

Con este resultado de análisis el talud es inestable tanto en estático y como en pseudo estático del talud D47, nos indica hacer un reajuste del perfil y del ángulo que será de 60°, para una condición de un plan propuesto según ala norma ASTM D2845 donde Fs sea mayores o iguales a 1.5, para alcanzar estabilizar el material deslizante colocando o cercando el área con una berma de seguridad y monitoreando constante con equipos y personal encargado, hasta que se estabilice la zona del deslizamiento.

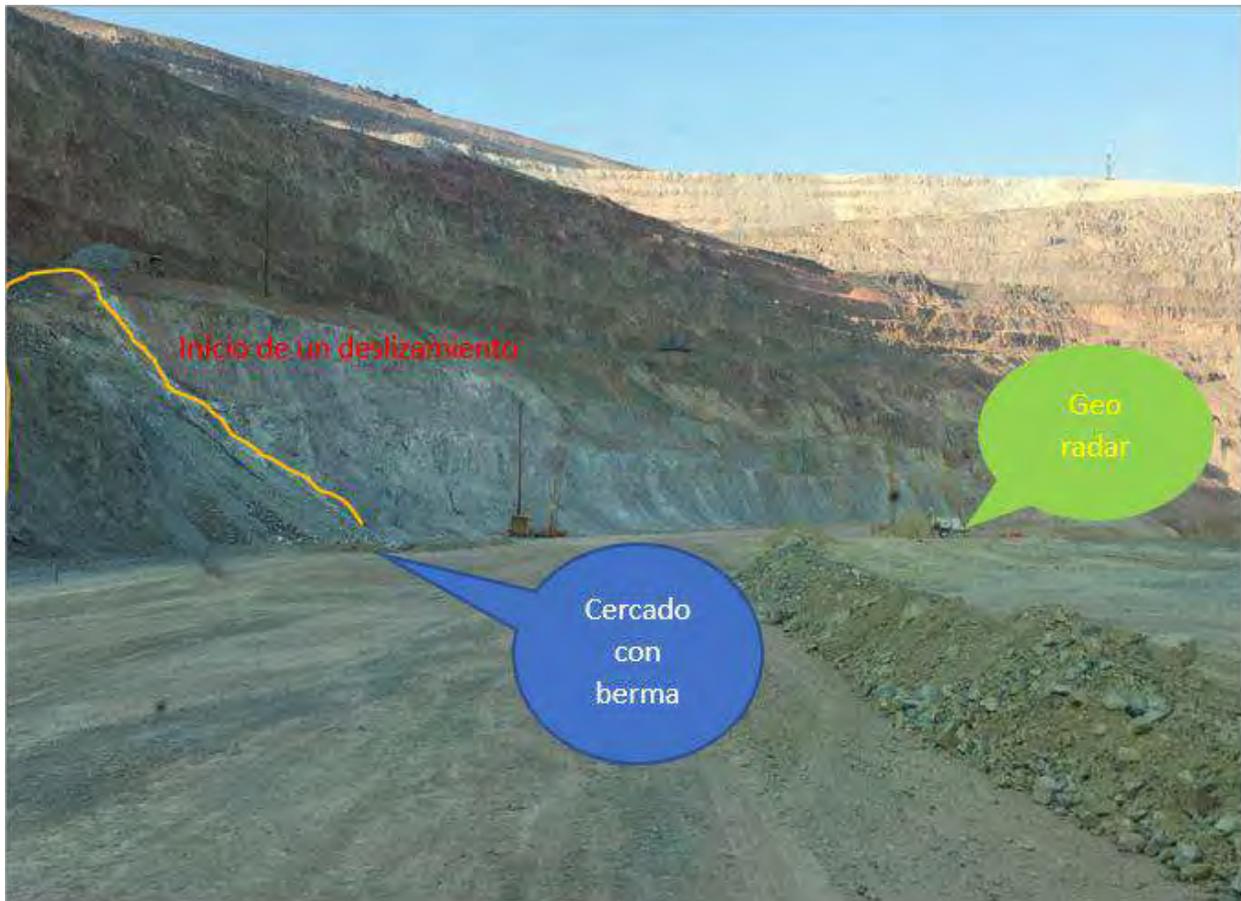


Foto 15: Vista de un inicio del deslizamiento prestando toda la seguridad para estabilizar la zona.

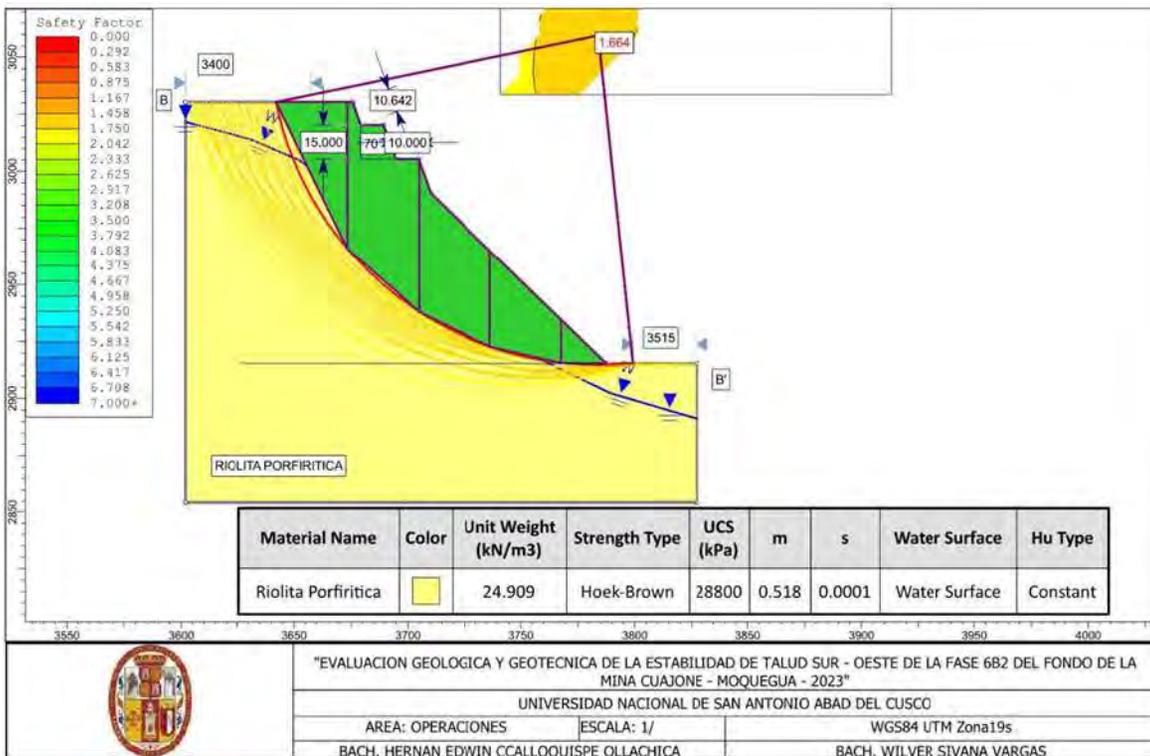


Figura 52: Perfil reajustado del D47 sin coeficiente sísmico alcanzando una altura de 115 m. por método de dovelas.

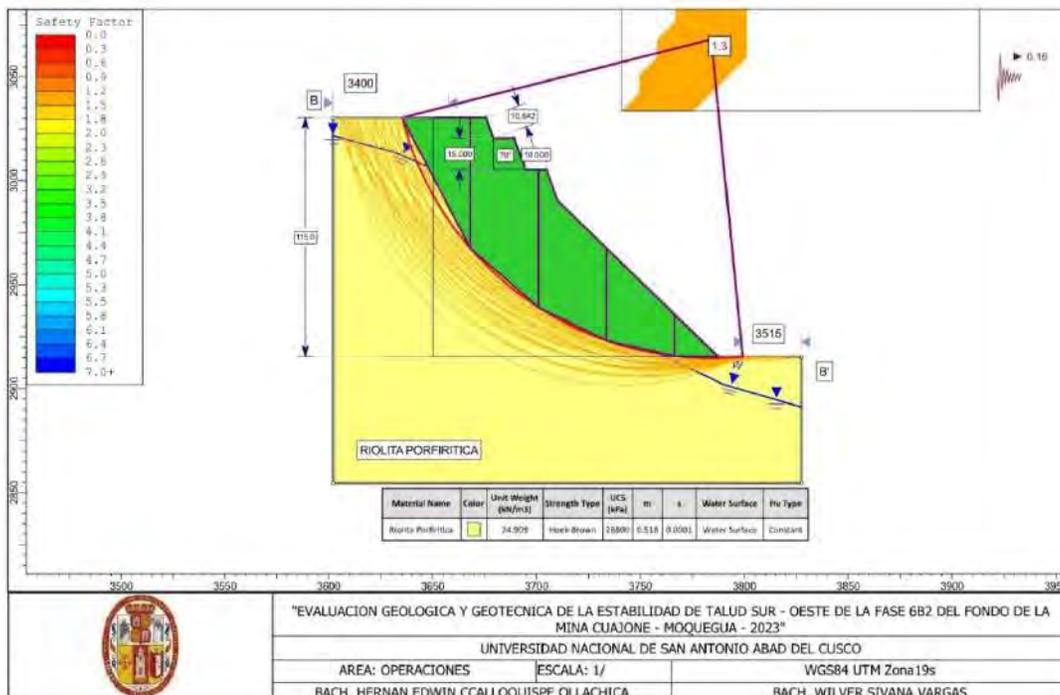


Figura 53: vista de un reajuste del perfil D47 con un coeficiente sísmico horizontal de 0.16 cm/s².



<i>Método de dovelas</i>	<i>Estático</i>	<i>Pseudo estático</i>
<i>Fellenius</i>	<i>1.7</i>	<i>1.3</i>
<i>Bishop simplificado</i>	<i>1.8</i>	<i>1.4</i>
<i>Jambu</i>	<i>1.5</i>	<i>1.3</i>

Tabla 24: Resultado de un reajuste del perfil “B-B ’” D47, alcanzando el Fs al plan propuesto.

Una vez estabilizado remover el material deslizado hasta lograr por completo, en coordinación con el personal de operaciones, geología y geotecnia para luego hacer el desquinche, y re perfilado del material para luego pasar con cadena y una llanta para retirar el material removido o rocas sueltas generando otro perfil ajustando al ángulo que será de 60° del talud, tamaño de los bancos que serán modificados para alcanzar Fs propuesto mayores a esta, para garantizar el plan minado a futuro.



Foto 16: Vista de cómo queda después de hacer limpieza del material deslizado

7.9. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.

La instrumentación geotécnica ha jugado un rol primordial para determinar el comportamiento del macizo rocoso antes, durante y después de la ocurrencia de los deslizamientos D45 y D47, así también el proceso de la estabilización de la zona.

Para realizar la estabilización de la zona se tuvo que evaluar el comportamiento del macizo rocoso al añadir el peso de las diferentes maquinarias como perforadoras, palas, camión minero, y otros, también el proceso de las voladuras.



La instrumentación disponible en la zona para el monitoreo de taludes es la tecnología radar modelo MSR-300-059 y MSR-300-103, ambos de marca REUTECH. Su operación es las 24 horas del día, su modo de auscultación de datos es mediante el lanzamiento de ondas electromagnéticas hacia las paredes de los taludes del tajo que tienen un alcance de 2.5 km. Este tipo de sistema no requiere de estaciones reflectoras (prismas) en los bancos para su medición, en general el sistema utiliza las superficies de roca expuesta para cuantificar el desplazamiento y poderlo convertir en movimiento. Ambos radares registran al 100% el monitoreo del tajo, su disponibilidad y utilización es superior al 95%. Su operación es Normal en las condiciones climáticas adversas como presencia de lluvias fuertes, vientos y neblina. Adicionalmente, se dispone de una cámara CCTV que a la vez se puede visualizar toda la mina teniendo en cuenta los taludes inestables, con energía autónoma, se encuentra enlazado al radar 103 y 059 para la ubicación remota de movimientos de acuerdo con los niveles de alerta de los taludes en movimiento.

Así mismo la zona cuenta con extensómetros de cable y cinta para la validación de información y control continuo de desplazamientos de la coronación.



Figura 54: Radar MSR-300 marca Reutech.

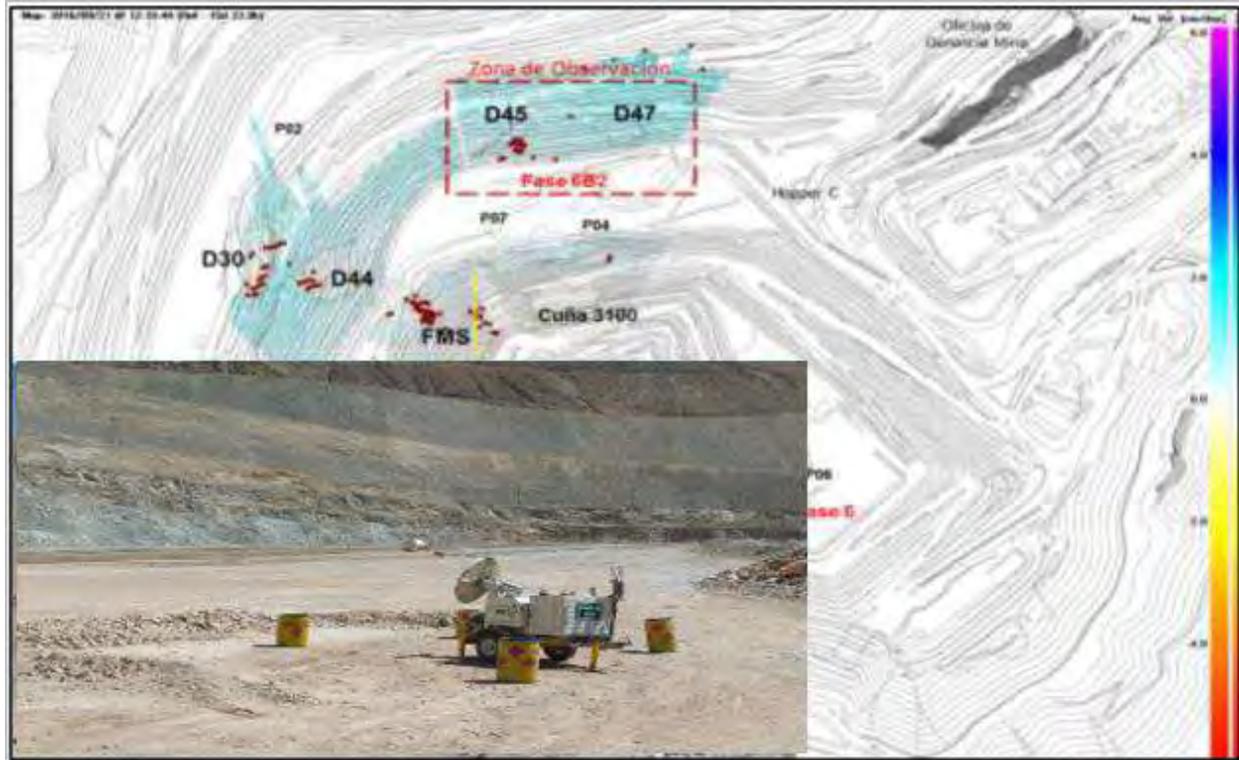


Figura 55: Vista del sistema de monitoreo, al fondo se encuentra la zona de estudio.

7.10. PLANEAMIENTO.

Cuando la zona inestable D45 y D47, culminó con sus movimientos regresivos y mostró una tendencia lineal con movimientos cercanos a 0 cm/día que fue reportado por el equipo radar MSR 300-059 y MRS -300-103 ambos de marca REUTECH, se procedió a ejecutar el plan de estabilización lo cual contempla una remoción de 119500 m³ de roca riolita porfirítica aproximadamente.

Para el planeamiento de la zona se procedió con la ejecución del diseño de rampas, talud propuesto alcanzando el Fs propuesto, realizando voladuras controladas, disminuyendo el paso de equipos y removiendo el material de la zona con tractor empujando desde la parte



de la cresta con dirección hacia la parte baja y acumulando el material para poder recoger posteriormente con la pala desde la parte baja.

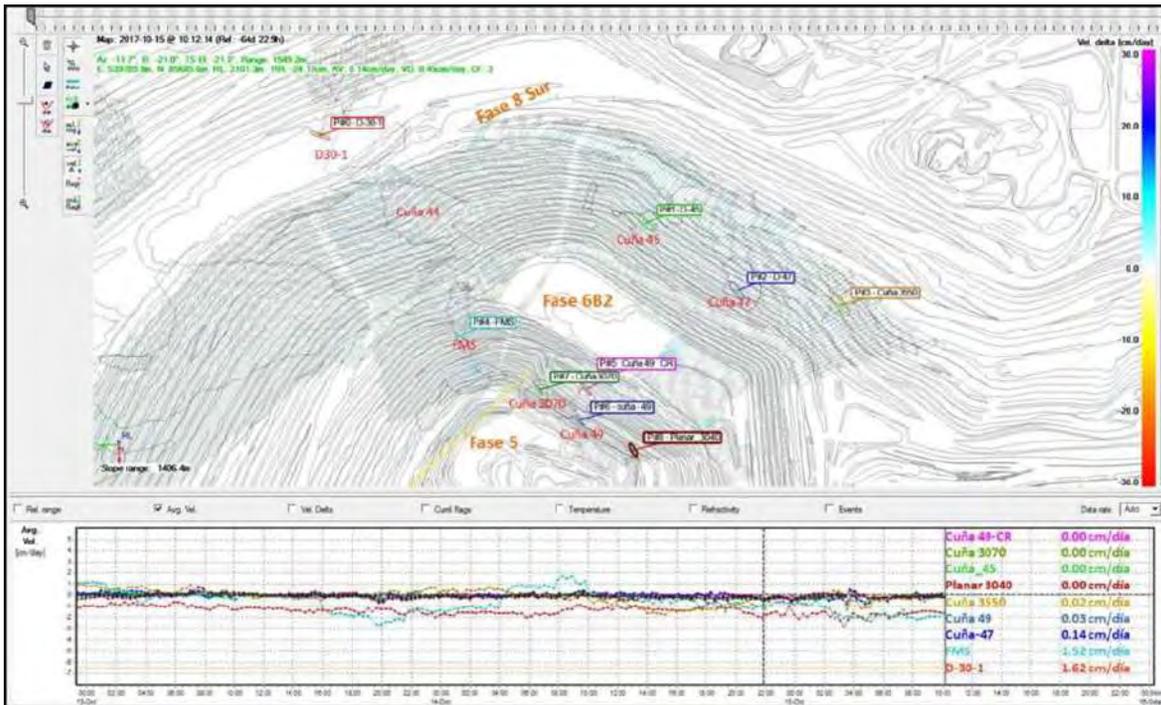


Figura 56: Software de radar reutech del radar 103 monitoreando el talud Sur-Oeste del tajo Cuajone. en la imagen se puede apreciar la culminación de los movimientos de la cuña 45 y 47 post estabilización. imagen tomada del archivo de reportes diarios Cuajone.

7.11. PLAN DE CONTINGENCIA.

La zona del deslizamiento se encuentra en constante monitoreo tanto como visual y por equipos (radar), siempre que requiera de un plan de contingencia que permite cumplir los planes de minado o que tengan la mínima variación al plan inicial, para este caso se ha definido ampliar las vías de acceso en las rampas principales desde los niveles 3515 hasta 3400en dirección al Sur-Oeste, este plan permite asegurar la zona, colocando muros de seguridad o bermas para bloquear los posibles causas de roca por voladura o movimiento por el paso de



las maquinarias y equipos pesados junto a ello incrementar las rampas de ingreso a la zona del deslizamiento.

7.12. FACTOR DE PERTURBACIÓN “D”.

Para la estabilidad del talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la Fase 6b2 del tajo Cuajone se han tomado características peculiares de acuerdo a la experiencia, conocimiento de la zona y las características de la misma.

El factor de perturbación “D” considerado como un valor asociado de perturbación del talud por daño por voladura, el cual tiene una seria implicancia al hacer cálculos en el análisis de estabilidad de taludes ha sido netamente deducido por el autor; es decir, el valor de D y el perímetro de afección de castigo de este parámetro ha sido deducido por lo observado en campo.

La técnica de control de daño por voladura es una herramienta relativamente nueva en nuestro país aplicado a la minería, esta es una técnica que se ha aplicado mayormente para el cuidado de edificaciones cuando se hacen voladuras cercanas a zonas urbanas o que tengan edificaciones cercanas. Actualmente en la minería se utilizan voladuras de Pre-Corte generando una separación entre la zona que puede ser afectada por voladura y la que no debería ser afectada por la misma, esta última es la cara del talud final. También, se utilizan otros tipos de método de control como lo son: los taladros de Buffer o de amortiguación que contemplan columnas de explosivo de menor altura que las de producción y que tienen un espaciamiento también menor finalmente, se utiliza un mejor control de la salida, dirección y



tiempo entre los taladros mediante uso de detonadores electrónicos; haciendo así, una mejora importante del control de vibraciones los cuales están directamente relacionados al daño por malas prácticas de voladuras. Estos detonadores electrónicos nos permiten inclusive partir un proyecto de voladura en varios pedazos, permitiendo crear descansos para no superar los niveles máximos permitidos de vibración.

Estas técnicas son, como se mencionó, relativamente recientes y han ayudado mucho en el aseguramiento de la estabilidad de un talud pudiendo así, incluso, rediseñar configuraciones de ángulos interrumpa incluso más agresivos. Pero al ser relativamente nuevas técnicas, la mayoría de las actuales caras de banco de los taludes reflejan el daño por las malas prácticas anteriores. Es así como, por medio de comparación de los taludes observables con las nuevas prácticas realizando una caracterización del macizo rocoso y comparándolo con los anteriores que sí recibieron el daño directamente, se puede realizar una inferencia de la perturbación D aproximada del talud. Claro que el método anterior vendría a ser un método indirecto, una posible solución sería realizar una perforación y hacer una comparación con sondajes anteriores que se tenga en la zona y observar directamente el daño inducido por voladura.

Este valor D juega un papel muy importante en el análisis de estabilidad de los taludes y se refleja en el FS. por lo que debe ser un valor tomado con suma delicadeza y merece tanta atención como la caracterización del macizo rocoso y el mapeo estructural.

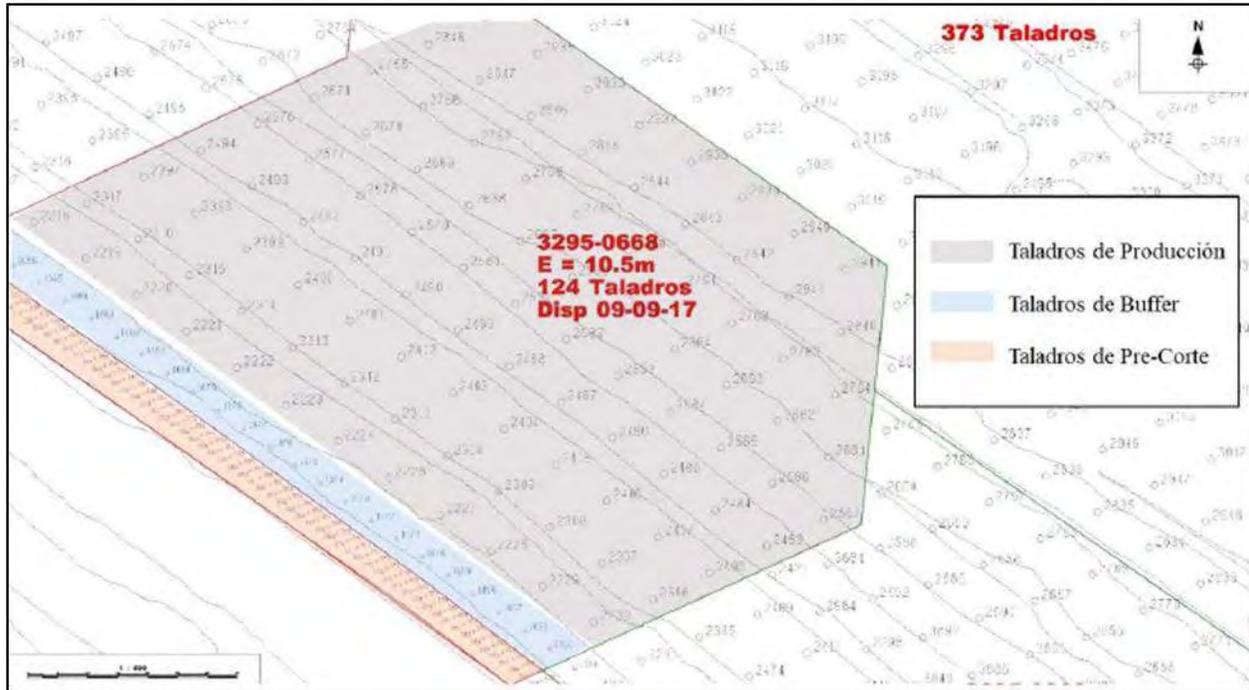


Figura 57: Diseño de taladros para un mejor control de voladura.



Foto 17: Diseño de taladros en el proyecto.



Foto 18: Vista de los taladros Pre-Corte después de un perfilado con equipos.

7.13. IMPORTANCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.

Se determina mediante radares que ha permitido hoy en día alertar a tiempo el proceso de deformación y dislocamiento de la masa rocosa, los radares que registran son al 100% del monitoreo del tajo, los registros de la instrumentación geotécnica son normal en las condiciones climáticas adversas como presencia de tormentas eléctricas, lluvias fuertes, neblinas y vientos.



Adicionalmente se dispone de una cámara CCTV (tiene una mejor calidad de imagen), con energía autónoma, que los radares se encuentran analizando para la ubicación remota de movimiento de acuerdo a los niveles de alerta de los taludes en movimiento.

Dando continuidad al monitoreo de la zona inestable D45 y D47, se tiene las siguientes bitácoras:

<i>Sector monitoreado</i>	<i>D45</i>			<i>D47</i>		
	<i>9:15 AM</i>	<i>11:30 AM</i>	<i>15:00 AM</i>	<i>9:15 AM</i>	<i>11:30 AM</i>	<i>15:00 AM</i>
<i>corona</i>	42.0 <i>cm/día</i>	52.74 <i>cm/día</i>	52.13 <i>cm/día</i>	48.37 <i>cm/día</i>	48.31 <i>cm/día</i>	50.25 <i>cm/día</i>
<i>cuerpo</i>	14.78 <i>cm/día</i>	16.74 <i>cm/día</i>	16.22 <i>cm/día</i>	16.19 <i>cm/día</i>	16.09 <i>cm/día</i>	16.14 <i>cm/día</i>
<i>Base Sur</i>	15.19 <i>cm/día</i>	18.49 <i>cm/día</i>	19.52 <i>cm/día</i>	21.39 <i>cm/día</i>	21.52 <i>cm/día</i>	22.12 <i>cm/día</i>
<i>Base Oeste</i>	27.07 <i>cm/día</i>	21.20 <i>cm/día</i>	22.26 <i>cm/día</i>	22.73 <i>cm/día</i>	22.44 <i>cm/día</i>	22.86 <i>cm/día</i>

Tabla 25: Registro del monitoreo de la zona inestable D45 Y D47.

De las cuales, el movimiento hacia a la corona es regresivo y hacia la base es progresivo.

Las inspecciones en campo muestran que en la plataforma geotecnia y en la fase 6b2 donde se localiza la pala 04 existen grietas por compresión a lo largo de Riolita Porfirítica. Hacia la cresta de la rampa corta se observa desarrollo de grietas. Hasta el momento las aperturas de las grietas se mantienen constantes.

Se coordinó con operaciones el retiro de equipos debido al incremento de movimiento de la zona inestable en la base Sur-Oeste de la fase 6b2, cerrar con muro de seguridad o berma el acceso y se seguirá monitoreando con el radar las zonas inestables.



CONCLUSIONES.

En la investigación realizada al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la Mina Cuajone-Moquegua se llegó a la conclusión general de que la evaluación geológica y geotécnica incide en la estabilidad de talud en una correlación negativa entre media y considerable, es decir se implementó las características geotécnicas presentes en el talud Sur-Oeste están condicionadas a las características geológicas, estructurales de los macizos rocosos.

1. la caracterización que se realizó a los problemas del deslizamiento que se presentan en el talud, **antes** de definir las condiciones geológica y geotécnica, nos mostró que había condiciones desfavorables afectando al plan minado como es movimiento cinemático provocando deslizamientos, formación de grietas en la parte superior a medida que el deslizamiento avanza, la alteraciones tipo propilitica de la roca riolita porfirítica, caída de rocas, material deslizando constantemente, al ir aperturando bancos hacia los niveles inferiores, los bancos superiores generan sobrecarga provocando el deslizamiento y la vibración que provocan las voladuras para aperturar nuevos bancos provocando caída de materiales, las aguas superficiales en temporadas de lluvia que discurren por los drenajes con dirección a los sumideros para no afectar al talud, estos factores mencionados líneas arriba, nos Servio para realizar la caracterización de la zonas inestables del deslizamiento D45 y D47.
2. Al evaluar las condiciones geológicas, nos mostró como resultados obtenidos **en su primera etapa**. Según los resultados de la caracterización de la condición geológica al hacer detalladamente se consideró la litología la presencia de una roca riolita porfirítica lo



cual presenta una fracturación intensa por presentar, falla mayor sur, falla cuajone, falla biña blanca, falla botiflaca, que están dentro del radio de la mina, también presenta la alteración hidrotermales de tipo propilitica incrementando la acumulación de materiales de pirita y chalcopirita que favorecen al fracturamiento de estas rocas, la vibración que generan las voladuras que se realizan a diario con una carga sísmica (pseudo estático) de 0.15 cm/s² en D45 y 0.16cm/s² en D47.

3. Al evaluar las condiciones geotécnicas, nos mostró como resultado el factor de seguridad **0 en su segunda etapa** de acuerdo a los análisis geotécnicos al caracterizar detalladamente usando los parámetros geomecánicas como son la resistencia de la roca intacta con los datos obtenidos del laboratorio, resistencia a la compresión uniaxial de 31.1 Mpa, ensayo de índice de carga puntual de 3.6 Mpa, el análisis de factor de perturbación(D) las condiciones de discontinuidades como es el espaciado, relleno, abertura, rugosidad, usando la clasificación como son: RQD de 80% macizo rocoso de buena calidad según la tabla de clasificación es de color verde lo cual nos indica que el grado de fracturamiento es bueno, RMR de 82% de calidad buena según la clasificación de la tabla es de color verde nos indica roca de buena calidad y GSI de 39% de un macizo rocoso de mala calidad, según el cuadro es de color rojo nos indica fracturamiento intensa, con estos resultados se interpretó que la estabilidad de talud en D45 y D47 son inestables con un factor de seguridad 0 en las dos condiciones.
4. Al determinar las características del talud D45 y D47, **después** de haber implementado la evaluación geológica y geotécnica tubo resultados desfavorables con un factor de seguridad



de 0, con una clasificación de un macizo rocoso $RQD=82\%$, $RMR=76$ y un $GSI=39$ con estos datos realizar un reajuste del perfil y del ángulo final será de 60° para alcanzar el factor de seguridad propuesto semanal y mensual, como también llegando al objetivo propuesto de Southern Perú Cuajone, donde el talud es estable con un análisis de los resultados para un factor de seguridad (Fs) del plan propuesto, factor de seguridad (estático) es de $1.5 - 1.7$ y el factor de seguridad considerando (pseudo estático) es de $1.3 - 1.4$, para los deslizamientos de las zonas inestables D45 y D47, alcanzando estabilizar usando criterios de limpieza de la zona inestable, cercando con bermas de seguridad aplicando estos métodos de análisis de Bishop simplificado, Fellenius y Jambu, nos favorece para el análisis de factor de seguridad, como también la implementación de equipos georadares las 24horas que nos dio resultado optimas con los movimientos.



RECOMENDACIONES.

Al corroborarse que la evaluación geológica y geotécnica influye en la prevención de la estabilidad de talud al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua se da como primera recomendación se dé un análisis profundo en cuanto a la evaluación geológica y geotécnica de los macizos rocosos en los D45 y D47.

1. Se recomienda la evaluación geológica y geotécnica se dé específicamente en la estabilidad de talud del D45 y D47, porque la evaluación realizada dependerá de factor de seguridad obtenido en cada evaluación.
2. También sería recomendable dentro del entorno de la estabilidad de talud el uso de detonadores eléctricos para mejorar la secuencia de salida de los proyectos de voladuras en el área de producción, buffer y Pre-Cortes, para no afectar a otros deslizamientos cercanos.
3. Respecto a lo anterior del diseño de la distancia óptima de taladros para el Pre-Cortes con ángulo entre de 70 grados con una distancia de taladros a taladro de 1m a 50 cm para el buffer de igual manera la distancia de taladro a taladro de 1m y para taladros de producción realizar una carga controlado para la voladura, para hacer un control de corte en los taludes de la zona sin afectar la pared de la separación.
4. Con lo que respecta con el manejo de estabilidad de talud minero, es imprescindible que se realice una evaluación geológica y geotécnica en cada nivel y por fases que se va



descendiendo para que poco a poco se empiecen a gestar nuevos manejos de instrumentos, rediseños de talud, hacer una evaluación geológica y geotécnica las que sean necesarios.

5. Por último, para que el deslizamiento D45 y D47 no afecten al plan minado cerrar con berma de seguridad hasta que el movimiento del deslizamiento sea mínimo y estable para continuar monitoreando con georadar las 24 horas del día, para luego retirar el material deslizado después realizar el barrido con cadena para volver evaluar y retirar los materiales sueltos para volver a hacer evaluación geológica y geotécnica sobre la estabilidad D45 y D47 para poder continuar con plan minado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

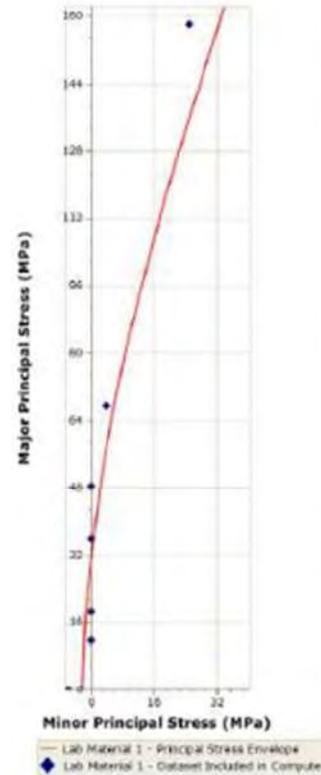
1. Bellido Bravo Eleodoro, 1979. Geología del Cuadrángulo de Moquegua. Boletín N°15. Serie A: Carta Geológica Regional. Hoja 35-U.
2. Bellido E. & De Montreuil, L. 1972. Aspectos generales de la metalogénea del Perú. Servicio de Geología Minera (Perú). Geología Económica, No. 1, 149 pp.
3. Bieniawski, Z. T., 1974. Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling. En: Proceedings of 3rd ISRM International Congress on Rock Mechanics, Vol. 2A. Denver: National Academy of Science, pp. 27-32.
4. Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering.
5. Bishop A.W. (1955). “The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes”. Geotechnique. Vol 5.
6. Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D. & Cording, E. J., 1967. Design of surface and near surface construction in rock. In: C. Fairhurst, ed. Failure and Breakage of Rock. New York: Society of Mining Engineers of AIME, pp. 236-340.
7. Fellenius W, 1922. “Statens Jarnjvagens Geotekniska Commission, Stockholm, Sweden”.
8. GEOLOGIC RESOURCES & RESERVES OF THE FRANKENSTEIN – SAN GUILLERMO DEPOSITS ANTOFAGASTA REGION – CHILE, 2005, Informe interno SCM Centenario Copper Chile.
9. HOEK EVERT, 2006, Practical Rock Engineering, Capítulo 3: “Rock mass classification”, edición electrónica.
10. Mendivil, S y Castillo, W. 1961. Geología del Cuadrángulo de Ocoña. Com. Carta Geológica Nacional, V.I. N°3 – Lima.
11. Rocscience, Inc., 2005a. SLIDE V.6.0, limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes.
12. SRK Consulting, 2013d. Visita a terreno marzo 2013 (hidrogeología) y análisis de pruebas hidráulicas (23 de mayo de 2019), Mina Cuajone: Memorando preparado para Southern Perú Copper Corporation.
13. SRK Consulting, 2013e. Apoyo para el levantamiento de datos estructurales geométricos conducentes al modelo de fallas mayores (5 de noviembre de 2013), Mina Cuajone: Memorando preparado para Southern Perú Copper Corporation
- SRK Consulting, 2014. Estudio geotécnico Cuajone plan 15 años. Avances del proyecto (9 de septiembre de 2014), Mina Cuajone: Presentación preparada para Southern Perú Copper Corporation.
14. Stevenson F. (1972). Geology and Mineralization, Cuajone Porphyry Copper Deposit, Moquegua, Perú. (Internal Report).
15. Stevenson, F. 1972. “Exploración de Yacimientos de Cobre Diseminado”. XII Convención de Minas 1972.
16. Suarez J, “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales” pp. 127-139.



ANEXOS

RIOLITA PORFIRITICA			ESPERADO	σ	MIN	BAJO	ALTO	MAX	UNIDAD
DATOS	m_i	14.8	14.80	2.5	9.8	12.3	17.3	19.8	-----
	σ_{ci}	31.1	31.14	29	-26.5	2	60	88.7	Mpa
	GSI	39.0	39.00	14	10.9	25	53	67.1	-----
	D	0.80	0.70		1.0	0.90	0.80	0.7	-----
	γ	0.0254	0.0254	0.0002	0.0248	0.0252	0.0256	0.0260	MN/m3
	E_i	45.8							Gpa
	H	200	Profundidad del talud o altura del talud						m
	Caso	1	1 = Excavación subterráneas 2 = Taludes						

RESULTADOS	m_b	=	0.392	-----
	s	=	0.0001	-----
	a	=	0.512	-----
	σ_{TM}	=	-0.0087	Mpa
	σ_{CM}	=	0.336	Mpa
	σ_{CMG}	=	2.820	Mpa
	σ_{CMAX}	=	3.469	Mpa
	σ_{3M}	=	0.1114	Mpa
	c	=	0.513	Mpa
	Φ	=	25.04	Grados
	$E_{H-D2005}$	=	2.52	Gpa
	V	=	0.27	-----
	B	=	1.83	Gpa
	G	=	0.99	Gpa



Unidad	Propiedades Indice		Ensayos Mecanicos		Propiedades Mecanicos		Prop. Mec. Dinamicos		Roca Intacta		Módulos Dinamicos	
	γ (Tn/m3)	n (%)	TI (Mpa)	UCS (Mpa)	E (Gpa)	ν	Ed (Gpa)	Vd	m_i	σ_{ci} (Mpa)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
Riolita Porfiritica	2.54	3.2	5.74	28.8	45.8	0.14	60.5	0.24	14.8	31.1	5177.9	3028.5

Llenado del formato según RMR.

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO RMR y GSI										ESTACION		
										D45 Y D47		# Fract/ml
Nombre del Proyecto:		DESPLAZAMIENTO D45 Y D47			Litología		RIOLITA PORFIRITICA			3	96	
Nivel:		3400 - 3535, 3400 - 3515			Altura litostatica (h)		200 m			4	94	
Labor:		ESTABILIDAD DE TALUD			UCS (Mpa)		28.8			5	91	
Ejecutado por:		HERNAN CCALLOQUISPE								6	88	
Fecha:		--/12/202								7	84	
										8	81	
SISTEMA RMR										9	77	
PARÁMETROS				VALOR	RANGO					VALOR	10	74
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				31.1	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	4	11	70
RQD (%)				80T - 82Jv	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	17	12	66
Espaciamento de discontinuidades (cm)				10.07	>2m (20)	0,6-2 m (15)	0.2-0.6m (10)	0,06-0.2m (8)	<0.06m (5)	20	13	63
CONDICION DE DISCONTINUIDADES										14	59	
Familia	Jv	Buz.	f/m	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	2	15	56
J1	1/0.20	81		Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	1	16	53
J2	1/0.35	80		Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3	17	49
J3	1/0.45	86		Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4	18	46
TOTAL	10.07			Alteración	Sana (6)	Lig. Interpe. (5)	Mod. Interpe. (3)	Muy Interpe. (2)	Descompuesta (0)	5	19	43
Agua subterránea					Seco (15)	x Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	10	20	41
Orientación									0		21	38
											22	35
											23	33
											24	31
					RMR ₈₉ USANDO EL SOFTWARE GEOTABLE				76		25	29
					RMR ₈₉ USANSO LA ECUACION DE RMR SEGUN BIENIAWSKI				69		26	27
Condiciones secas					RMR ₈₉ PROMEDIO				72.5		27	25
GSI (INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA)				RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II- B	28	23
				DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		29	21
										30	20	



“EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR-OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE-MOQUEGUA-2020”



MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR-OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE-MOQUEGUA

BACHILLER: HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA

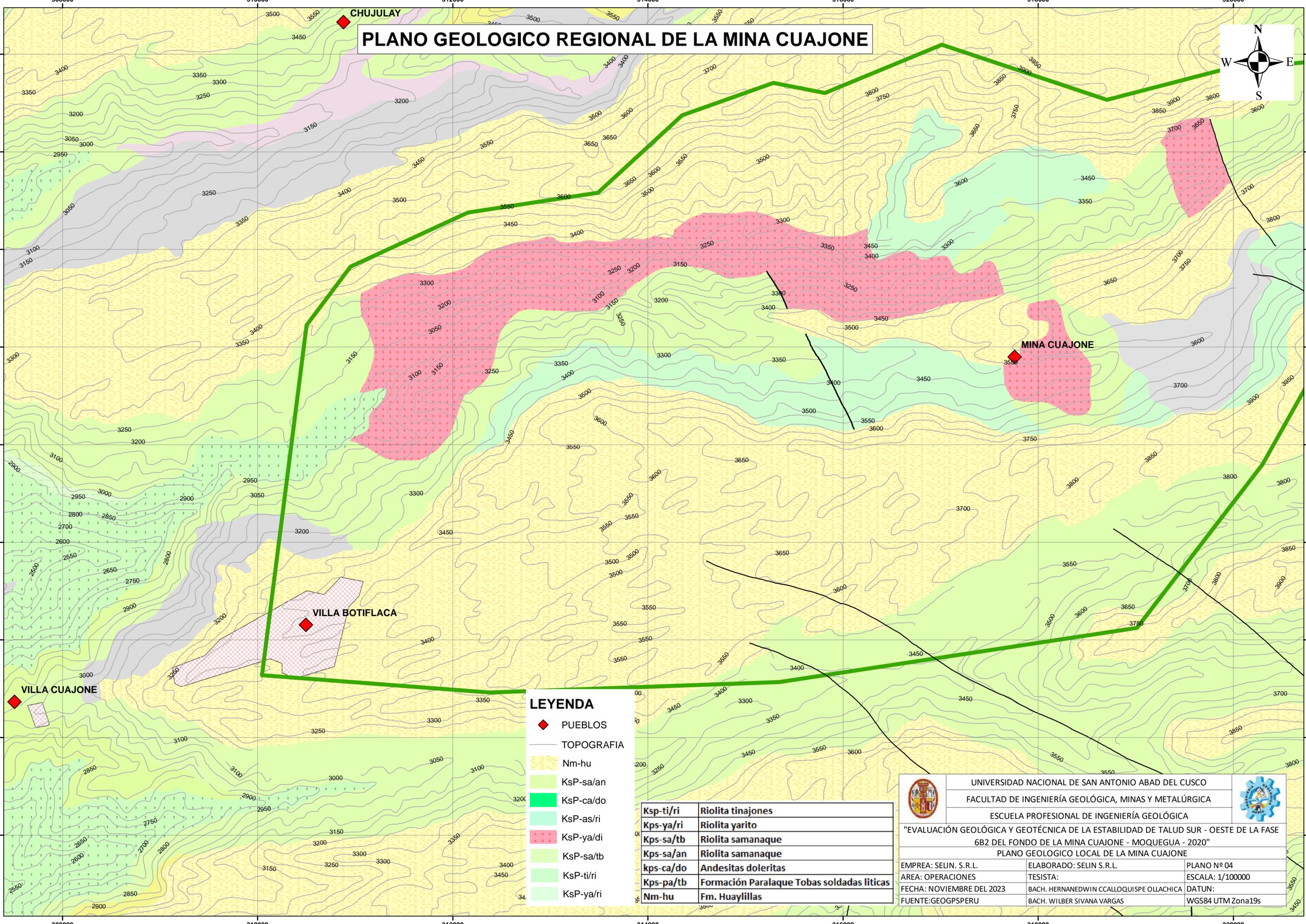
BACHILLER: WILBER SIVANA VARGAS

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE
¿Cuáles son las condiciones geológica y geotécnica para la estabilización del talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua?	Evaluar las características geológicas y geotécnicas para estabilizar el talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua.	Las características geológicas y geotécnicas mejoro la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua.	Condiciones geológica y geotécnica. - Primera etapa Geológica - Segunda etapa Geotécnica
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE
1) ¿Cómo es la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, ANTES de haber implementado las condiciones geológica y geotécnica?	1) Describir la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, ANTES de haber implementado las condiciones geológicas y geotécnicas.	1) Las características geológicas y geotécnicas de la estabilidad del talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua.	Estabilidad de talud.
2) ¿Cuál son las condiciones geológicas mejorará la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua en su primera etapa ?	2) Evaluar las condiciones geológicas para estabilizar el talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua en su primera etapa .	2) Las condiciones geológicas mejoro la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, en su primera etapa .	
3) ¿Cuáles son las condiciones geotécnicas mejorará la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua en su segunda etapa ?	3) Evaluar las condiciones geotécnicas para estabilizar el talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua en su segunda etapa .	3) Las condiciones geotécnicas mejoro la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, en su segunda etapa .	
4) ¿Cómo es la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, DESPUÉS de haber implementado las condiciones geológicas y geotécnicas?	4) Determinar las características de la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, DESPUES de haber implementado las condiciones geológicas y geotécnicas.	4) Los parámetros y características geotécnicas y geológicas de la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua.	

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES PARA UN DISEÑO EXPERIMENTAL.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Evaluación geológica y geotécnica	Ramírez Oyanguren, Pedro Alejano Monge, Leandro R. (2004) define a la evaluación geológica y geotecnia como: Mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento de mecánico de las rocas y de los macizos rocosos. Sería pues la rama de la ingeniería dedicada al estudio de la respuesta de las rocas y macizos rocosos al campo de fuerzas que actúan en su entorno	La condiciones geológica y geotécnica será como una caracterización para los deslizamientos D45 y D47	Describir la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, ANTES de haber implementado las condiciones geológicas y geotécnicas.	-Mapeo de información In-situ -Levantamiento topográfico -Levantamiento de la zona inestable -levantamiento geológico
			<p>Evaluar las condiciones geológicas para estabilizar el talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua en su primera etapa.</p> <p>Evaluar las condiciones geotécnicas para estabilizar el talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua en su segunda etapa.</p>	<p>-Aguas superficiales -Coeficiente sísmico -Resistencia de la roca intacta -Espaciamiento de discontinuidades -Separación (apertura) -Relleno -Apertura -Intemperización -Rugosidad -Longitud de discontinuidades -Buzamiento -Fisuras grietas y fracturas -Juntas -Fallas -Diaclasas -Espaciado -Persistencia</p>
Estabilidad de talud	David Córdova R. y Alfredo Laos V. (1975) define a la Estabilidad de talud como: Los estudios de estabilidades de taludes se llevan a cabo con la finalidad de diseñar la geometría óptima que debe presentar una mina a cielo abierto. logrando un doble objetivo:	La estabilidad de talud D45 y D47 será estabilizado mediante la caracterización de las condiciones geológicas y geotécnicas	Determinar las características de la estabilidad de talud D45 y D47 al Sur-Oeste de la fase 6b2 del fondo de la mina Cuajone-Moquegua, DESPUES de haber implementado las condiciones geológicas y geotécnicas.	<p>-Determinación de RQD -Clasificación de RMR -Determinación de GSI -Factor de seguridad (Fs) -Monitoreo con Georadar -Factor de perturbación (D) -Cinemática de rotura -Ensayo uniaxial o de compresión simple -Altura del nivel freático (NF) -Pendiente</p>

PLANO GEOLOGICO REGIONAL DE LA MINA CUAJONE



CHUJULAY

MINA CUAJONE

VILLA BOTIFLACA

VILLA CUAJONE

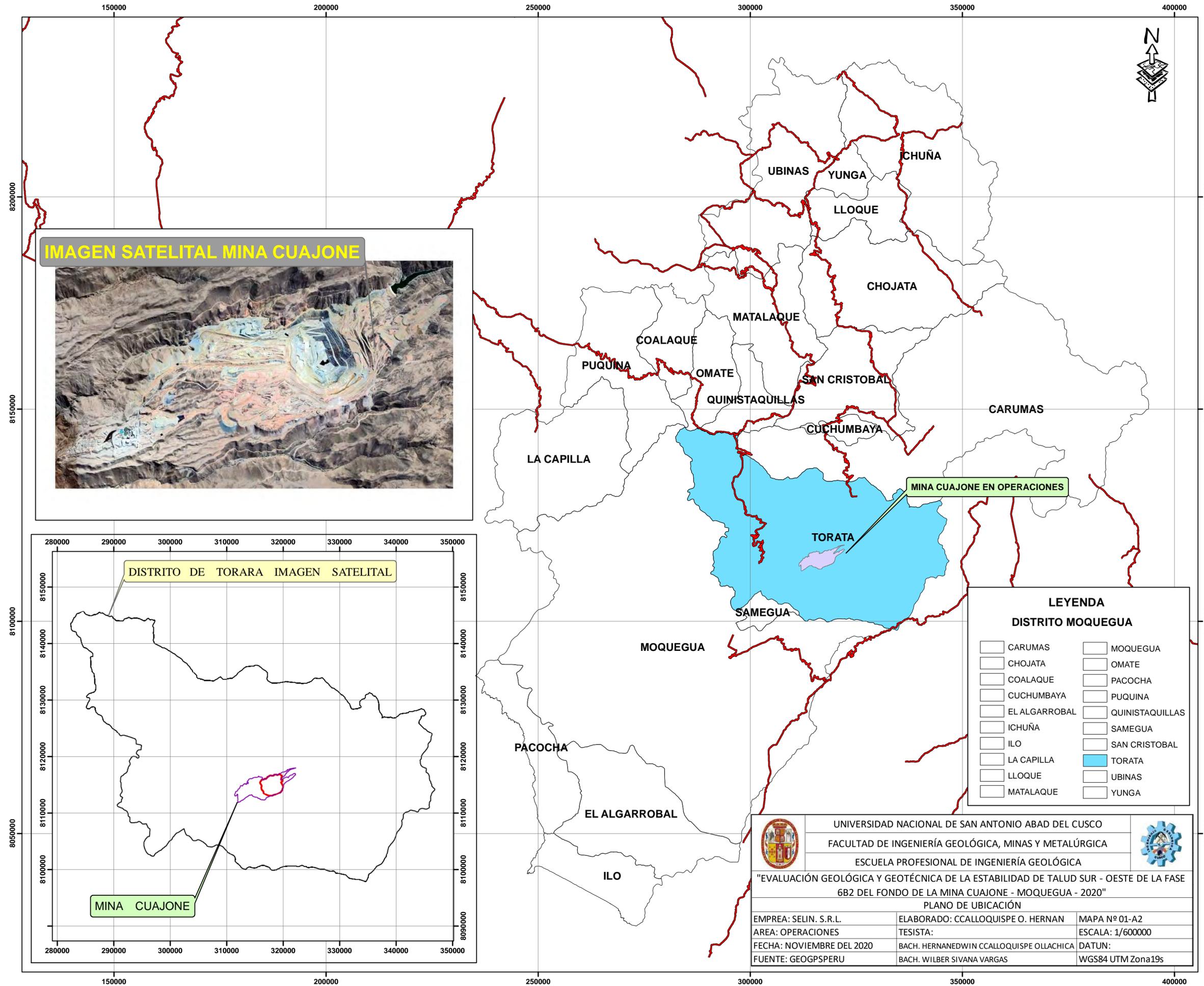
LEYENDA

- ◆ PUEBLOS
- TOPOGRAFIA
- Nm-hu
- KsP-sa/an
- KsP-ca/do
- KsP-as/ri
- KsP-ya/di
- KsP-sa/tb
- KsP-ti/ri
- KsP-ya/ri

Ksp-ti/ri	Riolita tinajones
Kps-ya/ri	Riolita yarito
Kps-sa/tb	Riolita samanaque
Kps-sa/an	Riolita samanaque
kps-ca/do	Andesitas doleritas
Kps-pa/tb	Formación Paralaque Tobas soldadas líticas
Nm-hu	Fm. Huaylillas

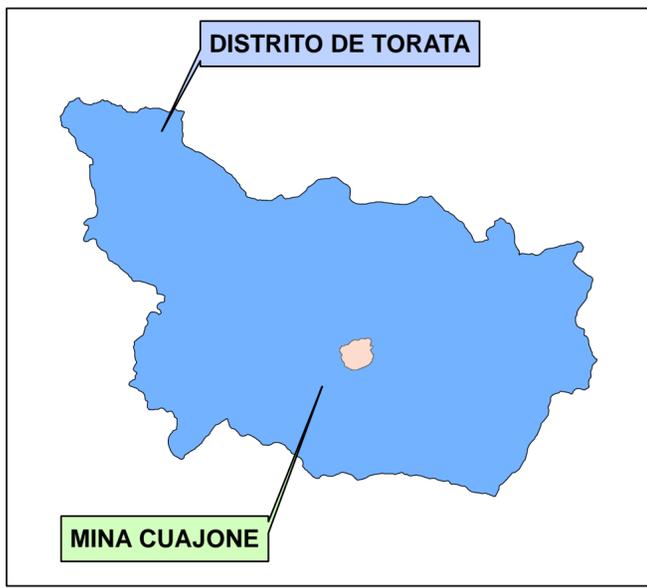
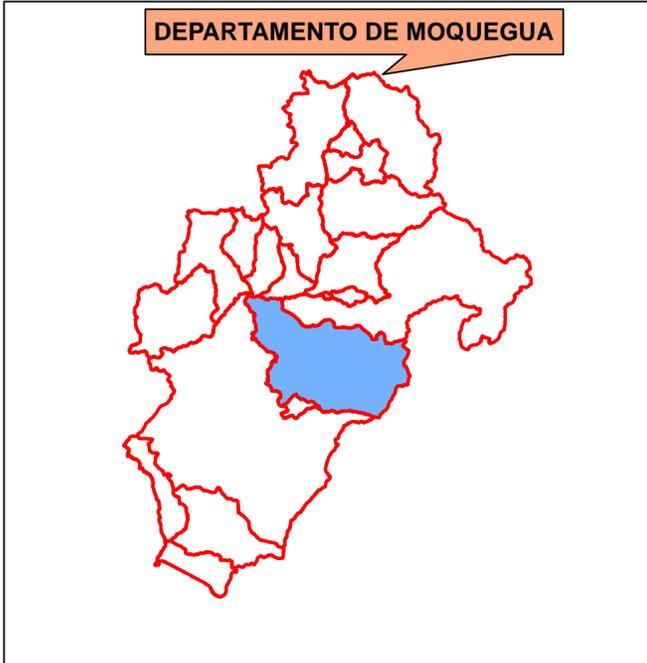
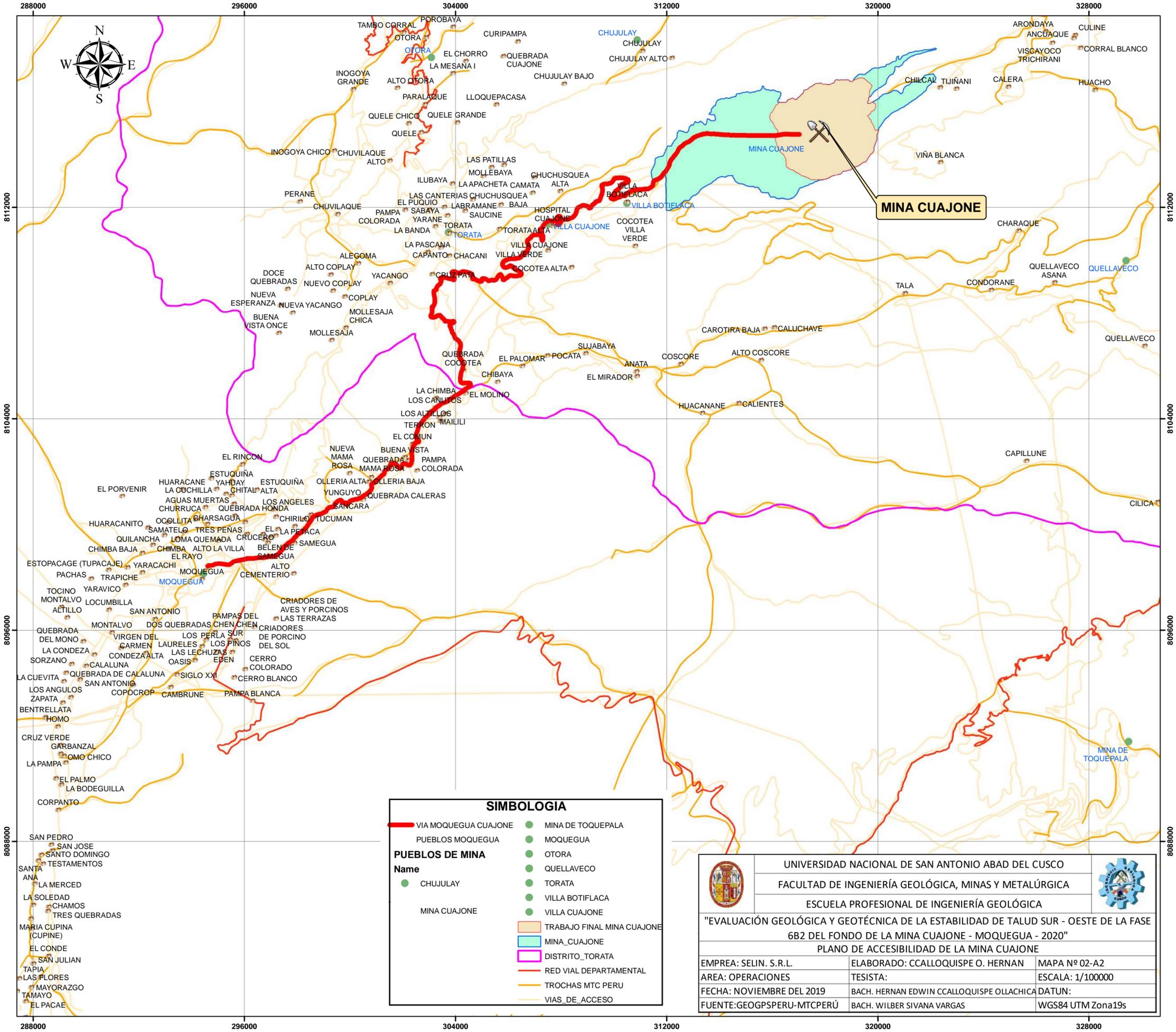
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020" PLANO GEOLOGICO LOCAL DE LA MINA CUAJONE			
EMPRESA: SELIN. S.R.L.	ELABORADO: SELIN S.R.L.	PLANO N° 04	
AREA: OPERACIONES	TESISTA:	ESCALA: 1/100000	
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2023	BACH. HERNANDEWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA	DATUN:	
FUENTE: GEOGSPERU	BACH. WILBER SIVANA VARGAS	WGS84 UTM Zona19s	

PLANO DE UBICACIÓN DE LA MINA CUAJONE



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020" PLANO DE UBICACIÓN		
EMPRESA: SELIN. S.R.L.	ELABORADO: CCALLOQUISPE O. HERNAN	MAPA N° 01-A2
ÁREA: OPERACIONES	TESISTA:	ESCALA: 1/600000
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2020	BACH. HERNANDEWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA	DATUN:
FUENTE: GEOGSPERU	BACH. WILBER SIVANA VARGAS	WGS84 UTM Zona19s

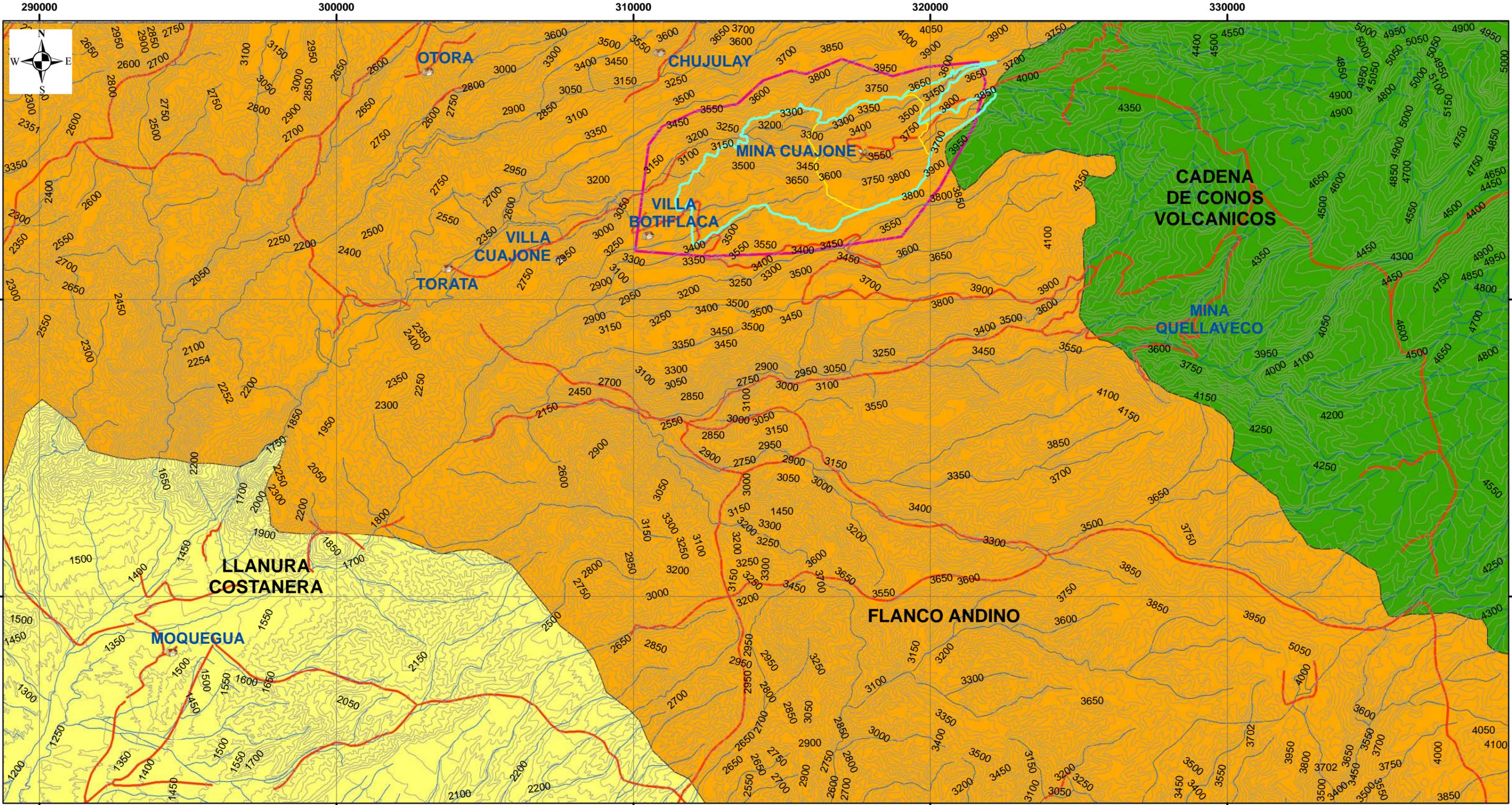
PLANO DE ACCESIBILIDAD A LA MINA CUAJONE



SIMBOLOGIA	
—	VIA MOQUEGUA CUAJONE
—	PUEBLOS MOQUEGUA
●	PUEBLOS DE MINA
●	CHUJULAY
●	MINA CUAJONE
●	MINA DE TOQUEPALA
●	MOQUEGUA
●	OTORA
●	QUELLAVECO
●	TORATA
●	VILLA BOTIFLACA
●	VILLA CUAJONE
■	TRABAJO FINAL MINA CUAJONE
■	MINA_CUAJONE
—	DISTRITO_TORATA
—	RED VIAL DEPARTAMENTAL
—	TROCHAS MTC PERU
—	VIAS_DE_ACCESO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA 		
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020"		
PLANO DE ACCESIBILIDAD DE LA MINA CUAJONE		
EMPRESA: SELIN. S.R.L.	ELABORADO: CCALLOQUISPE O. HERNAN	MAPA N° 02-A2
AREA: OPERACIONES	TESISTA:	ESCALA: 1/100000
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2019	BACH. HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA	DATUN:
FUENTE: GEOGPSERU-MTCPERÚ	BACH. WILBER SIVANA VARGAS	WGS84 UTM Zona19s

PLANO GEOMORFOLOGICO



290000 300000 310000 320000 330000

8110000 8100000

290000 300000 310000 320000 330000

8110000 8100000

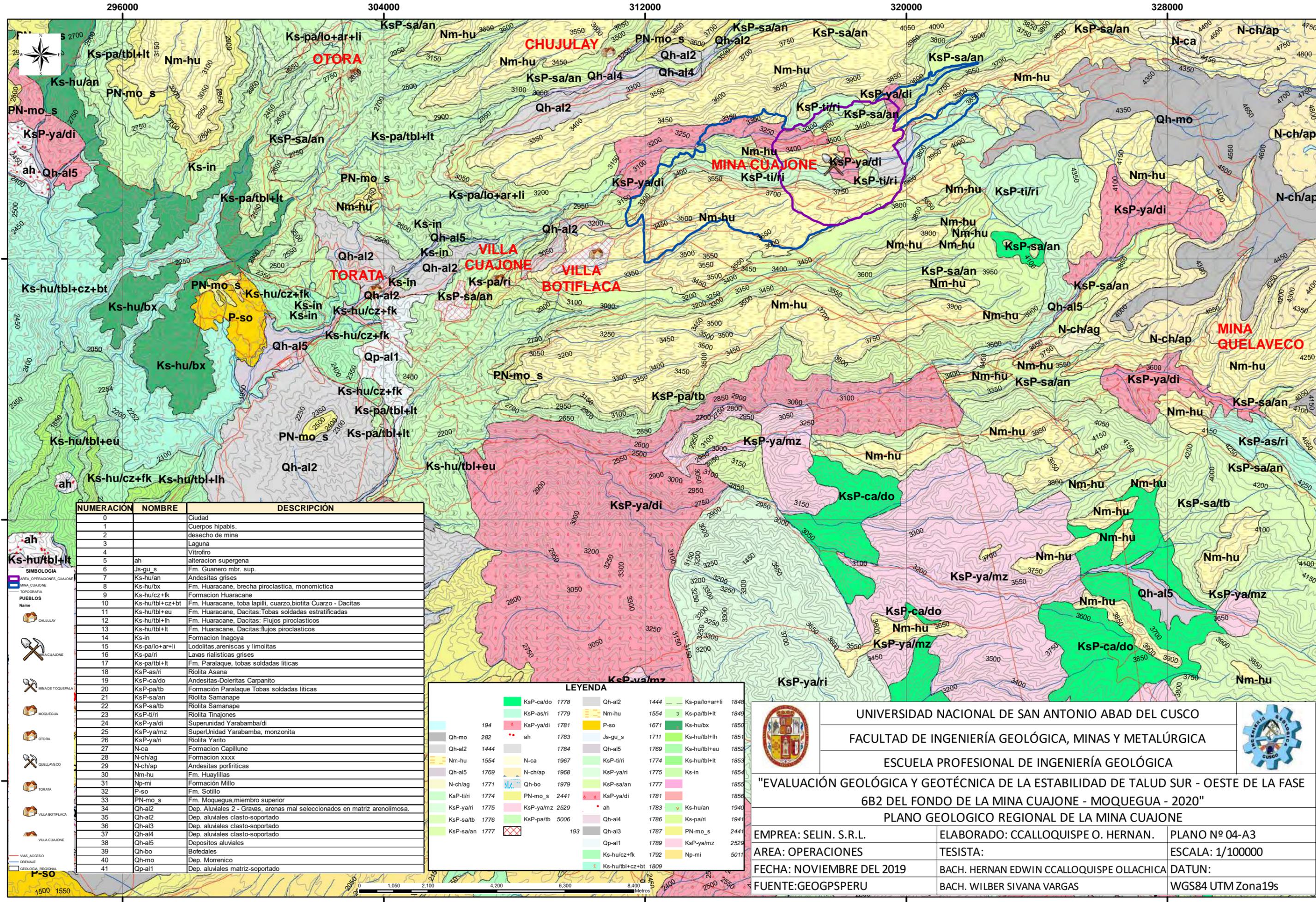
0 1,750 3,500 7,000 10,500 14,000 Metros

SIMBOLOGIA			
	MINA_CUAJONE		TORATA
	AREA_OPERACIONES_CUAJONE		VILLA BOTIFLACA
	TOPOGRAFIA		VILLA CUAJONE
	TOPOGRAFIA		OTORA
	DRENAJES		CHUJULAY
	MINA CUAJONE		QUELLAVECO

LEYENDA	
	MINA_CUAJONE
	AREA_OPERACIONES_CUAJONE
	TOPOGRAFIA
GEOMORFOLOGIA	
GEOMORFOLO	
	CADENA DE CONOS VOLCANICOS
	FLANCO ANDINO
	LLANURA COSTANERA

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA					
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020"					
PLANO GEOMORFOLOGICO					
EMPRESA: SELIN. S.R.L.		ELABORADO: CCALLOQUISPE O. HERNAN		PLANO Nº 03-A3	
AREA: OPERACIONES		TESISTA:		ESCALA: 1/125000	
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2019		BACH. HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA		DATUN:	
FUENTE: INGEMMET-MTC PERÚ		BACH. WILBER SIVANA VARGAS		WGS84 UTM Zona19s	

PLANO GEOLOGICO REGIONAL DE MINA CUAJONE



NUMERACION	NOMBRE	DESCRIPCION
0		Ciudad
1		Cuerpos hipabis.
2		desecho de mina
3		Laguna
4		Vitrofiro
5	ah	alteracion supergena
6	Js-gu_s	Fm. Guanero mbr. sup.
7	Ks-hu/an	Andesitas grises
8	Ks-hu/bx	Fm. Huaracane, brecha piroclastica, monomictica
9	Ks-hu/cz+fk	Formacion Huaracane
10	Ks-hu/tbl+cz+bt	Fm. Huaracane, toba lapilli, cuarzo, biotita Cuarzo - Dacitas
11	Ks-hu/tbl+eu	Fm. Huaracane, Dacitas:Tobas soldadas estratificadas
12	Ks-hu/tbl+lh	Fm. Huaracane, Dacitas: Flujos piroclasticos
13	Ks-hu/tbl+lt	Fm. Huaracane, Dacitas: flujos piroclasticos
14	Ks-in	Formacion Inagoaya
15	Ks-pa/lo+ar+li	Lodolitas, areniscas y limolitas
16	Ks-pa/ri	Lavas rialisticas grises
17	Ks-pa/tbl+lt	Fm. Paralaque, tobas soldadas liticas
18	KsP-as/ri	Riolita Asana
19	KsP-ca/do	Andesitas-Doleritas Carpanito
20	KsP-pa/tb	Formación Paralaque Tobas soldadas liticas
21	KsP-sa/an	Riolita Samanape
22	KsP-sa/tb	Riolita Samanape
23	KsP-ti/ri	Riolita Tinajones
24	KsP-ya/di	Superunidad Yarabamba/di
25	KsP-ya/mz	SuperUnidad Yarabamba, monzonita
26	KsP-ya/ri	Riolita Yarito
27	N-ca	Formacion Capillune
28	N-ch/ag	Formacion xxxx
29	N-ch/ap	Andesitas porfiriticas
30	Nm-hu	Fm. Huayllillas
31	Np-mi	Formación Millo
32	P-so	Fm. Sotillo
33	PN-mo_s	Fm. Moquegua, miembro superior
34	Qh-al2	Dep. Aluviales 2 - Graves, arenas mal seleccionados en matriz arenolimosas.
35	Qh-al2	Dep. aluviales clasto-soportado
36	Qh-al3	Dep. aluviales clasto-soportado
37	Qh-al4	Dep. aluviales clasto-soportado
38	Qh-al5	Depositos aluviales
39	Qh-bo	Bofedales
40	Qh-mo	Dep. Morrenico
41	Qp-al1	Dep. aluviales matriz-soportado

LEYENDA			
KsP-ca/do	1778	Qh-al2	1444
KsP-as/ri	1779	Nm-hu	1554
KsP-ya/di	1781	P-so	1671
ah	1783	Js-gu_s	1711
	1784	Qh-al5	1769
N-ca	1967	KsP-ti/ri	1774
N-ch/ap	1968	KsP-ya/ri	1775
Qh-bo	1979	KsP-sa/an	1777
PN-mo_s	2441	KsP-ya/di	1781
KsP-ti/ri	1774	ah	1783
KsP-ya/ri	1775	Qh-al4	1786
KsP-sa/tb	1776	Qh-al3	1787
KsP-sa/an	1777	Qp-al1	1789
193		Ks-hu/cz+fk	1792
		Ks-hu/tbl+cz+bt	1809
		Ks-pa/lo+ar+li	1848
		Ks-pa/tbl+lt	1849
		Ks-hu/bx	1850
		Ks-hu/tbl+h	1851
		Ks-hu/tbl+eu	1852
		Ks-hu/tbl+lt	1853
		Ks-in	1854
		Qh-mo	282
		Qh-al2	1444
		Nm-hu	1554
		N-ca	1967
		N-ch/ag	1771
		N-ch/ap	1968
		PN-mo_s	2441
		KsP-ti/ri	1774
		KsP-ya/ri	1775
		KsP-sa/an	1777
		KsP-ya/di	1781
		ah	1783
		Qh-al4	1786
		Qh-al3	1787
		Qp-al1	1789
		Ks-hu/cz+fk	1792
		Ks-hu/tbl+cz+bt	1809



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

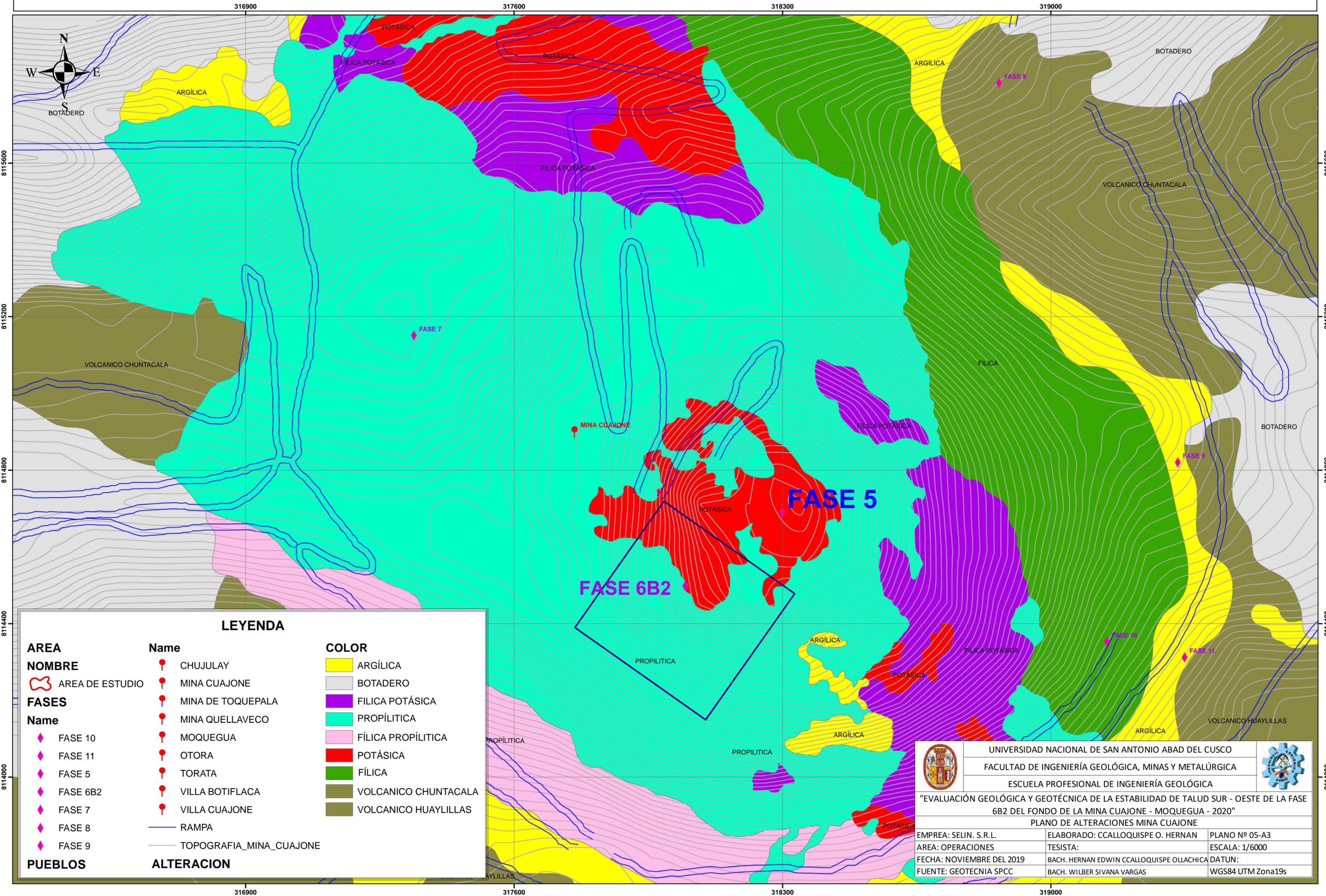
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020"

PLANO GEOLOGICO REGIONAL DE LA MINA CUAJONE



EMPRESA: SELIN. S.R.L.	ELABORADO: CCALLOQUISPE O. HERNAN.	PLANO N° 04-A3
AREA: OPERACIONES	TESISTA:	ESCALA: 1/100000
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2019	BACH. HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA	DATUN:
FUENTE: GEOGPSERU	BACH. WILBER SIVANA VARGAS	WGS84 UTM Zona19s

PLANO SUPERFICIAL DE ALTERACIONES MINA CUAJONE

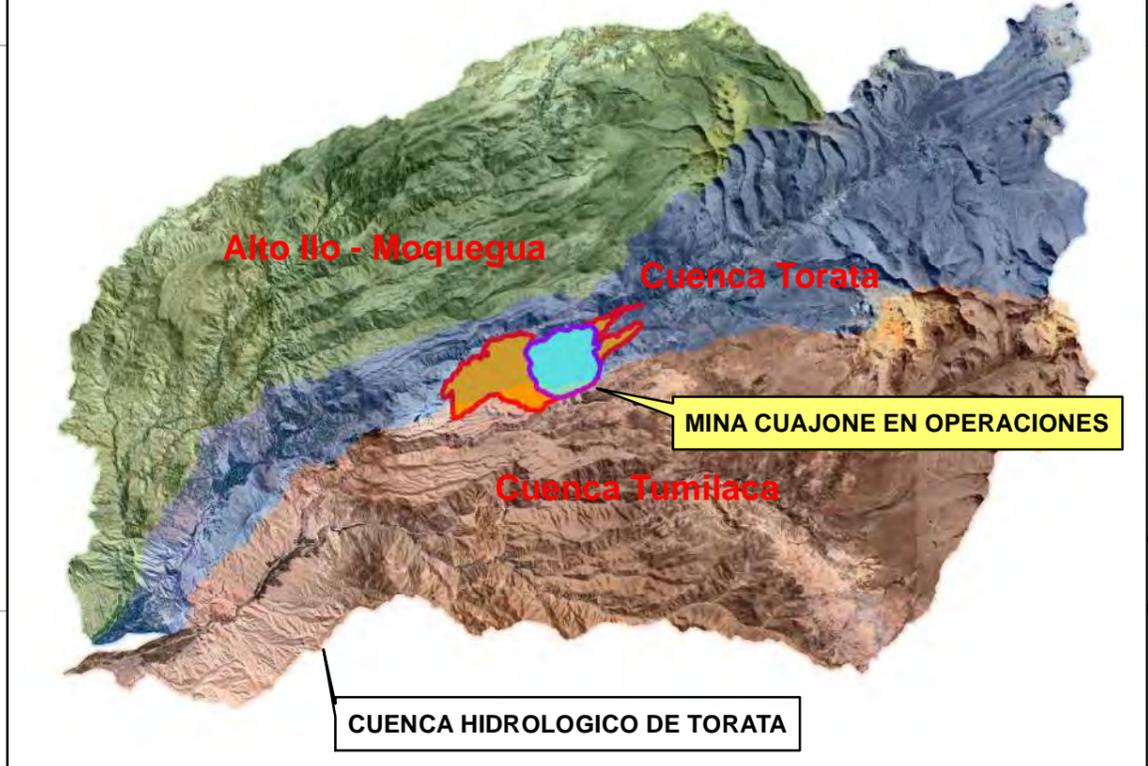
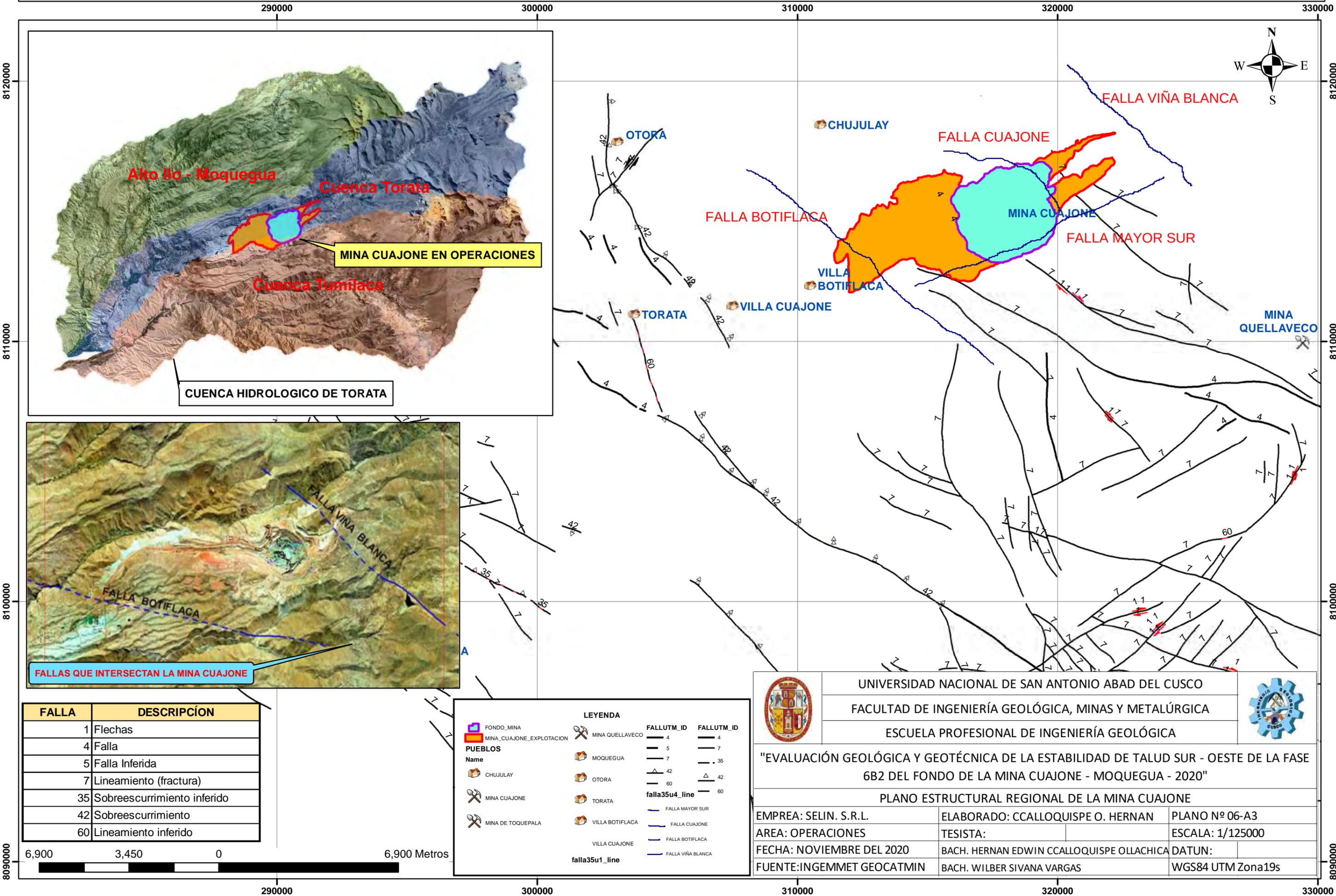


LEYENDA

AREA	Name	COLOR
AREA DE ESTUDIO	CHUJULAY	ARGÍLICA
FASES	MINA CUAJONE	BOTADERO
Name	MINA DE TOQUEPALA	FILICA POTÁSICA
FASE 10	MINA QUELLAVECO	PROPÍLITICA
FASE 11	MOQUEGUA	FÍLICA PROPÍLITICA
FASE 5	OTORA	POTÁSICA
FASE 6B2	TORATA	FÍLICA
FASE 7	VILLA BOTIFLACA	VOLCANICO CHUNTACALA
FASE 8	VILLA CUAJONE	VOLCANICO HUAYLILLAS
FASE 9	RAMPA	
PUEBLOS	TOPOGRAFIA_MINA_CUAJONE	
ALTERACION		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020" PLANO DE ALTERACIONES MINA CUAJONE		
EMPRESA: SELIN. S.R.L.	ELABORADO: CCALLOQUISPE O. HERNAN	PLANO Nº 05-A3
AREA: OPERACIONES	TESISTA:	ESCALA: 1/6000
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2019	BACH. HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA	DATUN:
FUENTE: GEOTECNIA SPCC	BACH. WILBER SIVANA VARGAS	WGS84 UTM Zona19s

PLANO ESTRUCTURAL REGIONAL DE LA MINA CUAJONE



FALLA	DESCRIPCIÓN
1	Flechas
4	Falla
5	Falla Inferida
7	Lineamiento (fractura)
35	Sobrecurrimiento inferido
42	Sobrecurrimiento
60	Lineamiento inferido

LEYENDA			
	FONDO_MINA		MINA QUELLAVECO
	MINA_CUAJONE_EXPLOTACION		MOQUEGUA
PUEBLOS			
	CHUJULAY		OTORÁ
	MINA CUAJONE		TORATA
	MINA DE TOQUEPALA		VILLA BOTIFLACA
	VILLA CUAJONE		
	falla35u1_line		FALLA MAYOR SUR
			FALLA CUAJONE
			FALLA BOTIFLACA
			FALLA VIÑA BLANCA
	FALLUTM_ID 4		FALLUTM_ID 4
	FALLUTM_ID 5		FALLUTM_ID 7
	FALLUTM_ID 7		FALLUTM_ID 35
	FALLUTM_ID 42		FALLUTM_ID 42
	FALLUTM_ID 60		FALLUTM_ID 60
	falla35u4_line		FALLUTM_ID 60



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

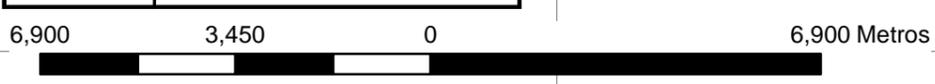
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020"

PLANO ESTRUCTURAL REGIONAL DE LA MINA CUAJONE

EMPRESA: SELIN. S.R.L.	ELABORADO: CCALLOQUISPE O. HERNAN	PLANO Nº 06-A3
AREA: OPERACIONES	TESISTA:	ESCALA: 1/125000
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2020	BACH. HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA	DATUN:
FUENTE: INGEMMET GEOCATMIN	BACH. WILBER SIVANA VARGAS	WGS84 UTM Zona19s



PLANO HIDROGEOLOGÍA DE LA MINA CUAJONE

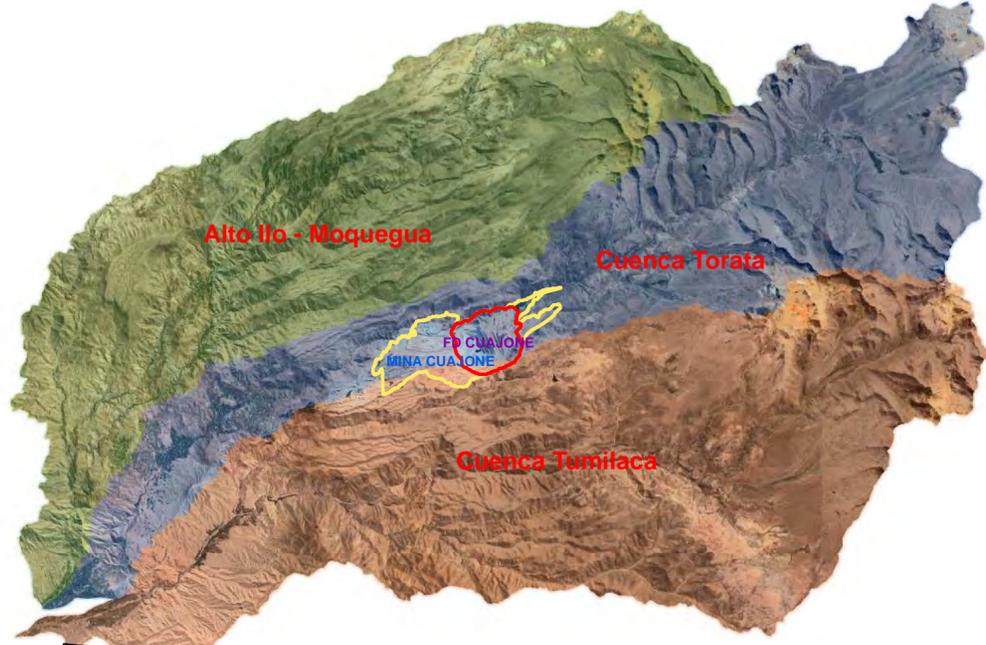
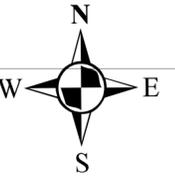
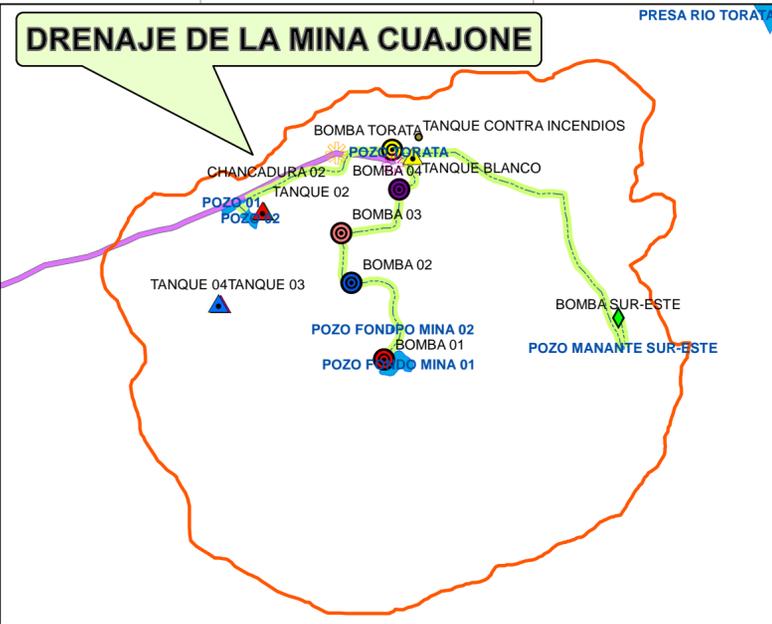
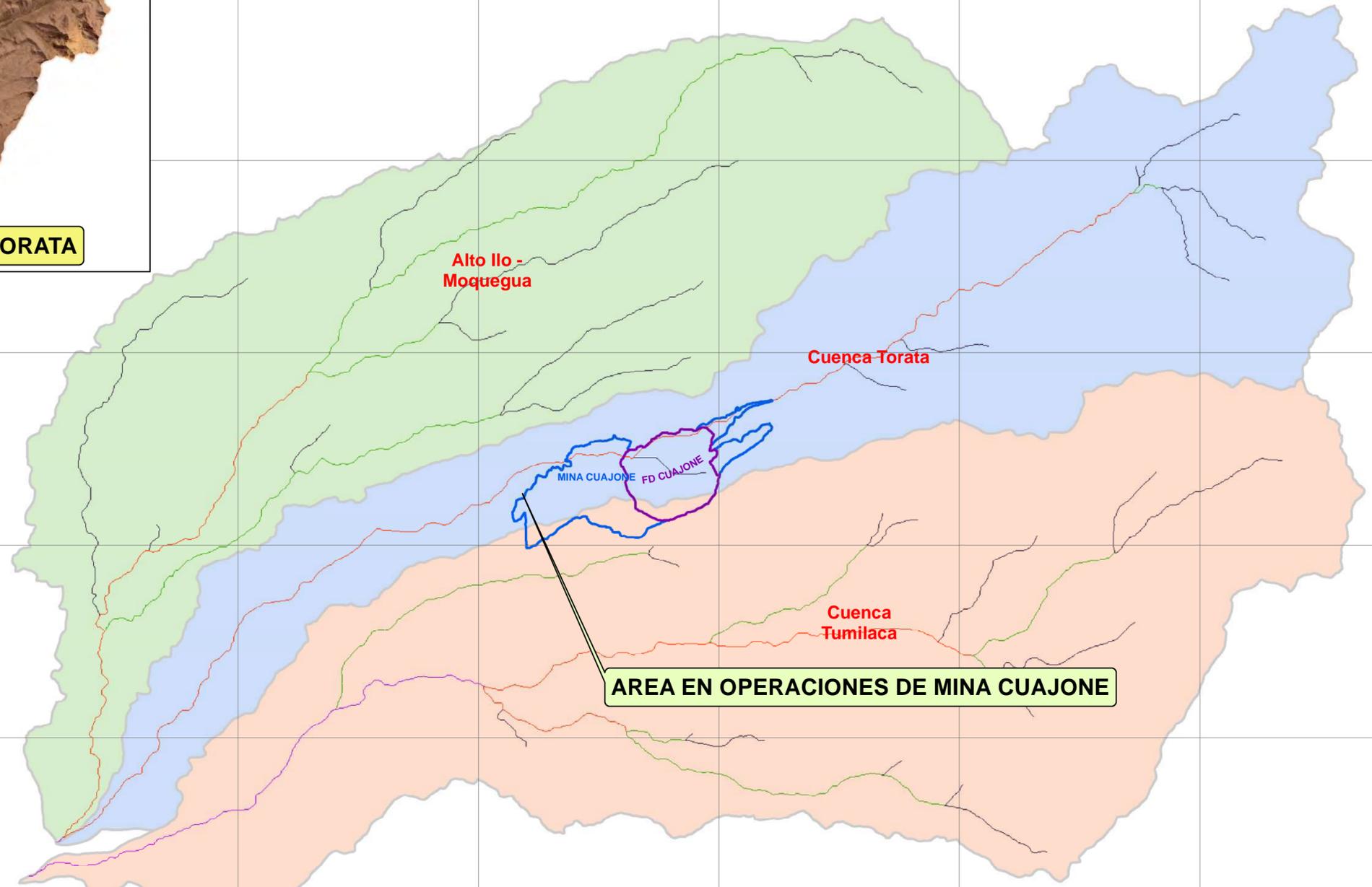


IMAGEN SATELITAL DE LA CUENCA TORATA



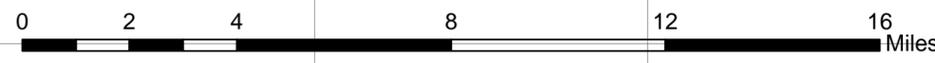
DRENAJE DE LA MINA CUAJONE



AREA EN OPERACIONES DE MINA CUAJONE

LEYENDA

CUENCA TORATA		Value
Nombre_UH		1
Alto Ilo - Moquegua		2
Cuenca Torata		3
Cuenca Tumilaca		4
AREA_OPERACIONES_CUAJONE		
MINA_CUAJONE		
RIOS STRAHLER		



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020" PLANO HIDROGEOLOGÍA DE MINA CUAJONE			
EMPRESA: SELIN. S.R.L.	ELABORADO: CCALLOQUISPE O. HERNAN	PLANO N° 07-A3	
ÁREA: OPERACIONES	TESISTA:	ESCALA: 1/150000	
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2020	BACH. HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA	DATUM:	
FUENTE: geoservidor-raster.aspx	BACH. WILBER SIVANA VARGAS	WGS84 UTM Zona19s	

PLANO DE DRENAJE MINA CUAJONE

IMAGEN SATELITAL DE FONDO MINA

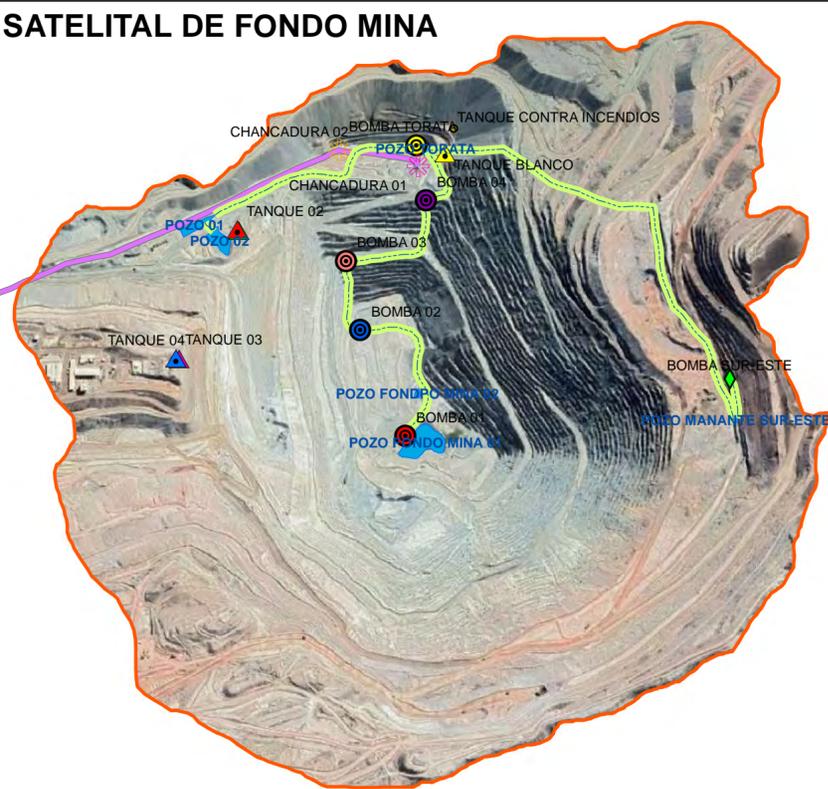
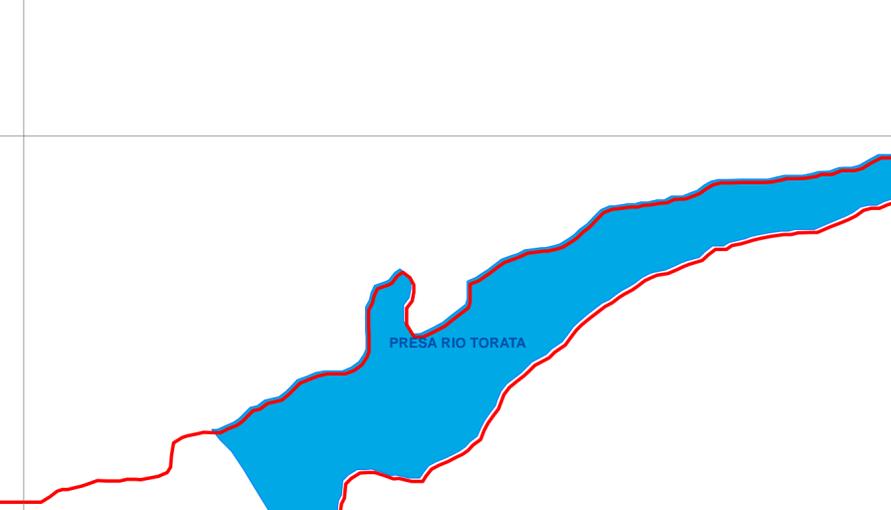


IMAGEN SATELITAL EN OPERACION MINA CUAJONE



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA		
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
"EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUD SUR - OESTE DE LA FASE 6B2 DEL FONDO DE LA MINA CUAJONE - MOQUEGUA - 2020"			
MAPA DE DRENAJE HIDROLOGICO DE MINA CUAJONE			
EMPRESA: SELIN. S.R.L.	ELABORADO: CCALLOQUISPE O. HERNAN	PLANO Nº 08-A3	
AREA: OPERACIONES	TESISTA:	ESCALA: 1/10000	
FECHA: NOVIEMBRE DEL 2020	BACH. HERNAN EDWIN CCALLOQUISPE OLLACHICA	DATUM:	
FUENTE: GEOGPSERU-GOOGLE EARTH	BACH. WILBER SIVANA VARGAS	WGS84 UTM Zona19s	

SIMBOLOGIA

MANATES	TANQUE	NOMBRE
CHANCADURA 01	TANQUE 01	POZO 01
CHANCADURA 02	TANQUE 02	POZO 02
BOMBA SUR-ESTE	TANQUE 03	POZO MANANTE SUR-ESTE
CHANCADURA 03	TANQUE 04	POZO FONDO MINA 01
CHANCADURA 04	TANQUE BLANCO	POZO FONDO MINA 02
TANQUE CONTRA INCENDIOS		PRESA RIO TORATA
BOMBAS		AREA_OPERACIONES_CUAJONE
BOMBA 01	Id 0	
BOMBA 02	Id 0	
BOMBA 03	MINA CUAJONE EXPLTACION	
BOMBA 04	POZOS	
BOMBA TORATA		

