

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA
EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C.
DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA**

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS**

**Presentado por
Bachiller: David Terán Cueva**

**Asesor
Dr. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado**

**Cajamarca – Perú
2022**

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al claustro de la Universidad Nacional de Cajamarca, por brindarme ser partícipe de esta ciudad y hermandad universitaria, y también mi más sincera correspondencia a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, por tener docentes académicos de Nivel; formadores de futuros Profesionales Mineros mediante su: experiencia, conocimiento y profesionalismo, a través de clases y salidas de campo.

Sin dejar de lado, mi más grato reconocimiento también a la Gestión de la Escuela de Ingeniería de Minas Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por su asesoramiento para la elaboración de mi tesis, para desarrollarme: intelectualmente y profesionalmente, en proyectos de Ingeniería.

DEDICATORIA

Antes de todo la dedicó mi tesis a Dios por ser mí: consejero, guía y protector, a mi madre Antonia y hermanos que me enseñan a luchar cada día en esta vida llena de adversidades, asimismo a conquistar las metas que me propongo hasta agotar los recursos si son necesarios por conseguir un anhelo de superación y también por motivarme a seguir adelante.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE PLANOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS	3
2.2 BASES TEÓRICAS	5
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	16
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1 UBICACIÓN	19
3.2 ACCESIBILIDAD	22
3.3 CLIMA Y METEOROLOGÍA	25
3.4 VEGETACIÓN Y FAUNA	26
3.5 HIDROLOGÍA	27
3.6 HIDROGEOLOGÍA	28
3.7 GEOLOGÍA REGIONAL	28
3.8 GEOLOGÍA LOCAL	32
3.9 GEOMORFOLOGÍA	33
3.10 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	37
3.11 SISMICIDAD	41
3.12 GEOTÉCNIA	41
3.13 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	54
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	62
4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	68

	Pág.
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1 CONCLUSIONES	69
5.2 RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	74
ANEXO A: AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA	75
ANEXO B: DATOS GEOMECÁNICOS	77
ANEXO C: CUENCA HIDROGRÁFICA	82
ANEXO D: PLANOS TEMÁTICOS	84
ANEXO E: SECCIONES DE CORTE DE LA CANTERA	97
ANEXO F: DISEÑO DE TAJO DE EXPLOTACIÓN	111

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de posicionamiento global.
INGEMMET	:	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.
Fm.	:	Formación geológica.
MDT	:	Modelo digital del terreno.
MDE	:	Modelo digital de elevaciones.
MDP	:	Modelo digital de pendientes.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
M-C	:	Morh-Coulomb.
H-B	:	Hoek-Brown.
σ_{ci}	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
$\sigma_{3m\acute{a}x}$:	Tensión de confinamiento.
σ'_t	:	Resistencia a la tracción
σ_1	:	Esfuerzo principal mayor.
σ_3	:	Esfuerzo principal menor.
ϕ_b	:	Ángulo de fricción básico.
ϕ_r	:	Ángulo de fricción residual.
T	:	Esfuerzo de corte.
σ_n	:	Esfuerzo normal.
σ'_{cm}	:	Resistencia del macizo rocoso.
σ_0	:	Esfuerzo vertical.
<i>mi</i>	:	Constante de Hoek & Brown.
<i>mb</i>	:	Constante de Hoek & Brown.
<i>s, a</i>	:	Constantes de Hoek & Brown.
<i>c</i>	:	Cohesión.
ϕ	:	Ángulo de fricción.
<i>Ei</i>	:	Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.
<i>Em</i>	:	Módulo de deformación.
<i>D</i>	:	Factor de disturbancia.
RQD	:	Índice de calidad de roca.
RMR	:	Valoración de la masa rocosa.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
JRC	:	Índice de rugosidad de junta
JCS	:	Resistencia a la compresión simple de la discontinuidad.
I,II....	:	Clase o tipo de roca.
R5	:	Grado de estimación de roca.
<i>e</i>	:	Épsilon.
λ	:	Landa.
L	:	Longitud.
ND	:	Número de discontinuidades.
D-1	:	Número de junta.
E.I.R.L.	:	Empresa individual de responsabilidad limitada.
S.A.	:	Sociedad anónima.

et al.,	:	Y otros.
Ks	:	Cretácico superior.
Ca	:	Cajamarca.
14-f	:	Cuadrángulo geológico.
Rb.	:	Rumbo.
Az.	:	Azimut.
Bz.	:	Buzamiento.
FS	:	Factor de Seguridad.
MPa	:	Mega pascales.
TM	:	Toneladas métricas.
m.	:	Metros.
m ² .	:	Metros cuadrados.
m ³ .	:	Metros cúbicos.
N	:	Newton.
vs.	:	Versus
v	:	Versión
MINEM	:	Ministerio de Energía y Minas.
msnm.	:	Metros sobre el nivel del mar.
Osinergmin	:	Organismo supervisor de la inversión en energía y minería.
Senamhi	:	Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú.
E-1	:	Estación geomecánica.
U.P.	:	Unidad de producción.
Qda.	:	Quebrada.
Jr	:	Índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.
α_b	:	Ángulo de cara de banco.
α_r	:	Ángulo de interrampa.
α_0	:	Ángulo global.
h_r	:	Altura de interrampa.
h_b	:	Altura de banco.
b_r	:	Ancho de rampa.
b	:	Ancho de berma.
Q	:	Quebradura.
BR	:	Bloques regulares.
BI	:	Bloques irregulares.
BC	:	Bloques capas.
FI	:	Fracturación intensa.
MB	:	Muy buena.
B	:	Buena.
M	:	Media.
P	:	Pobre.
MP	:	Muy pobre.
m/m	:	Pendiente.
Tc	:	Tiempo de concentración.
Fm.	:	Formación geológica.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD). Fuente: González de Vallejo, 2004	6
Cuadro 2.2. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR ₈₉ . Fuente: González de Vallejo, 2004.	7
Cuadro 2.3. Clasificación geomecánica RMR ₈₉ . Fuente: González de Vallejo, 2004.	9
Cuadro 2.4. Índice geológico de resistencia (GSI). Fuente: Hoek, 2002.	10
Cuadro 3.1. Coordenadas del petitorio Colquirrumi N° 49-C.	20
Cuadro 3.2. Coordenadas del terreno superficial.	21
Cuadro 3.3. Coordenadas del área efectiva.	22
Cuadro 3.4. Acceso a Chilifruta - Operaciones mineras	25
Cuadro 3.5. Datos meteorológicos del año 2021. Fuente: SENAMHI, 2021.	25
Cuadro 3.6. Datos meteorológicos del año 2022. Fuente: SENAMHI, 2022.	26
Cuadro 3.7. Unidades morfogénicas en las instalaciones mineras.	35
Cuadro 3.8. Coeficiente de aceleración espectral – Tajo Esmael.	41
Cuadro 3.9. Registro geológico-geotécnico. Fuente: Tolentino, 2008; modificado por: Rodríguez, 2021.	58
Cuadro 4.1. Tiempo de concentración de agua en la microcuenca.	63
Cuadro 4.2. Precipitación máxima en 24 horas a altitud media de la microcuenca.	64
Cuadro 4.3. Análisis cinemático Dips de rupturas en relación de probabilidad de falla e inestabilidad de juntas.	65
Cuadro 4.4. Resultados de calidad de roca del afloramiento rocoso de la cantera Esmael.	66
Cuadro 4.5. Estimación de recursos, reservas minerales y vida del proyecto.	68
Cuadro 5.1. Registro geológico geotécnico – estación geomecánica 1.	78
Cuadro 5.2. Registro geológico geotécnico – estación geomecánica 2.	79
Cuadro 5.3. Registro geológico geotécnico – estación geomecánica 3.	80
Cuadro 5.4. Registro geológico geotécnico – estación geomecánica 4.	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown, 1997). Fuente: González de Vallejo, 2004.	8
Figura 2.2. Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente de Mohr-Coulomb. Fuente: Wyllie y Mah, 2004.	12
Figura 2.3. Relación para el cálculo de σ'_{3max} para los parámetros equivalentes de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown para taludes. Fuente: Wyllie y Mah, 2004.	13
Figura 2.4. Directrices para estimar el factor de disturbación D , del criterio de rotura. Fuente: Hoek et al., 2002.	14
Figura 2.5. Perfiles para estimar el índice de rugosidad de una junta o JRC. Fuente: Barton y Choubey, 1977.	15
Figura 2.6. Parámetros geométricos de diseño de tajos. Fuente: Hustrulid et al., 2013.	17
Figura 3.1. Ingreso del centro poblado Apan Bajo a la Empresa Cal Plus E.I.R.L. Fuente: Google Earth Pro, 2020.	23
Figura 3.2. Ruta de acceso al centro poblado de Apan Bajo – Bambamarca. Fuente: Google Maps, 2018.	24
Figura 3.3. Diagrama estadístico meteorológico de Bambamarca. Fuente: SENAMHI, 2021 - 2022.	26
Figura 3.4. Formación Yumagual, ubicada en el flanco izquierdo de la carretera. Ubicación: E = 766867.760 m., N = 9253894.260 m. y Cota = 3159 msnm.	30
Figura 3.5. Formación Cajamarca se ubicada en el distrito de Hualgayoc, flanco derecho de la carretera. Ubicación: E = 761803.800 m., N = 9249715.030 m. y Cota = 3889 msnm.	31
Figura 3.6. Tajo de explotación de roca caliza – Formación Cajamarca. Ubicación: E = 769892.827 m., N = 9255421.770 m. y Cota = 3292 msnm.	32
Figura 3.7. Instalaciones del área de beneficio - empresa Cal Plus E.I.R.L., observando la planta metalúrgica, emplazada en la unidad geomorfológica - planicie. Ubicación: E = 769866.849 m., N = 9255532.829 m. y Cota = 3289 msnm.	34
Figura 3.8. Cantera de extracción de roca caliza, emplazada en lomadas, conformado por paquetes de buen espesor de roca calcárea. Ubicación: E = 769904.171 m., N = 9255373.785 m. y Cota = 3291 msnm.	35
Figura 3.9. A. Zona Kárstica de espesor de 0.70 m a 0.90 m. paralelo	36

- a la orientación de los estratos calcáreos. B. Hábito concéntrico de aragonito y cristalización de minerales. C. Disolución de carbonatos formando pilares verticales en forma de estalagmitas y estalactitas. Ubicación: E = 769911.956 m., N = 9255410.411 m. y Cota = 3292 msnm.
- Figura 3.10. A. Afloramiento de roca caliza gris de la Formación Cajamarca. B. Brecha de falla de espesor de 0.10 m. a 0.15 m. C. Espejo de falla normal con superficie alterada, con orientación de estrias, canaladuras y slikenides, por el movimiento cinemático. Ubicación: E = 769907.988 m., N = 9255425.175 m. y Cota = 3293 msnm. 38
- Figura 3.11. A. Plano de falla dextral. B. Brecha de falla sub-vertical con espesor de 0.10 m. a 0.20 m. C. Estrías de falla y slikenides con orientación Az. = 330°, Bz. = 69°NE y pitch = 28°. Ubicación: E = 769912.110 m., N = 9255409.418 m. y Cota = 3292 msnm. 39
- Figura 3.12. A. Afloramiento rocoso delimitado por falla: Normal. B. Estrías de falla de movimiento cinemático del bloque techo. C. Zona de brecha de falla, compuesto por material triturado y limonita. D. Brecha de falla. Ubicación: E = 769922.437 m., N = 9255394.590 m. y Cota = 3293 msnm. 40
- Figura 3.13. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 1. 42
- Figura 3.14. Probabilidad de ruptura planar con 33.33% para el desbroce de roca, englobando a los polos de las familias: D-1 y D-2; a favor del talud, estación 1. 43
- Figura 3.15. Probabilidad de ruptura en cuña con 29.93% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta, estación 1. 44
- Figura 3.16. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 2. 45
- Figura 3.17. Probabilidad de ruptura planar con 20.00% para el desbroce de roca, englobando a los polos de las familias: D-1 y D-2; a favor del talud, estación 2. 46
- Figura 3.18. Probabilidad de ruptura en cuña con 28.59% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación directa, estación 2. 47
- Figura 3.19. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 3. 48
- Figura 3.20. Probabilidad de ruptura planar con 2.22% para el desbroce de roca, englobando el polo del estrato; a favor del talud, estación 3. 49

	Pág.
Figura 3.21. Probabilidad de ruptura en cuña con 4.34% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta, estación 3.	50
Figura 3.22. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 4.	51
Figura 3.23. Probabilidad de ruptura planar con 15.56% para el desbroce de roca, englobando el polo del estrato; a favor del talud, estación 4.	52
Figura 3.24. Probabilidad de ruptura en cuña con 12.63% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y E; en orientación indirecta, estación 4.	53
Figura 3.25. Equipo e instrumentos utilizados para la investigación.	59
Figura 3.26. Programas usados para: Procesamiento y presentación de la tesis.	61
Figura 4.1. Precipitación máxima - estación Bambamarca.	64
Figura 4.2. Histograma de precipitación máxima anual.	65
Figura 4.3. Parámetros geométricos de tajo Esmael.	67

LISTA DE PLANOS

	Pág.
Anexos	
PLANO H-01 HIDROLÓGICO.	83
PLANO 01 IMAGEN SATELITAL SASPLANET - BING MAPS.	85
PLANO 02 MDT – MDE – UBICACIÓN.	86
PLANO 03 PETITORIO MINERO.	87
PLANO 04 SUPERPOSICIÓN DE PROPIEDADES.	88
PLANO 05 ÁREA EFECTIVA DE TRABAJO.	89
PLANO 06 DISTRIBUCIÓN DE INSTALACIONES MINERAS.	90
PLANO 07 GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL REGIONAL.	91
PLANO 08 GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL.	92
PLANO 09 UNIDADES MORFOGENÉTICAS.	93
PLANO 10 GEOMORFOLÓGICO ALTITUDINAL.	94
PLANO 11 GEOMECÁNICO.	95
PLANO 12 SECCIONES - ESTIMACIÓN DE RESERVAS.	96
PLANO S-01 SECCIÓN GEOLÓGICA A - A´.	98
PLANO S-02 SECCIÓN GEOLÓGICA B - B´.	99
PLANO S-03 SECCIÓN GEOLÓGICA C - C´.	100
PLANO S-04 SECCIÓN GEOLÓGICA D - D´.	101
PLANO S-05 SECCIÓN GEOLÓGICA E - E´.	102
PLANO S-06 SECCIÓN GEOLÓGICA F - F´.	103
PLANO S-07 SECCIÓN GEOLÓGICA G - G´.	104
PLANO S-08 SECCIÓN GEOLÓGICA H - H´.	105
PLANO S-09 SECCIÓN GEOLÓGICA I - I´.	106
PLANO S-10 SECCIÓN GEOLÓGICA J - J´.	107
PLANO S-11 SECCIÓN GEOLÓGICA K - K´.	108
PLANO S-12 SECCIÓN GEOLÓGICA L - L´.	109
PLANO S-13 SECCIÓN GEOLÓGICA M - M´.	110
PLANO D-01 TAJO DE EXPLOTACIÓN.	112
PLANO D-02 DISEÑO DE TAJO DE EXPLOTACIÓN.	113

RESUMEN

El tajo de explotación Esmael de la Empresa Cal Plus E.I.R.L., se ubica en el petitorio minero Colquirrumi N° 49-C, en el lugar: Chilifruta, centro poblado: Apan Bajo, distrito: Bambamarca, provincia: Hualgayoc y departamento: Cajamarca; teniendo como objetivo: Describir, analizar, calcular e interpretar el comportamiento geotécnico-estructural y el diseño de explotación con variables como: Precipitación, infiltración y sismicidad; siendo reforzada con información: Bibliográfica y campo. El cartografiado geológico-estructural muestra que se encuentra emplazada en la Formación Cajamarca, constituida de roca caliza gris macizas de resistencia a la compresión uniaxial: 105 MPa a 210 MPa. calificándolas como rocas de buena a muy buena calidad; con estimación de reservas 15.56 años. Las instalaciones están conformadas por área: explotación (cantera) y beneficio (planta metalúrgica), distribuida para la extracción y obtención de los derivados de la cal. Geoestructuralmente presenta cuatro discontinuidades menores (D/DD): $22^{\circ}/149^{\circ}$, $72^{\circ}/49^{\circ}$, $74^{\circ}/123^{\circ}$ y $67^{\circ}/290^{\circ}$, distribuidas en el afloramiento rocoso, cinemáticamente relacionadas con rupturas: Planares, cuñas y vuelco, en el tajo Esmael; los tres tipos de rupturas tienen bajo porcentaje de probabilidad de falla (20%), de 169 valores, siendo lo más resaltante la ruptura en cuña por presentar 2,293 zonas críticas de intersección en la cara libre. Hidrológicamente mediante dos análisis de microcuencas ubicadas en la zona: Norte (Quebrada El Tragadero) y Sur (Río Arascorgue). La precipitación anual es 515.20 mm/año, con tiempo de concentración promedio de agua en la superficie de 48.66 min.; de acuerdo con estos resultados mostrados se relacionan con las unidades geomorfológicas por su alta retención de agua que supera los 30 min. por ambas microcuencas siendo zonas alta concentración de agua. El ciclo de minado tendrá un frente de extracción, iniciándose desde la parte baja del tajo en la cota 3,285.00 msnm, con parámetros de diseño como: Altura de banco=2.00 m, quebradura =0.35 m., ancho rampa = 4.50 m., ancho berma = 2.40 m., ángulo de banco = 80° y ángulo final de banco = 33° .

Palabras Clave: Geomecánica, diseño de tajo, rupturas y reservas.

ABSTRACT

The Esmael exploitation pit of the Cal Plus E.I.R.L. Company, is located in the Colquirrumi mining claim No. 49-C, in the place: Chilifruta, populated center: Apan Bajo, district: Bambamarca, province: Hualgayoc and department: Cajamarca; having as objective: to describe, analyze, calculate and interpret the geotechnical-structural behavior and the exploitation design with variables such as: Precipitation, infiltration and seismicity; being reinforced with information: Bibliographic and field. The geological-structural mapping shows that it is located in the Cajamarca Formation, made up of solid gray limestone rock with uniaxial compressive strength: 105 MPa to 210 MPa. qualifying them as good to very good quality rocks; with estimated reserves 15.56 years. The facilities are made up by area: exploitation (quarry) and benefit (metallurgical plant), distributed for the extraction and obtaining of lime derivatives. Geostructurally, it presents four minor discontinuities (D/DD): $22^{\circ}/149^{\circ}$, $72^{\circ}/49^{\circ}$, $74^{\circ}/123^{\circ}$ and $67^{\circ}/290^{\circ}$, distributed in the rocky outcrop, kinematically related to ruptures: Planars, wedges and overturning, in the Esmael pit; The three types of ruptures have a low percentage of probability of failure (20%), of 169 values, the most outstanding being the wedge rupture for presenting 2,293 critical intersection zones on the free face. Hydrologically through two analyzes of micro-basins located in the area: North (The Tragadero ravine) and South (Arascorgue River). The annual precipitation is 515.20 mm/year, with a time of average water concentration on the surface of 48.66 min.; According to these results, they are related to the geomorphological units due to their high water retention that exceeds 30 min. by both micro-basins being areas of high concentration of water. The mining cycle will have an extraction front, starting from the bottom of the pit at elevation = 3,285.00 meters above sea level, with design parameters such as: bench height = 2.00 m, crack = 0.35 m, ramp width = 4.50 m., berm width = 2.40 m., bank angle = 80° and final bank angle = 33° .

Keywords: Geomechanics, pit design, ruptures and reserves.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tajo Esmael de explotación de la Empresa Cal Plus E.I.R.L., está ubicado en el petitorio minero Colquirrumi 49-C, en el centro poblado de Apan Bajo, distrito de Bambamarca, región Cajamarca, emplazado en afloramientos calcáreos de la Formación Cajamarca, las cuales están moderadamente: fracturados y meteorizados, siendo afectadas por: precipitación, infiltración, sismicidad y otros tipos de vibraciones, ocasionando inestabilidad geomecánica y geotécnica en los taludes del tajo, debido a la disminución de la resistencia en las discontinuidades como la cohesión y el ángulo de fricción. Por consiguiente, para el diseño, operación y explotación de las calizas, se debe conocerse el comportamiento geomecánico a deslizamientos: planares y cuñas, para lograr la estabilidad en la explotación del tajo, mediante la interrogante, el comportamiento geomecánico y geotécnico, del tajo Esmael en las calizas de Formación Cajamarca tienen relación con la infiltración y sismicidad durante la explotación.

Sin embargo, la continua extracción de roca caliza del tajo Esmael de la Empresa Cal Plus E.I.R.L., por sistemas de banqueo, originan inestabilidades en los frentes de explotación del macizo rocoso. Evidenciándose en los taludes condiciones inestables por la presencia de geoestructuras que se forman en el frente de extracción, conformado por deslizamientos: planares y cuñas, afectados por los agentes detonantes como: precipitación pluvial y sismicidad, causando inestabilidad de taludes, debido a ello se realizarán investigaciones geotécnicas del tajo de explotación, para obtener resultados que determinen diseños óptimos de banqueo para la explotación a tajo abierto, lográndose un buen control y mejoramiento de estabilidad de los taludes, consiguiendo una correcta metodología de avance de los frentes de extracción.

Aportando alcances del comportamiento geomecánico y geotécnico, del tajo Esmael con fines de diseño óptimo de banqueo para: explotación, control y estabilidad de taludes, siguiendo la metodología: exploratoria, descriptiva y explicativa. Proponiendo como objetivo general realizar la evaluación geomecánica y geotécnica, del tajo Esmael para diseñar los bancos del tajo, para establecer soluciones favorables en la estabilidad planteando los siguientes objetivos específicos: definir la litología en el tajo Esmael, determinar las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, evaluar la precipitación e infiltración en la zona de muestra, definir las condiciones de sismicidad, analizar en comportamiento geotécnico del tajo Esmael y diseñar los bancos del tajo para las operaciones mineras; fundamentadas para mejorar los diseños geométricos del tajo, extracción y producción de la roca caliza, así evitando contingencias laborales a los trabajadores.

La tesis está enfocada en cinco capítulos, de acuerdo al reglamento de grados y títulos, de la universidad nacional de Cajamarca:

Capítulo I: Introducción, plantea la problemática, formulación, justificación, alcances, limitación y objetivos, de la zona de investigación.

Capitulo II: Marco teórico, muestras antecedentes, bases teóricas y definición de términos; fundamentados por la carga teórica e investigaciones ligados al desarrollo de la investigación para tener mayor relevancia científica.

Capitulo III: Materiales y métodos, plantea la metodología a desarrollar desde: campo y gabinete, enfocado en un contexto del entorno realista de la ocurrencia mediante información: cualitativa y cuantitativa.

Capitulo IV: Resultados y discusión, muestra información concreta y relevante, mediante cálculos obtenidos en el capítulo III, fundamentando por comparaciones y resultados.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones, etapa final que muestra información concreta y precisa en función de los objetivos planteados en la tesis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Internacionales

Veloza, Molina y Mejía 2005, investigó: “Viabilidad de la extracción de carbones a cielo abierto: Caso Mina La Margarita”., la cual se ubica al NE del Municipio de Titiribí, presentando relieve ondulado con pendientes moderadas, aflorando rocas sedimentarias, cubiertos por Depósitos Coluviales. Geoestructuralmente se ubica en la Formación Amaga, perteneciente al miembro medio de la Cuenca Carbonífera de Antioquia, conformado por abundantes mantos de carbón económicamente explotables, en el flanco oriental del sinclinal. El Corcovado con $Rb = N30^{\circ}W$ y $Bz = 30^{\circ} - 45^{\circ}$ al W, siendo afectado por la falla. La Mica ubicado en el eje del sinclinal, ocasionando un fallamiento por gravedad al plegamiento. Obtuvo parámetros geotécnicos como: $\sigma_{ci} = 50$ a 100 MPa., rugosidad suave y superficies con humedad; clasificándole como roca muy desfavorable con puntaje de 29, categorizándolo como roca de muy mala calidad y RMR de clase IV.

Lozano, Ochoa y Camacho 2012, realizó: “Estudio geomecánico para el diseño minero a cielo abierto del yacimiento de carbón en Rondón Boyacá”. La empresa Carbones de Los Andes S.A., se encuentra ubicado entre las Veredas Granada y Sucre (sector Picaderas), conformando un área de explotación de 300 Ha, con profundidad aproximada de 80 m., significando 68 000 000 millones de m^3 de material estéril para obtener 11,000,000 millones de toneladas de carbón y estimando una producción de carbón de 700 000 TM/año. Litológicamente está conformado por secuencias de lodolitas, limolitas, arcillolitas y capas de arenisca.

2.1.2 Nacionales

Pantoja (2013), realizó la tesis: “El método de explotación tajo abierto y la productividad en Castrovirreyna Compañía Minera – U.P. San Genaro”. Esta empresa productora de concentrados de plomo, plata y zinc, se encuentra sus operaciones en el distrito de Santa Rosa al Norte de la Laguna Orcococha, provincia de Castrovirreyna, departamento de Huancavelica. La geología del yacimiento está conformada por: derrames lávicos intercalados con rocas piroclásticas, domos andesíticos, chimeneas volcánicas y cuerpos intrusivos, en forma de stocks y diques. Definiendo parámetros geotécnicos de diseño de explotación: ancho de rampa = 6 m. a 12 m., rampa = 12%, ancho de berma = 4 m., altura de banco = 5 m. a 10 m., ancho mínimo de berma = 4 m., altura de banqueteta = 0.80 m. a 1.20 m., ancho de banqueteta = 2 m. a 2.80 m. Tajo Sur = 60° y Tajo Norte = 80°; obteniendo con estos parámetros factores de seguridad pseudoestático como mínimo 1.30 y estático 1.60, para el diseño de talud final de operaciones a tajo abierto.

2.1.3 Locales

Montoya (2018), realizó el: “Expediente técnico del proyecto minero No Metálico – Agustín De La Cruz Vásquez”. El Proyecto minero se ubica en la concesión minera no metálica “CARMENCITA 2006 I”, ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Bambamarca y caserío Frutillo Alto. La geología del proyecto minero indica que está conformado por calizas gris azuladas de la Formación Cajamarca con ley de pureza de CaCO_3 del 92%. Definiendo parámetros geomecánicos de la roca de buena calidad con RQD = 75%, RMR = 70 de calidad buena y clase II, conformado por tres familias de discontinuidades el macizo rocoso, definiendo el método de explotación por terrazas - cielo abierto, con parámetros geotécnicos: altura de banco = 1.20 m., ancho de banco = 2.40 m., quebradura = 0.33 m. y ángulo de talud = 75°.

Shahuindo (2015), realizó: “Plan de minado para inicio de actividades de explotación”. El proyecto minero Shahuindo está ubicado a 80 Km. al SE de la ciudad de Cajamarca y 15 Km. al W de la ciudad de Cajabamba. El proyecto minero

contiene reservas de 1.02 millones de onzas de oro y 11.56 millones de onzas de plata en 37.85 millones de toneladas de óxidos y mineral mixto. La geología local muestra que está emplazado en la Formación Chimú – anticlinal Algamarca, conformado por paquetes de areniscas estratificadas silicificadas que fueron plegadas y falladas en el Cenozoico en varias fases tectónicas siendo sus ejes principales de orientación NW-NE. Los parámetros utilizados para el diseño de explotación son: ancho de rampa = 25 m., pendiente de rampa = 10%, ángulo de cara de banco = 63°, altura de banco = 8 m., ancho de berma = 6.95 m. y ángulo de interrampa = 36°, validando esta información de diseño por modelos numéricos de estabilidad con factores de seguridad desde 1.30 a 1.90, utilizando el tipo de falla circular

Wilson (1984), elaboró el Boletín N° 31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Chota. Enfoca el contexto geológico regional escala 1/100,000 en los aspectos de la estratigrafía, geología estructural, tectónica y plutonismo, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en la región de Cajamarca, Hoja 14-f, para interpretaciones, análisis y ubicación de las formaciones geológicas, siendo de gran apoyo para geología local.

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2019), realizó “Norma técnica: E.30 Diseño sismorresistente”. Reglamento nacional de edificaciones comprendidas en los avances científicos en el campo de la sismología, afín de disminuir la vulnerabilidad de edificaciones, para así evitar las pérdidas de vidas humanas. Basada en la distribución espacial caracterizada por movimientos sísmicos y atenuación de estos con la distancia epicentral.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Criterios de clasificación de macizos rocosos

Las clasificaciones de los macizos rocosos se basan en factores que determinan el comportamiento geomecánico como: propiedades de la matriz rocosa, frecuencia y tipo de las discontinuidades, que definen: grado de fracturación, tamaño y forma de los bloques del macizo. Sin embargo, la mayoría

de estos se basa en observaciones: cualitativas y cuantitativas, por ello se hace muy importante las interpretaciones correctas, mediante las observaciones de campo, clasificándolos en tres criterios empíricos: RQD, RMR y GSI (Osinermin, 2017).

- **Índice de calidad de roca**

Desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso basándose, en mediciones de discontinuidades o juntas, expuestas en la superficie del macizo rocoso en relación con un metro lineal.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1) \quad \text{Ecuación. 1}$$

Donde: λ = Numero de discontinuidades/ Longitud

En el cuadro 2.1 se muestra los intervalos del RQD, y la calidad de la roca

Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD).

RQD (%)	Calidad de roca
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: González de Vallejo, 2004.

- **Valoración de la masa rocosa**

El RMR, fue introducido por Bieniawski (1976), formulándose hasta la actualidad la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensando para valorar la estabilidad y soportes requeridos en túneles, resultando ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, teniendo en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso (Guzmán et al., 2016):

- ❖ Resistencia de la matriz rocosa
- ❖ RQD
- ❖ Espaciado de discontinuidades
- ❖ Estado de las discontinuidades, que incluye:
 - Longitud de la discontinuidad
 - Apertura
 - Rugosidad
 - Relleno
 - Alteración
- ❖ Flujo de agua freática

Cuadro 2.2. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR_{89} .

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 – 81	> 4 Kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80 – 61	3 - 4 Kg/cm ²	35° - 45°
III	Media	60 – 41	2 - 3 Kg/cm ²	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 Kg/cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm ²	< 15°

Fuente: González de Vallejo, 2004.

- ***Índice geológico de resistencia (GSI)***

El GSI, fue desarrollada por Hoek y Brown (1997) sistema utilizado para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo rocoso a nivel de estructura y condiciones de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta la alteración que sufren las rocas, la unión que existen entre ellas, que vienen dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie se tiene en cuenta si esta alterada por erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente (Guzmán et al., 2016).

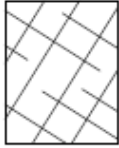



ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA (Geological strength index) A partir de la clasificación, correspondiente en este ábaco obtener el valor medio del índice GSI.		CONDICION DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar.	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, 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.
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin rellenos.	80 70				
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formando por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60 50			
	BLOQUES 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 formando bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

Figura 2.1. Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown, 1997).

Fuente: González de Vallejo, 2004.

Cuadro 2.3. Clasificación geomecánica RMR₈₉.

1	Resistencia de la Matriz Rocosa (MPa)	Ensayo de Carga Puntual	>10	10-4.	4-2.	2-1.	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión Simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< -1
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2		RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25 %		
		Puntuación	20	17	13	6	3		
3		Separación entre diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	< 0.06m		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	> 20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	> 5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy gruesa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5mm	Relleno duro > 5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/ Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Lig. húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Fuente: González de Vallejo, 2004.

Cuadro 2.4. Índice geológico de resistencia (GSI).

Calidad del macizo	Tipo	GSI
Muy mala	V	0-20
Mala	IV	21-40
Regular	III	41-60
Buena	II	61-80
Muy buena	I	81-100

Fuente: Hoek, 2002.

2.2.2 Criterios de resistencia de Hoek-Brown para masas de rocas fracturadas

- ***Criterio generalizado de resistencia Hoek-Brown***

El criterio de Hoek-Brown comenzó a partir de las propiedades de la roca intacta y luego introdujo factores para reducir estas propiedades basadas en las características de las juntas de la masa de roca. Buscando la vinculación el criterio empírico a las observaciones geológicas por medio de uno de los esquemas de clasificación de masa de roca disponibles y, para este fin, eligieron la clasificación de masa de roca propuesta por Bieniawski (1976).

En consecuencia, se hizo necesario reexaminar estas relaciones e introducir nuevos elementos de vez en cuando para explicar la amplia gama de problemas prácticos a los que se aplicaba el criterio (Hoek et al., 2002). Las típicas mejoras fueron la introducción de la idea de las masas de roca "no perturbadas" y "perturbadas" Hoek y Brown (1988), y de un criterio modificado para forzar la resistencia a la tracción de la masa de roca a cero para las masas de roca de muy mala calidad (Hoek et al., 1992).

Además de los cambios en las ecuaciones, también se reconoció que la clasificación de la masa rocosa de Bieniawski ya no era adecuada como vehículo para relacionar el criterio de rotura con las observaciones geológicas en el campo, particularmente para masas rocosas muy débiles. Esto dio lugar a la introducción del Índice de resistencia geológica (GSI) por Hoek et al. (1992), Hoek (1994) y Hoek, Kaiser y Bawden (1995). Este índice se extendió posteriormente a las masas

de roca débil en una serie de documentos de Hoek et al. (1998), Marinos y Hoek (2000, 2001) y Hoek y Marinos (2000).

El criterio generalizado de resistencia de Hoek-Brown se expresa en términos tensionales principales: mayores y menores, que modifica al método empírico a la siguiente manera:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \times \left(m_b \times \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad \text{Ecuación. 2}$$

Donde m_b es un valor reducido de la constante del material m_i para la roca intacta y está dado por:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad \text{Ecuación. 3}$$

s y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \quad \text{Ecuación. 4}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad \text{Ecuación. 5}$$

D es un factor que depende del grado de perturbación al que la masa rocosa ha sido sometida por daños por voladura y relajación de tensiones. Varía desde 0 para masas de roca in situ no perturbadas hasta 1 para masas de roca muy perturbadas;

- **Mohr-Coulomb**

El análisis de la estabilidad del talud según Hoek-Brown (2002) implica la evaluación de la resistencia al corte de la masa rocosa en la superficie de deslizamiento expresada por el criterio de falla de Mohr-Coulomb. Por lo tanto, es necesario determinar los ángulos de fricción y las fuerzas de cohesión que son

equivalentes entre los criterios de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb. Estas resistencias son necesarias para cada masa de roca y rango de tensión a lo largo de la superficie deslizante. Esto se hace ajustando una relación lineal promedio a la curva generada al resolver la ecuación 1 para un rango de valores de tensión principal menor definidos por $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3max}$, como se ilustra en la Figura 2.2. El proceso de ajuste consiste en equilibrar las áreas por encima y por debajo de la superficie de Mohr – Coulomb (Wyllie y Mah, 2004).

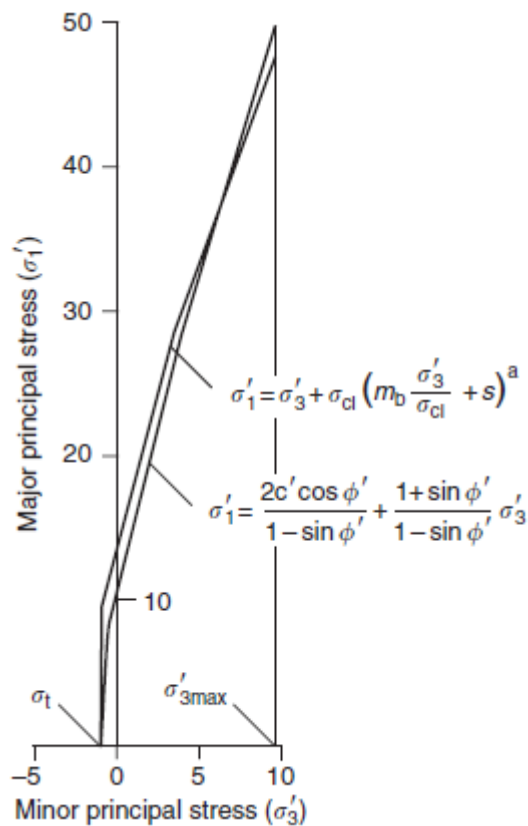


Figura 2.2. Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Hoek-Brown y el equivalente de Mohr-Coulomb.

Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

$$\phi' = \text{sen}^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad \text{Ecuación. 6}$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{\left[(1+a)(2+a) \times \sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}} \right]} \quad \text{Ecuación. 7}$$

Dónde: c' es la cohesión, en efectivas. Es una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada, ϕ' es el ángulo de rozamiento interno y τ es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura (Wyllie y Mah, 2004).

$$\tau = c' + \sigma_n \tan \phi' \quad \text{Ecuación. 8}$$

- **Determinación de σ'_{3max}**

La determinación del valor apropiado de σ'_{3max} a ser utilizado en las ecuaciones 5 y 6 dependerá de cada situación específica. Para el caso de taludes, el factor de seguridad calculado, la forma y ubicación de la superficie de rotura son equivalentes. Se han llevado a cabo estudios de estabilidad de los taludes en roca que utilizan el análisis circular de falla de Bishop para un amplio rango de geometrías de taludes y propiedades de masa de roca tanto para los criterios de Mohr-Coulomb y el criterio Generalizado de Hoek-Brown para encontrar el valor de σ'_{3max} da curvas características equivalentes (Wyllie y Mah, 2004).

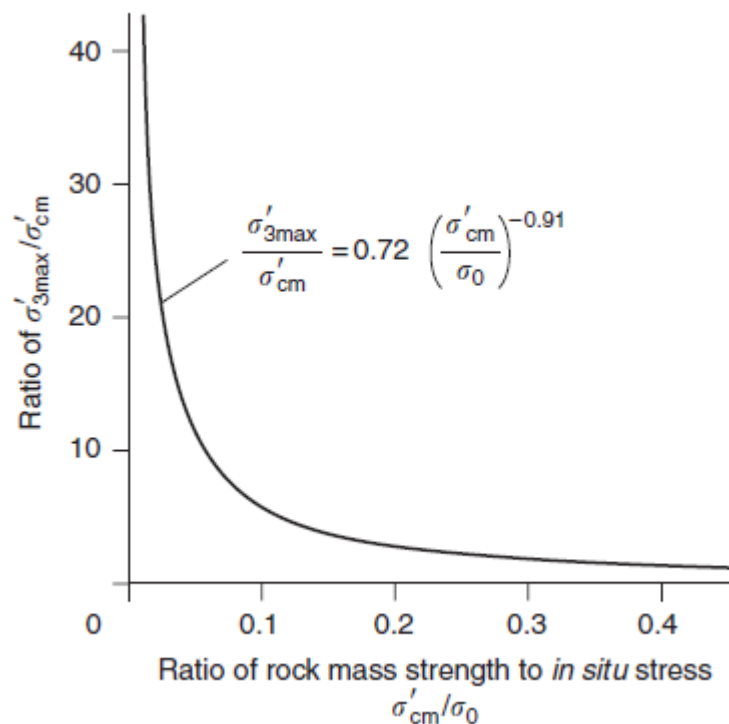


Figura 2.3. Relación para el cálculo de σ'_{3max} para los parámetros equivalentes de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown para taludes.

Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

- **Estimación del factor de disturbación D**

Para el diseño de taludes en grandes minas a tajo abierto ha demostrado que el criterio de Hoek-Brown para macizos rocosos in situ no perturbados ($D = 0$) da como resultado parámetros de resistencia del macizo rocosos considerados optimistas (Pierce et al., 2001; Sjöberg et al., 2001). Los efectos de los intensos daños de la voladura, así como la relación esfuerzos debido a la a la retirada del estéril recubrimiento, provocan una alteración del macizo rocoso (Hoek y Brown, 1988). Para estos macizos rocosos es más apropiado considerar propiedades "perturbada" del macizo es decir $D = 1$ en las ecuaciones 1 y 2 son más apropiadas para los macizos rocosos. A partir de estas referencias, está claro que una gran cantidad de factores pueden influir en el grado de disturbación del macizo rocoso que rodea una excavación, y que tal vez nunca sea posible cuantificar estos factores de manera precisa. Sin embargo, basándose en la experiencia y en el análisis de los detalles recogidos en estos documentos, Hoek et al. (2002) han elaborado un conjunto de pautas para estimar el factor D .

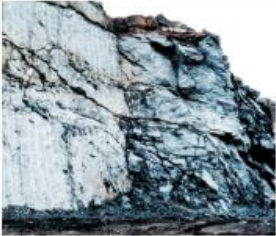

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

Figura 2.4. Directrices para estimar el factor de disturbación D - criterio de rotura.
Fuente: Hoek et al., 2002.

2.2.3 Resistencia al corte de los planos de discontinuidad

- **Criterio de Barton y Choubey**

Se trata de un criterio empírico, deducido a partir del análisis del comportamiento de las discontinuidades en ensayos de laboratorio, que permite estimar la resistencia al corte de discontinuidades rugosas. Se expresa de la siguiente forma (González de Vallejo, 2004):

$$\tau = \sigma_n \cdot \text{tg} \left[\phi_b + JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad \text{Ecuación. 9}$$

Donde:

T : Esfuerzo tangencial

σ_n : Esfuerzo normal

JRC : Coeficiente de rugosidad de la junta.

JCS : Resistencia a la compresión simple de los labios de la discontinuidad.

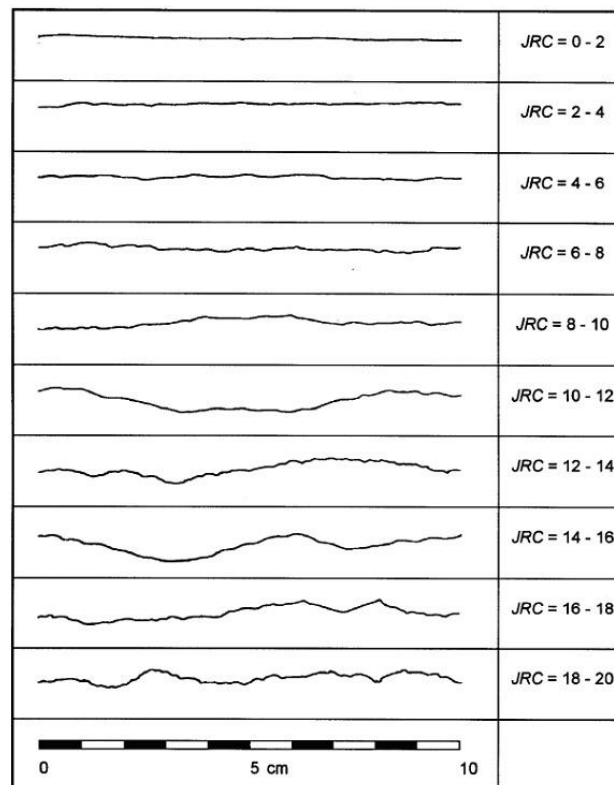


Figura 2.5. Perfiles para estimar el índice de rugosidad de una junta o JRC.
Fuente: Barton y Choubey, 1977.

2.2.4 Diseño de explotaciones a cielo abierto

El correcto diseño de una mina a cielo abierto se tiene que haber cubierto en la etapa de investigación geológica, fruto del cual se obtendrá el modelo de yacimiento con todas sus características litológicas y estructurales, que permitan optimizar la geometría del tajo final y establecer la planificación de: labores, control y precisión de la calidad de minerales y la suma de la rentabilidad del negocio. Teniendo en cuenta cuatro grupos de parámetros: geométricos, geotécnicos, operativos y medioambientales. Conformando los parámetros geométricos que configuran el diseño de una mina de explotación a cielo abierto, son: altura de banco, ancho de berma, ancho de rampa, quebradura, ángulo de cara de banco, ángulo de interrampa, ángulo global, altura total de tajo (Hustrulid et al., 2013), como se demuestra en la Figura 2.6.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Coefficiente de seguridad: Se define como el coeficiente por el cual debe reducirse la resistencia al corte del terreno para que un talud, excavación, cimentación, etc., alcance el estado de equilibrio limite (Morgenstern y Price, 1965).

Criterio de rotura: Modelo numérico o teórico que limita las regiones de comportamiento elástico y no elástico de un material (Gavilanes y Andrade, 2004).

Dominio estructural: Es la masa de roca delimitada por discontinuidades geológicas, dentro de la cual la estructura es prácticamente homogénea (Gavilanes y Andrade, 2004).

Estabilidad: Se aplica al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad (González de Vallejo, 2004).

Litología: Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas. Se podría considerar como un sinónimo de petrología (Dávila, 2011).

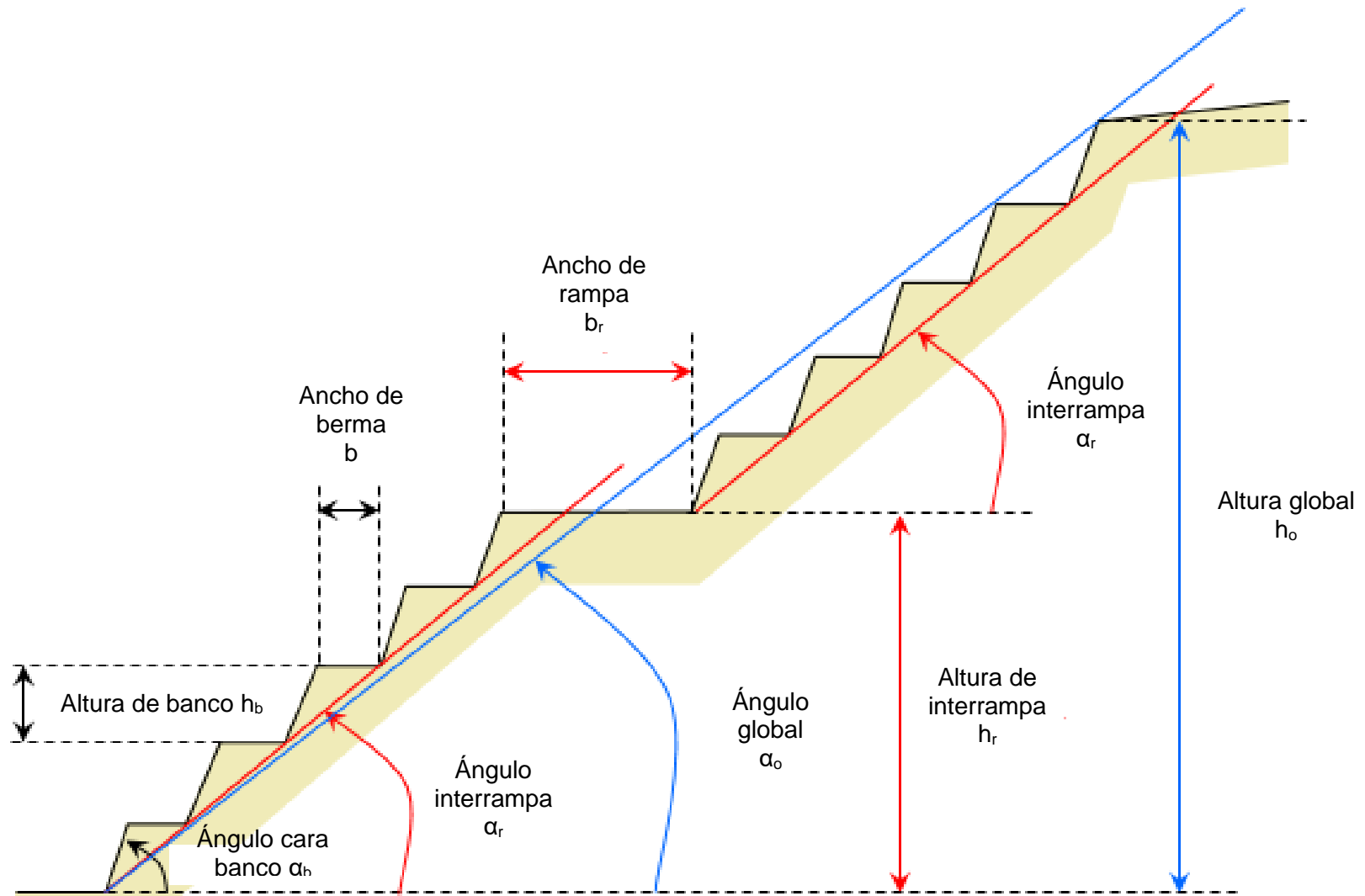


Figura 2.6. Parámetros geométricos de diseño de tajos.
Fuente: Hustrulid et al., 2013.

Macizo rocoso: Es el conjunto de material de roca insitu y sus discontinuidades. La presencia de discontinuidades de diverso tipo confiere al macizo un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidades de los cuales dependen el comportamiento geomecánico e hidráulico del mismo (GEMMA, 2007).

Método minero: Es un proceso iterativo tanto del punto de vista temporal como espacial, que permite llevar a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas, procesos y maquinarias que operan de forma: ordenada, repetitiva y rutinaria (Herrera, 2006).

Modelo geológico: Consiste en la recopilación de información geológica existente sobre la zona de estudio, para proporcionar información más detallada, necesaria para el diseño de la mina (Ramírez et al., 2008).

Resistencia pico: Resistencia máxima, resistencia intacta. Valor máximo de resistencia al esfuerzo cortante o de compresión que presenta un material cuando es sometido a un ensayo de resistencia (GEMMA, 2007).

Rampas: Se utiliza exclusivamente como acceso a los tajos de las maquinarias que realizan el arranque y su servicio esporádico (Hustrulid et al., 2013).

Talud: Masa de tierra no plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente (Suarez, 2009).

Precipitación Pluvial: Caídas de agua de la atmosfera por el cambio de temperatura, en forma de lluvia, nieve o granizo. (Dávila, 2011).

Métodos numéricos: Es realizado típicamente mediante el análisis de esfuerzos alrededor de las excavaciones subterráneas, esto se puede realizar identificando las zonas de daño alrededor de las excavaciones (Osinergmin, 2017).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

Se encuentra localizado en el lugar: Chilifruta, centro poblado: Apan Bajo, distrito: Bambamarca, provincia: Hualgayoc y departamento: Cajamarca; ubicada en el lugar denominado Chilifruta II, geográficamente localizado en los andes occidentales del Perú. Hidrográficamente delimitada por la microcuenca del río Arascorgue, figurando como representante legal de la empresa Cal plus E.I.R.L., al sr. Nilson Esmael Medina Soto, para desarrollar actividades mineras No Metálicas.

Departamento	: Cajamarca
Provincia	: Hualgayoc
Distrito	: Bambamarca
Centro Poblado	: Apan Bajo
Lugar	: Chilifruta

Se ubica en el petitorio minero Colquirrumi N° 49-C (Cuadro 3.1), presentando las siguientes coordenadas:

Cuadro 3.1. Coordenadas del petitorio Colquirrumi N° 49-C.

Nombre del minero	ÁREA DE CONCESION MINERA COLQUIRRUMI N° 49-C			
	SISTEMA UTM DATUM WGS-84 ZONA 17S			
	Vértice	Este	Norte	Área (Ha.)
Colquirrumi N° 49-C	1	770129.87	9255702.71	25.00
	2	770057.06	9254705.37	
	3	769807.73	9254723.57	
	4	769880.54	9255720.90	

El terreno superficial de la Empresa Cal Plus E.I.R.L. 1.60 Ha. (Cuadro 3.2) comprende el Cuadrángulo de Chota (14-f), con coordenadas: SISTEMA UTM DATUM WGS-84 ZONA 17S; políticamente se encuentra ubicada en:

Cuadro 3.2. Coordenadas del terreno superficial.

Nombre del minero informal	PRIMERA ÁREA DE TERRENO SUPERFICIAL			
	SISTEMA UTM DATUM WGS-84 ZONA 17S			
	Vértice	Este	Norte	Área (Ha.)
CAL PLUS E.I.R.L.	1	769864.4743	9255534.5147	1.60
	2	769868.4653	9255531.8252	
	3	769873.5941	9255527.8260	
	4	769880.4710	9255521.9473	
	5	769888.3457	9255512.4493	
	6	769898.8507	9255500.6318	
	7	769902.4789	9255496.6227	
	8	769907.8468	9255490.7440	
	9	769912.5963	9255486.7448	
	10	769916.7275	9255483.6255	
	11	769921.8481	9255477.6167	
	12	769929.2280	9255468.1188	
	13	769933.4745	9255460.7404	
	14	769935.3546	9255456.1814	
	15	769936.1048	9255452.8021	
	16	769937.8529	9255449.0428	
	17	769940.4751	9255442.5443	
	18	769943.1055	9255437.4154	
	19	769945.7276	9255432.1665	
	20	769947.1046	9255427.9174	
	21	769949.1083	9255420.8490	
	22	769950.7328	9255412.9707	
	23	769952.1180	9255407.7917	
	24	769901.8352	9255323.9800	
	25	769826.6341	9255341.1765	
	26	769827.2196	9255346.5653	
	27	769828.3410	9255354.0737	
	28	769829.7180	9255361.3321	
	29	769831.0869	9255368.7005	
	30	769832.2165	9255379.0183	
	31	769832.7196	9255385.0170	
	32	769833.6019	9255392.7753	
	33	769834.5997	9255400.0237	
	34	769836.2159	9255409.7816	
	35	769838.5989	9255419.8494	
	36	769841.3448	9255428.3476	
	37	769843.5959	9255436.4758	
	38	769846.2180	9255446.3537	
	39	769850.3491	9255458.0511	
	40	769852.2292	9255463.4300	
	41	769854.2247	9255469.6786	
	42	769855.3461	9255475.1774	
	43	769855.7254	9255479.3066	
	44	769856.4758	9255484.6854	
	45	769857.5972	9255490.8040	
	46	769858.4796	9255498.6224	
	47	769860.1040	9255509.8900	
	48	769861.2254	9255517.6383	
	49	769862.2314	9255525.7665	

El área efectiva es 13,018.53 m².; constituyendo la poligonal cerrada desde el vértice 1 - 25 delimitados por sus coordenadas en el sistema: SISTEMA UTM DATUM WGS-84 ZONA 17S, mostrándose a continuación:

Cuadro 3.3. Coordenadas del área efectiva.

Nombre del minero informal	PRIMERA ÁREA TERRENO SUPERFICIAL EFECTIVA				Producción (TM/día de roca)	Producción (TM/día de cal viva)
	SISTEMA UTM DATUM WGS-84 ZONA 17S					
	Vértice	Este (m.)	Norte (m.)	Área (m ² .)		
CAL PLUS E.I.R.L.	1	769866.8177	9255532.9355	13,018.53	25	20
	2	769868.4653	9255531.8252			
	3	769873.5941	9255527.8260			
	4	769880.4710	9255521.9473			
	5	769888.3457	9255512.4493			
	6	769898.8507	9255500.6318			
	7	769902.4789	9255496.6227			
	8	769907.8468	9255490.7440			
	9	769912.5963	9255486.7448			
	10	769916.7275	9255483.6255			
	11	769921.8481	9255477.6167			
	12	769929.2280	9255468.1188			
	13	769933.4745	9255460.7404			
	14	769935.3546	9255456.1814			
	15	769936.1048	9255452.8021			
	16	769937.8529	9255449.0428			
	17	769940.4751	9255442.5443			
	18	769943.1055	9255437.4154			
	19	769945.7276	9255432.1665			
	20	769947.1046	9255427.9174			
	21	769949.1083	9255420.8490			
	22	769950.7328	9255412.9707			
	23	769952.1180	9255407.7907			
	24	769901.8352	9255323.9800			
	25	769852.3884	9255335.2872			

3.2 ACCESIBILIDAD

El punto de inicio al área de estudio se realizó desde la ciudad de Cajamarca, tomando el Jr. Angamos con la dirección NW (salida de combis); luego se toma la dirección NW siguiendo la misma carretera pavimentada, hasta cierto tramo; cambiando bruscamente a carretera afirmada en regulares condiciones,



Figura 3.1. Ingreso del centro poblado Apan Bajo a la Empresa Cal Plus E.I.R.L.
Fuente: Google Earth Pro, 2020.

llegando a la escuela de Apan Bajo (carretera a Bambamarca) y finalmente con rumbo SE a la zona de estudio de lugar Chilifruta.



Figura 3.2. Ruta de acceso al centro poblado de Apan Bajo – Bambamarca.
Fuente: Google Maps, 2018.

Cuadro 3.4. Acceso a Chilifruta - Operaciones mineras.

Tramo		Estado de Vía	Vía	Transporte	Recorrido	
De	A				Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Cajamarca	Grifo Continental	Regular	Terrestre	Auto	1.50	00:10
Grifo Continental	Apan Bajo	Regular	Terrestre	Auto	80.00	02:30
Apan Bajo	Chilifruta	Mala	Terrestre	Camioneta	4.00	00:30

3.3 CLIMA Y METEOROLOGÍA

El proyecto presenta un clima templado a frío, con temperaturas promedio mínima y máxima que varían durante todo el año; presentando una variación en cuanto a la temperatura mínima que varía de 7 y 13°C en las partes más altas del río Arascorgue, presentando un enfriamiento durante las noches claras y por la consecuencia de heladas y mientras que sus temperaturas máximas fluctúan entre los 13 y 21°C en Bambamarca. La estación meteorológica del SENAMHI, tipo: convencional-meteorológica, ubicada en Bambamarca con código: 100015, Latitud: 6°40'35.58''S, Longitud: 78°31'06.01''W, Cota: 2495 msnm.; distrito: Bambamarca, provincia: Hualgayoc y departamento: Cajamarca (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>). Se presentan los Cuadros 3.5 y 3.6, corresponden a los años: 2021 y 2022.

Cuadro 3.5. Datos meteorológicos del año 2021.

Meses	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm/mes)	Humedad relativa (%)
Enero	21.46	6.72	31.6	85.84
Febrero	21.08	8.04	80.4	85.66
Marzo	20.17	7.70	163.90	86.21
Abril	21.32	10.81	75.90	84.55
Mayo	20.89	10.73	55.20	85.76
Junio	21.46	9.15	9.60	81.98
Julio	20.42	8.60	12.80	84.05
Agosto	21.81	6.92	0.60	70.79
Septiembre	21.94	9.24	8.60	72.86
Octubre	20.51	11.14	101.40	80.67
Noviembre	21.15	10.88	111.50	82.01
Diciembre	20.51	11.52	102.20	85.07

Fuente: SENAMHI, 2021.

Cuadro 3.6. Datos meteorológicos del año 2022.

Meses	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Precipitación (mm/mes)	Humedad relativa (%)
Enero	21.42	10.23	34.40	80.52
Febrero	21.78	11.49	19.50	81.49
Marzo	21.90	11.38	56.60	80.68

Fuente: SENAMHI, 2022.

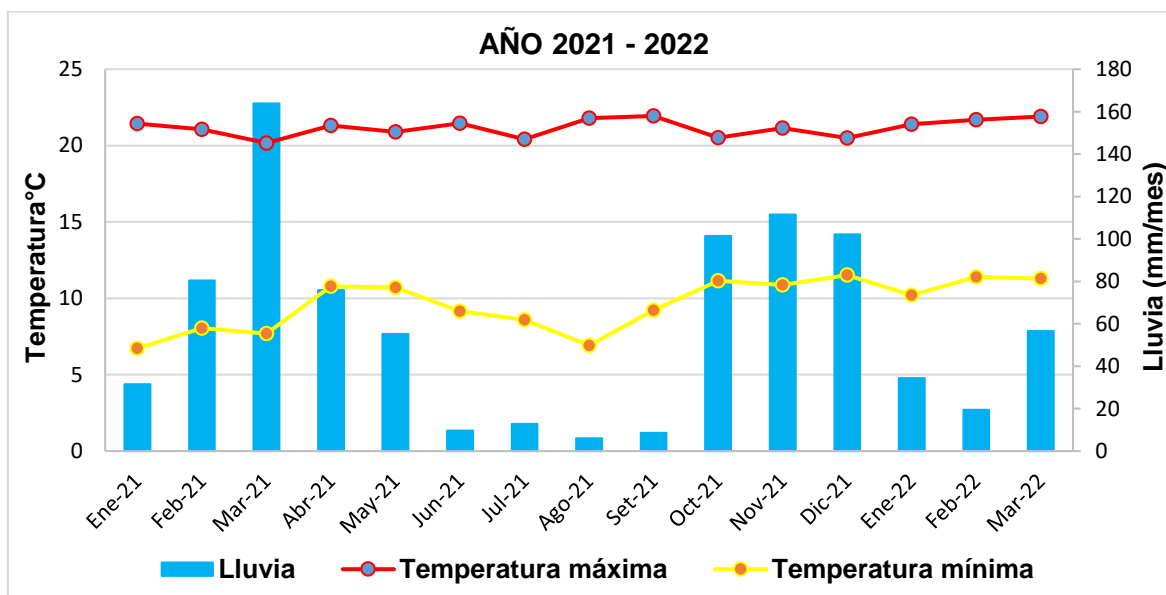


Figura 3.3. Diagrama estadístico meteorológico de Bambamarca. Fuente: SENAMHI, 2021 - 2022.

El siguiente cuadro meteorológico muestran las variaciones meteorológicas de las diferentes estaciones del año, observándose en algunos casos variaciones notorias y en otros casos casi similares. Concluyendo que las condiciones climáticas son muy variantes y afectan el procesamiento de: extracción y metalúrgico de las operaciones mineras.

3.4 VEGETACIÓN Y FAUNA

La vegetación existente es: herbácea (Cubierto de plantas silvestres presentando en muchos de los casos tallos flexibles), arbustos (Se evidencia en campo arbustos de bajo tamaño en la cual se ramifican desde la base del tallo, utilizados para leña) y arbórea (por presentar alturas mayores a 5 m.). Predominando Tayanco, Chilca, Penca Azul, cortadera, Cadillo, Zaramora, gualte

(*Stipa ichu*), Chancua, Cucharilla, Curafe, Vejuno, Lechiguilla, Trebol (Blanco y Amarillo), Eucaliptos (*Eucaliptus glóbulos*) y Pino (*Pinus*), (Parra y Marín, 2015).

Fauna silvestre local está constituida por: Lagartija (*Thecadactylus*), Tordos (*M. Bonariensis*), Palomas (*Dysmoropelia*), Serpiente andina (*Tachymenis peruviana*), Perdiz (*Nothura maculosa*) y Ratones orejón andino (*Phyllotis darwini*). Asimismo, es común la presencia de animales domésticos, destacando entre ellos los vacunos: Toro (*Bos taurus*), ovinos: Oveja (*Ovis aries*), caprinos, porcinos y cuyes (*Cavia porcellus*), (Gallina, 2015).

3.5 HIDROLOGÍA

Regionalmente las instalaciones de operaciones mineras se encuentran delimitadas por el río Arascorgue y quebrada El Tragadero. El río Arascorgue se encuentra ubicado al sur de las instalaciones mineras a una distancia de 900 m. del primer polígono de terreno superficial y la quebrada El Tragadero ubica al norte con referencia del segundo polígono a una distancia longitudinal de 320 m.

El río Arascorgue, se encuentra ubicado en una zona montañosa dentro de la Cordillera Occidental del centro poblado de Hualgayoc (naciente), en la microcuenca del río Arascorgue, con orientación SWW. Específicamente ubicado centro poblado La Tauna, con cotas que oscilan entre 3,200 msnm. hacia el SWW-NE (distrito de Hualgayoc como nacimiento) y los 3,700 msnm. (hacia el NEE, el centro poblado de Chulipampa), confluyendo estos dos efluentes; así formando el río del mismo nombre siguiendo la orientación SW-NE, en el centro poblado de Arascorgue confluyendo con la quebrada El Tragadero (Tiene como nacimiento en el centro poblado de Apan bajo 3,038 msnm. con orientación SWW-NEE en el centro poblado de Chilcapampa) en la cota 2,700 msnm. formando el río del mismo nombre con orientación W-E, a su vez formando aguas abajo el río Llaucan en la cota 2,600 msnm. con orientación NNE a Bambamarca; para formar aguas abajo el Río Crisnejas, siendo este último uno de los afluentes del río Marañón que nace en el suroeste del departamento de Huánuco en la Provincia de Lauricocha recorriendo aproximadamente 1,600 km., donde dicho río es un afluente principal del río

Amazonas que tiene una longitud de recorrido de 7,062 km. desembocando en el Océano Atlántico.

El cuerpo de agua hidrológico más cercano es el río Arascorgue (Río Arascorgue ubicado a una distancia de operaciones de 900 m.) recorre una dirección NE, comprendiendo su cauce una longitud 5.00 Km., desde una altura máxima aproximada de 3,200 msnm. (naciente) y confluyendo quebrada El Tragadero con orientación SWW-NEE, con longitud de 3.300 Km., confluyendo con el río del mismo nombre formando las aguas abajo el río Llaucan a una altura aproximada de 2,600 msnm., conformando estos dos efluentes el río Crisnejas con una longitud 25.00 Km., fundamente desembocando en el Océano Atlántico.

3.6 HIDROGEOLOGÍA

Hidrogeológicamente la Empresa “CAL PLUS E.I.R.L.” no presenta ninguna influencia de acuíferos o manantiales en toda el área de estudio, por lo tanto, no perjudica aguas subterráneas. El plano temático ubica a la cantera en un acuitardo sedimentario, compuesto geológicamente y litológicamente por potentes estratos de rocas calcáreas (Formación Cajamarca), no evidenciándose la influencia directa emanaciones o flujos de manantiales, que estén drenando agua en las instalaciones mineras; de tal manera no se está afectando aguas subterráneas e hidrológicas

3.7 GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente está constituida por la facie sedimentaria de la Cordillera Occidental Peruana, con unidades rocosas desde las edades: Mesozoicas (Jurásico Superior - Formación Chicama y Cretácio Inferior - Grupo Goyllarisquizga) hasta Cenozoicas (Compuesto por secuencias volcánicas del Paleógeno - Grupo Calipuy, Neógeno - Volcánico Tantahuatay y Cuaternario recientes - Holoceno) e intrusivos de granodiorita y subvolcánicos dacíticas y andesíticos, constituyendo la prolongación septentrional de la cordillerana de los cuerpos intrusivos al SW de Hualgayoc; ligados al tectonismo regional iniciado desde el Proterozoico hasta la actualidad. Los rasgos morfo-estructurales de deformaciones actuales han sido

iniciados en el Cretáceo Tardío y continúan durante el Cenozoico, correspondientes al Ciclo Andino. Estos movimientos deformacionales se intercalaron con periodos de estabilidad en donde se produjo la acumulación de sedimentos y superficies de erosión, para posteriormente producirse periodos volcánicos (Grupo Calipuy) y magmáticos (Intrusiones dacíticas). Al finalizar el ciclo sobrevino un periodo netamente erosivo glacial y posteriormente retrabajo fluvial, originado las características actuales (Wilson, 1984).

Reconociéndose cuatro unidades litoestratigráficas, desde: Cenomaniano – Aquitaniano, siendo cubiertos por depósitos cuaternarios con tendencia estratiforme y en otros casos muy heterogéneos y desordenados. Unidades litológicas:

3.7.1 Cretácico superior

- ***Grupo Pulluicana***

Aflora al W de la cantera a 2,000 m. de distancia, compuesta por rocas: Calizas, margas y lutitas; con espesor estratigráfica de 450 a 500 m. Identificada por presentar caliza arcillosa, grisácea, que intemperizadas presentan coloraciones crema a marrón claro, con secuencias de capas de espesor: 0.10 m. a 0.15 m. de calizas nodulares o irregularmente estratificadas, con intercalaciones de calizas margosas de coloración marrón y lutitas grisáceas a verdosas, así como algunas capas de limolitas y areniscas. Abundando especies fosilíferas de: Exogyras, turritelas y Bivalvos (Wilson, 1984).

- ***Grupo Quilquiñan Mujarrun***

El Grupo Quilquiñan predomina al W, con orientación litología NNW-SSE, conformando espesores 140 m. a 150 m., constituida por gruesa secuencia de calizas nodulares macizas (miembro choro), seguida de intercalaciones de margas y lutitas amarillentas con abundantes amonites, echinoidea y lamelibranquios; incluyendo a coquinas de Exogyras (miembro Culebra), indicando que se depositó en mar somero. Continúan delgados lechos de calizas packstone nodulares con

margosas pardo –amarillentas también fosilíferas (Formación Romiron). Finalmente, bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles (Formación Coñor). Evidenciándose en la litología abundantes amonites, echinoidea y lamelibranquios, incluyendo a coquinas de *Exogyra*, indican que la unidad se depositó en un mar somero. Resultando difícil reconocer los rasgos paleotectónicos regionales que controlaron la sedimentación a fines del Cenomaniano y comienzos del Turoniano (Wilson, 1984).



Figura 3.4. Formación Yumagual, ubicada en el flanco izquierdo de la carretera.
Ubicación: E = 766867.760 m., N = 9253894.260 m. y Cota = 3159 msnm.

- ***Formación Cajamarca***

Los constituyen la zona de mayor importancia calcárea, con orientación N-S, conformada por calizas mudstone azuladas de espesor estratigráfico: 300 m. a 500 m. careciendo su superficie de vegetación. Caracterizada por presentar estratificación homogénea y uniforme de espesor: 0.50 m a 1.50 m. formando en

algunos sectores farallones y geomorfologías kárstica. Observando su secuencia estratigráfica por el río Arascorgue.



Figura 3.5. Formación Cajamarca se ubicada en el distrito de Hualgayoc, flanco derecho de la carretera. Ubicación: E = 761803.800 m., N = 9249715.030 m. y Cota = 3889 msnm.

3.7.2 Neógeno mioceno

- ***Volcánico Tantahuatay***

Este compuesto por flujos piroclásticos con pómez, gris blanquecinos a amarillentos, rico en cristales y fragmentos líticos afaníticos y porfiríticos, con espesor aproximado de 150 m. Ubicándose en la zona S (Se ubica a 1,300 m. distancia de las operaciones, en el flanco derecho del río Arascorgue) y NE (Se ubica a 350 m. distancia de las operaciones), cubriendo en algunos casos a las formaciones del cretáceo superior.

3.8 GEOLOGÍA LOCAL

Las instalaciones de operaciones mineras, están emplazadas, sobre las lomadas de la Formación Cajamarca, sobre el flanco izquierdo del sinclinal asimétrico de orientación SW-NE. Morfológicamente se distinguen: Planicies y lomadas; con pendientes 0° a 14° moderadas relacionados a la tectónica (plegamientos, fallas y sobreescurremientos); presentando una edad Turoniana de 89.8 Ma. a 93.9 Ma. Sin embargo, las rocas calcáreas se encuentran cubiertas por Depósitos Aluviales de la época Holocénica, con espesores: 5.00 m. a 7.00 m., distribuidos generalmente por materiales finos de coloraciones rojizas a anaranjadas, siendo rellenadas en algunos casos las estructuras kársticas.



Figura 3.6. Tajo de explotación de roca caliza - Formación Cajamarca. Ubicación: E = 769892.827 m., N = 9255421.770 m. y Cota = 3292 msnm.

Actualmente la cantera de la empresa se ubica en una lomada con pendientes moderadas, sin embargo, por la extracción presenta taludes

escarpados que superan el 80° de pendiente, siendo inaccesible el tajo de explotación.

- ***Formación Cajamarca***

La cantera se encuentra emplazada en la Formación Cajamarca con orientación estratigráfica (Az/Bz): 60°/21° de basamento rocoso, correspondiendo a secuencias calcáreas del Cretácio Superior destacado por su: Topografía, homogeneidad, litología, estratos competentes (0.50 m. a 1.00 m.) y geomecánicamente por ser rocas de buena calidad (R5 a R6) formando bloques tabulares a cúbicos en el afloramiento rocoso del tajo; extrayéndose de manera continua para el proceso metalúrgico del óxido de calcio y sus derivados. Sin embargo, al N de la cantera se evidencia geomorfología kárstica expuesta por la explotación de la roca calcárea, observándose: Simas, dolinas, galerías y cavernas; siendo aprovechadas por la disolución de carbonatos formando: Estalactitas, estalagmitas y lenares; y recristalización de minerales: Aragonito y calcita. Alcanzando su máximo desarrollo en la orientación N - S, con espesores: 300 m. - 500 m; en la región de Bambamarca siendo aprovechada por la minería no metálica en estas áreas de la región.

3.9 GEOMORFOLOGÍA

La Empresa minera “CAL PLUS E.I.R.L.” está delimitada por el área: Explotación (Cantera) y beneficio (Planta metalúrgica e instalaciones de operación), siendo los componentes principales de esta empresa. Sin embargo, la morfogénesis actualmente cumple papeles importantes geomorfogénesis actual compuesta por: unidades mayores (Planicies, lomadas, laderas y escarpas) y estructuras kársticas. Sin embargo, la planta metalúrgica e instalaciones de operación, se ubican en planicies y lomadas, por superficie no rentable compuesta netamente por depósitos cuaternarios; por otro lado, la cantera se ubica en una lomada constituyendo el área prima de abasteciendo y desbroce de roca calcárea. A continuación, se describen las unidades morfogenéticas según la clasificación de Rodríguez, en sus tesis de maestría 2016.

3.9.1 Unidades geomorfológicas

- **Planicies**

La primera poligonal del terreno superficial está emplazada sobre esta unidad morfo-genética ocupando un área del proyecto minero de 2,255.21 m². con área porcentual de 17.32%; con pendientes oscilantes de 0° - 7°, predominando instalaciones como: Cantera, oficina, playa de estacionamiento, servicios higiénicos, caseta de guardianía, comedor, hospedaje, área de descanso, acopio de carbón, residuos sólidos, almacén de herramientas, almacén de sustancias peligrosas y la mitad del almacén de cal hidratada, con una orientación W.



Figura 3.7. Instalaciones del área de beneficio - empresa Cal Plus E.I.R.L., observando la planta metalúrgica, emplazada en la unidad geomorfológica - planicie. Ubicación: E = 769866.849 m., N = 9255532.829 m. y Cota = 3289 msnm.

- **Lomadas**

Presentan pendientes oscilantes de 7° - 14°, ocupan un área de 10,763.32 m². con un área porcentual de 82.68%. La primera poligonal predomina instalaciones como: cantera, horno 1 – 2, descarga de cal 1 – 2, molienda, zarandeo, almacén de cal, almacén de cal granulada, y la mitad del almacén de cal hidratada con una orientación N, S y E. Según su composición litológica la primera poligonal lo conforma depósitos cuaternarios sobre todo las instalaciones mineras procesamiento y roca caliza con orientación S de la Formación Cajamarca, pertenecientes al Cretácio Superior.



Figura 3.8. Cantera de extracción de roca caliza, emplazada en lomadas, conformado por paquetes de buen espesor de roca calcárea. Ubicación: E = 769904.171 m., N = 9255373.785 m. y Cota = 3291 msnm.

Cuadro 3.7. Unidades morfogénicas en las instalaciones mineras.

Áreas efectivas de beneficio	Planicie		Lomada	
	Área (m ² .)	Porcentaje (%)	Área (m ² .)	Porcentaje (%)
Poligonal	2,255.21	17.32	10,763.32	82.68

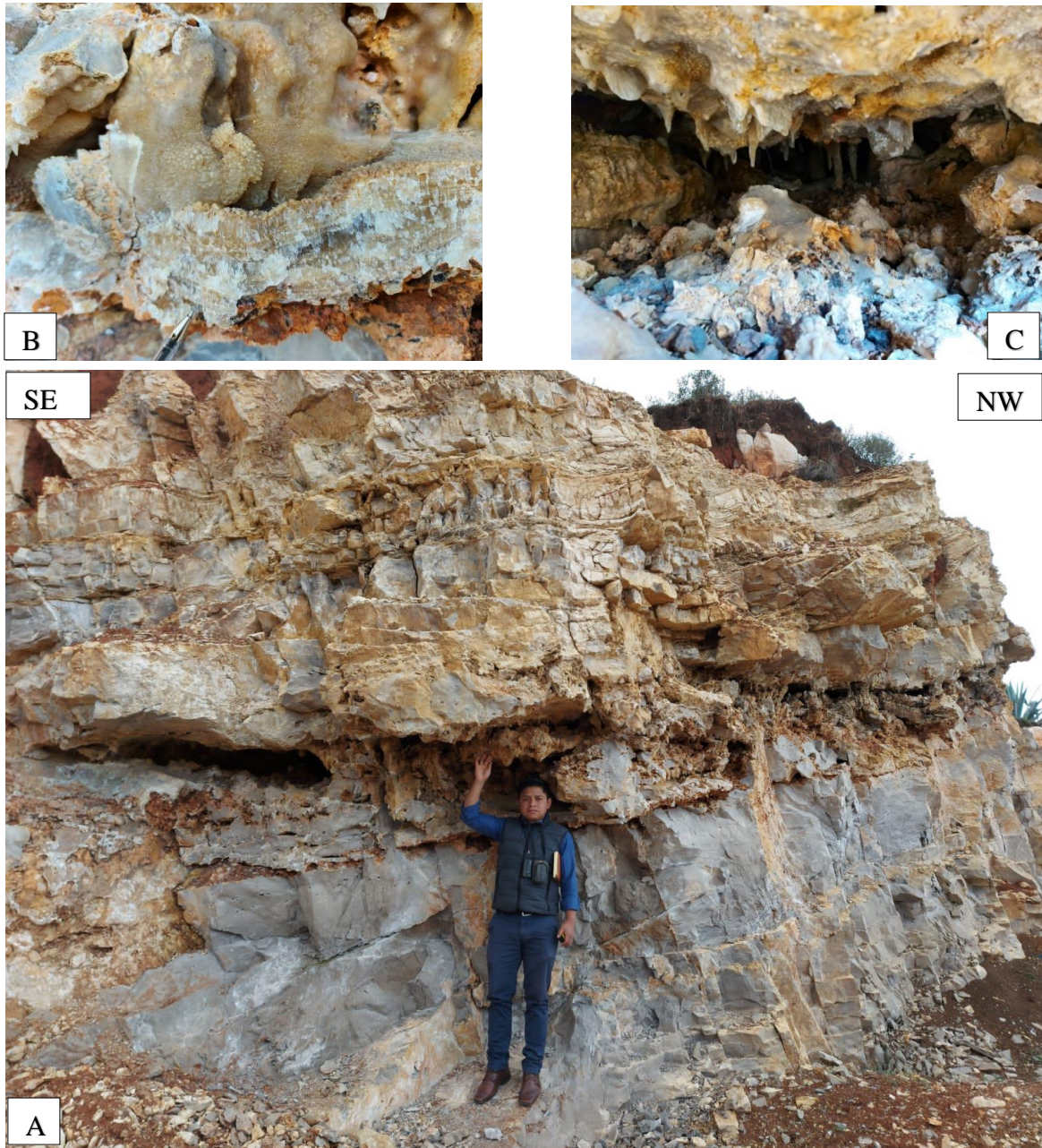


Figura 3.9. A. Zona Kárstica de espesor de 0.70 m a 0.90 m. paralelo a la orientación de los estratos calcáreos. B. Hábito concéntrico de aragonito y cristalización de minerales. C. Disolución de carbonatos formando pilares verticales en forma de estalagmitas y estalactitas. Ubicación: E = 769911.956 m., N = 9255410.411 m. y Cota = 3292 msnm.

Las instalaciones distribuidas de las operaciones mineras, están ubicadas de manera adecuada por la morfogenética que presenta y la incidencia sobre los componentes de la empresa como: Extracción, transporte, calcinación, molienda, envasado, pesado y comercialización; para evitar sobre costos al momento de mano de obra. Las unidades morfogenéticas caracterizadas presentar dos

unidades mayores: Planicies y lomadas (Rodríguez, 2016); y unidad menor como: la zona Kárstica, importante por la forma cavernosa originada por el agua fluvial siendo la más predominante en la zona Norte del yacimiento, por las secciones de corte del tajo, mostrando cavernas de diámetro entre: 0.70 m. a 0.90 m., originándose: estalactitas y estalagmitas, en algunos casos pilares verticales por la disolución de los carbonatos, acompañados de recristalización de minerales de aragonito y pirolusita, por consiguiente, el dueño de la empresa minera afirma y señala, que hay un accidente kárstico (sumidero) de alineamiento NNE-SSW de gran profundidad que supera los 10 m. y un ancho de 0.50 m. a 0.65 m., que ha sido rellenado con desmante, porque podría generar accidentes por la actividad minera.

3.10 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El cartografiado estructural se analizaron estructuras: mayores y menores, en el Tajo Esmael - Empresa Cal Plus E.I.R.L., ubicándose en el flanco izquierdo del sinclinal Apan Bajo de orientación NW-SE, siendo delimitado por el río Arascorgue. Los esfuerzos compresivos originaron plegamientos geológicos del basamento rocoso con orientación NW-SE, ocasionando acumulaciones tensionales en el Cretácico: Inferior y Superior, disipando los esfuerzos de las secuencias estratigráficas en fallas: inversas y normales regionales ubicados al SW del Tajo Esmael y originando fallamientos en la cantera de extracción de roca caliza de orientación NNW-SSE.

La Figura 3.10, se ubica en la zona Este del basamento calcáreo evidenciándose zona de deformación brechosa de espesor: 0.10 m. a 0.15 m., conformado por fragmentos de rocas calcáreas trituradas de diámetros: 2.5 cm., 4.5 cm. y 7.5 cm., con matriz cementante de material fino que engloba material brechoso.

La Figura 3.11, A. Se ubica en la zona Norte del tajo presenta un espejo de falla de longitud 10.30 m. y altura 6.20 m., evidenciándose en la parte inferior del plano de falla zonas miloníticas brechosas de espesor: 0.10 m. a 0.20 m., conformado por fragmentos de rocas calcáreas de 1 cm. a 5 cm., englobando a

este material brechoso harina de falla (gouge) de color amarillento a anaranjado, siendo un material muy deleznable al contacto, presentado en su superficie.



Figura 3.10. A. Afloramiento de roca caliza gris de la Formación Cajamarca. B. Brecha de falla de espesor de 0.10 m. a 0.15 m. C. Espejo de falla normal con superficie alterada, con orientando de estrias, canaladuras y slikensides, por el movimiento cinemático. Ubicación: E = 769907.988 m., N = 9255425.175 m. y Cota = 3293 msnm.

El cartografiado estructural muestra dos controles estructurales predominantes, siendo el más antiguo ubicado en la **zona este** del tajo conformado por material brechoso de diámetros: 2.5 cm., 4.5 cm. y 7.5 cm., siendo materiales muy angulosos, conformando espesores total de: 0.10 m. a 0.15 m. formados por inflexiones tipo pull-apart, definiéndose como falla principal. La falla joven se ubica en la **zona norte** del tajo presentando fragmentos calcáreos de 1 cm. a 5 cm., formando una brecha de trituración, englobado por harina de falla (gouge) de color amarillento a anaranjado. En ambos casos los movimientos cinemáticos definieron el movimiento estructural de los bloques de roca de la zona de estudio. La segunda

falla presenta un movimiento sinistral con $Az = 350^\circ$, $Bz = 81^\circ NE$ y $pitch = 29^\circ$; siendo ubicada en la parte inferior derecha de la Figura 3.11, siendo afectado por brecha de falla de espesor: 0.35 m. a 0.40 m. conformado por fragmentos de rocas angulosas de 3.5 cm. a 5 cm. y matriz cementante de carbonato de calcio, ubicándose en la parte inferior zonas de karstificación y recristalización de minerales de calcita en una zona de superficie de 2.50 m. de largo y 0.80 m de ancho.

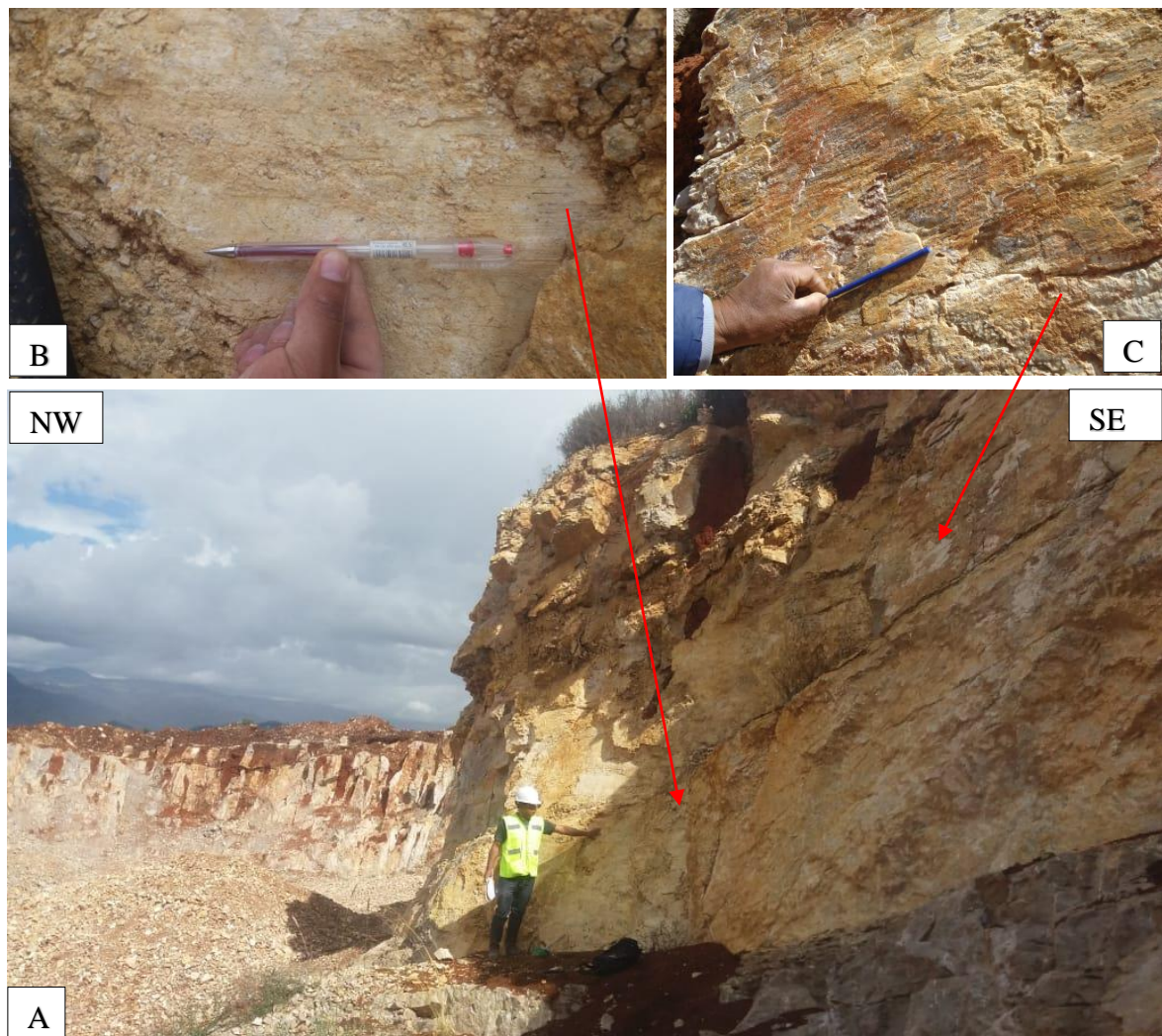


Figura 3.11. A. Plano de falla dextral. B. Brecha de falla sub-vertical con espesor de 0.10 m. a 0.20 m. C. Estrías de falla y slickensides con orientación $Az. = 330^\circ$, $Bz. = 69^\circ NE$ y $pitch = 28^\circ$. Ubicación: $E = 769912.110$ m., $N = 9255409.418$ m. y Cota = 3292 msnm.

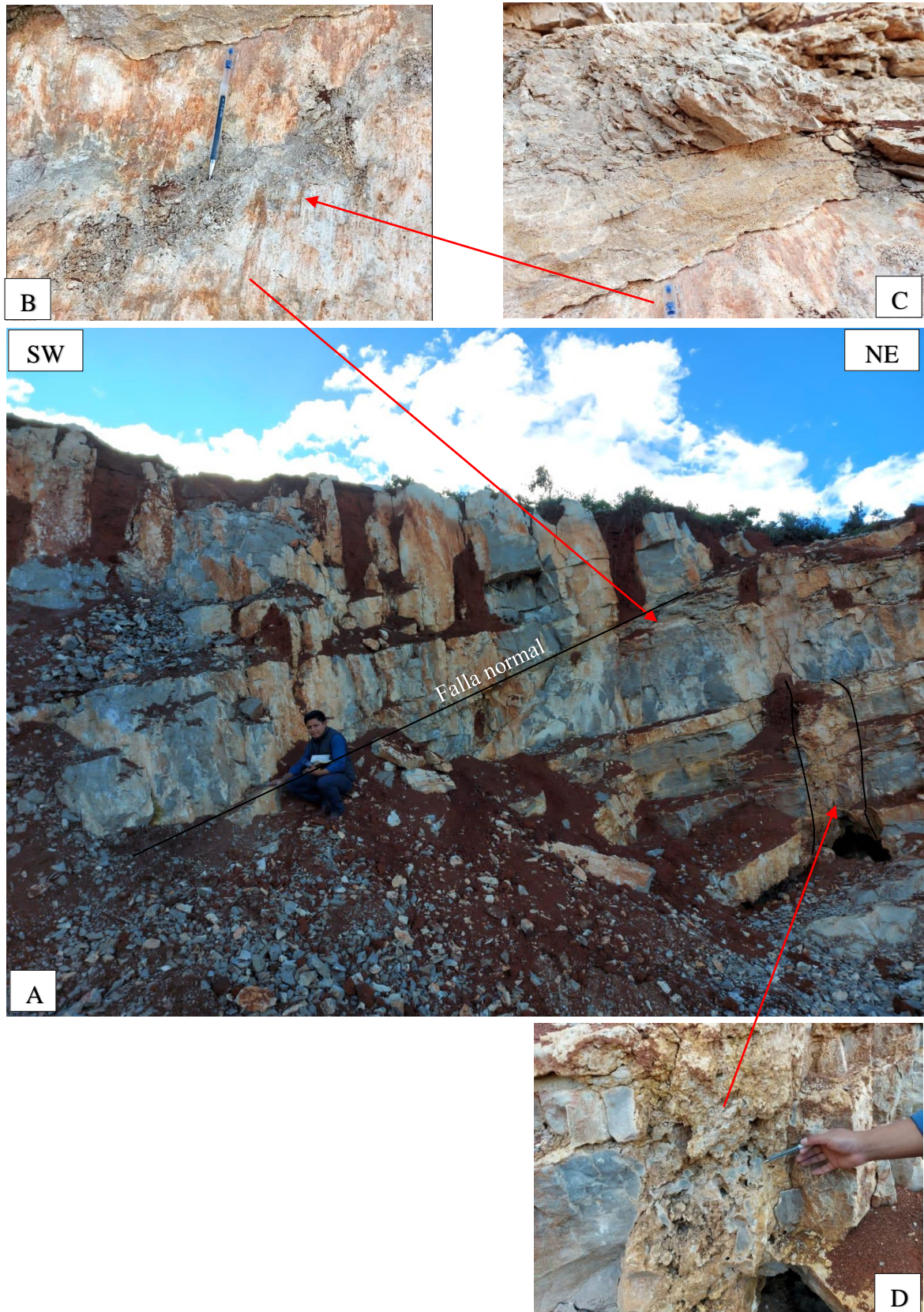


Figura 3.12. A. Afloramiento rocoso delimitado por falla: Normal. B. Estrías de falla, de movimiento cinemático del bloque techo. C. Zona de brecha de falla, compuesto por material triturado y limonita. D. Brecha de falla. Ubicación: E = 769922.437 m., N = 9255394.590 m. y Cota = 3293 msnm.

La Figura 3.12, Evidencia dos fallas geológicas: La primera definida por una falla normal, con plano de falla en la caja: techo y piso, de la brecha con espesor promedio de 0.25 m., observándose material traquelado junto al techo y piso material milonítico de color anaranjado de textura fina, siendo evaluado como zona de transición de brechamiento entre dos planos.

3.11 SISMICIDAD

El análisis sísmico en las instalaciones mineras fue definido por sísmica: Horizontal y vertical, relacionado con la calidad de roca en cada estación geotécnica de acuerdo con la Norma técnica E.30 sismorresistentes para perfil de roca dura, siendo de gran importancia para determinar el factor de seguridad en función de grado de fracturamiento de roca y la estabilidad del tajo de explotación de la cantera Esmael.

Cuadro 3.8. Coeficiente de aceleración espectral – Tajo Esmael.

Sísmica	Estación			
	E-1	E-2	E-3	E-4
Sh	0.141	0.211	0.281	0.178
Sv	0.375	0.563	0.750	0.474

3.12 GEOTÉCNIA

El tajo Esmael está definida por la condiciones de la roca siendo fundamental: calidad del macizo rocoso (RQD, RMR y GSI), propiedades y características de las discontinuidades (Morh-Coulomb, Hoek-Brown y Barton-Choubey), que precisarán el modelo geológico-geotécnico (modelo numérico: determinístico y probabilístico) del yacimiento minero de explotación, siendo precisadas en cuatro estaciones geotécnicas, distribuidas en el área de la roca caliza de explotación o abastecimiento de materia prima, para mejores avances en la obtención de escombros de rocas, desbroce y producción en la planta metalúrgica de la Empresa Cal Plus E.I.R.L.

3.12.1 Estación 1

Se ubica al W del Tajo de explotación, conformado por tres familias de discontinuidades, sin embargo, los estratos muestran espesores: 0.25 m. a 1.00 m. presentando superficies frescas en la cara libre, con bajo grado de fracturamiento, y recubrimiento de patinas de óxidos y arcillas de muy baja proporción sobre todo relacionado la estratificación, siendo predominante en esta familia. De acuerdo con el cartografiado geológico-geotécnico, se define como roca de buena calidad, en función de criterios empíricos y numéricos. Cinemáticamente se visualizó rupturas: planares y cuñas, con baja probabilidad de falla aplicando el software Dips, siendo un frente ideo para la extracción de roca y estabilización.

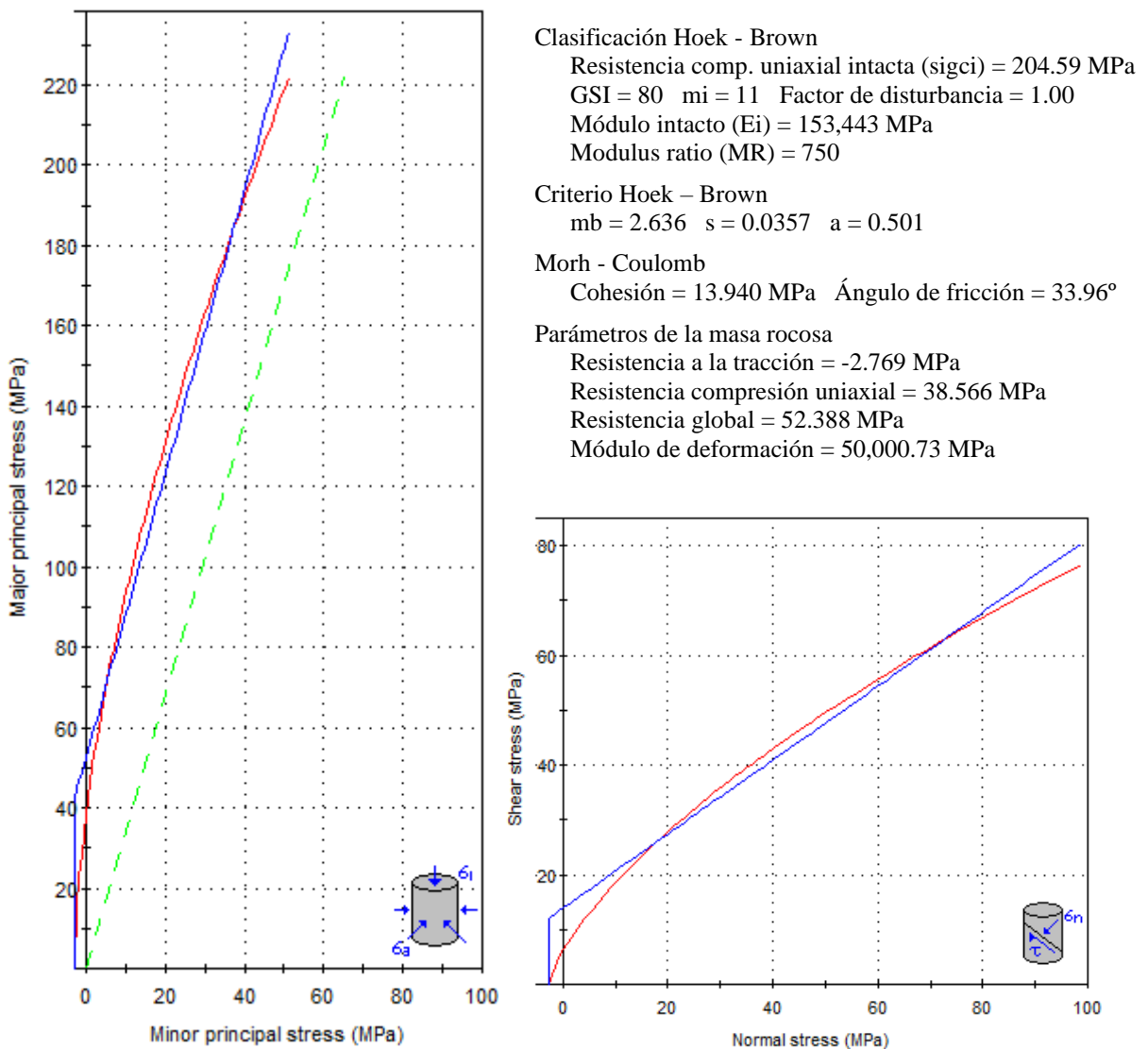
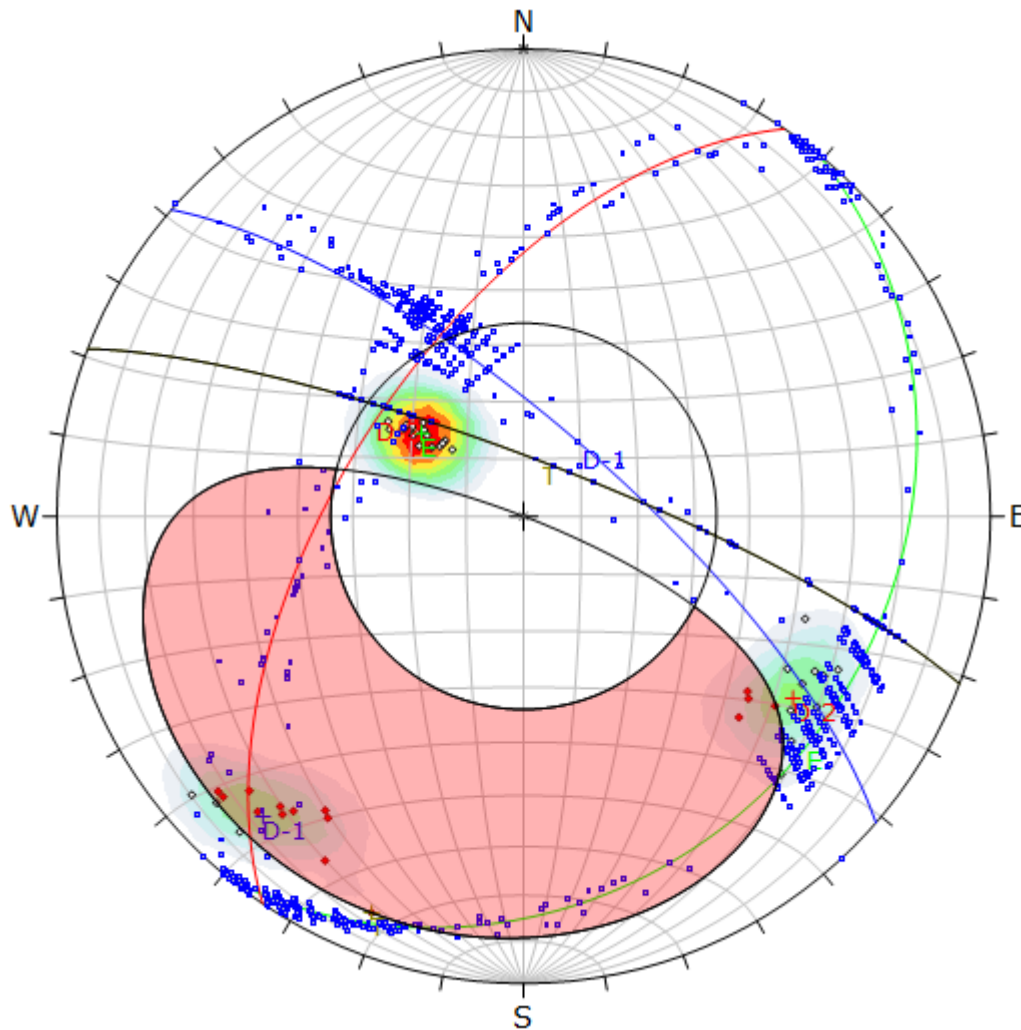


Figura 3.13. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 1.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.50		
	3.50 - 7.00		
	7.00 - 10.50		
	10.50 - 14.00		
	14.00 - 17.50		
	17.50 - 21.00		
	21.00 - 24.50		
	24.50 - 28.00		
	28.00 - 31.50		
	31.50 - 35.00		
Maximun density	34.54%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Planar siliding		
Slope dip	80°		
Slope Dip direction	21°		
Friction angle	34°		
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	15	45	33.33%
	Color	Dip	Dip direction
			Label
User planes			
1	■	23°	129° E
2	■	74°	41° D-1
3	■	59°	304° D-2
4	■	80°	21° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	45 (45 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	989		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.14. Probabilidad de ruptura planar con 33.33% para el desbroce de roca, englobando a los polos de las familias: D-1 y D-2; a favor del talud, estación 1.

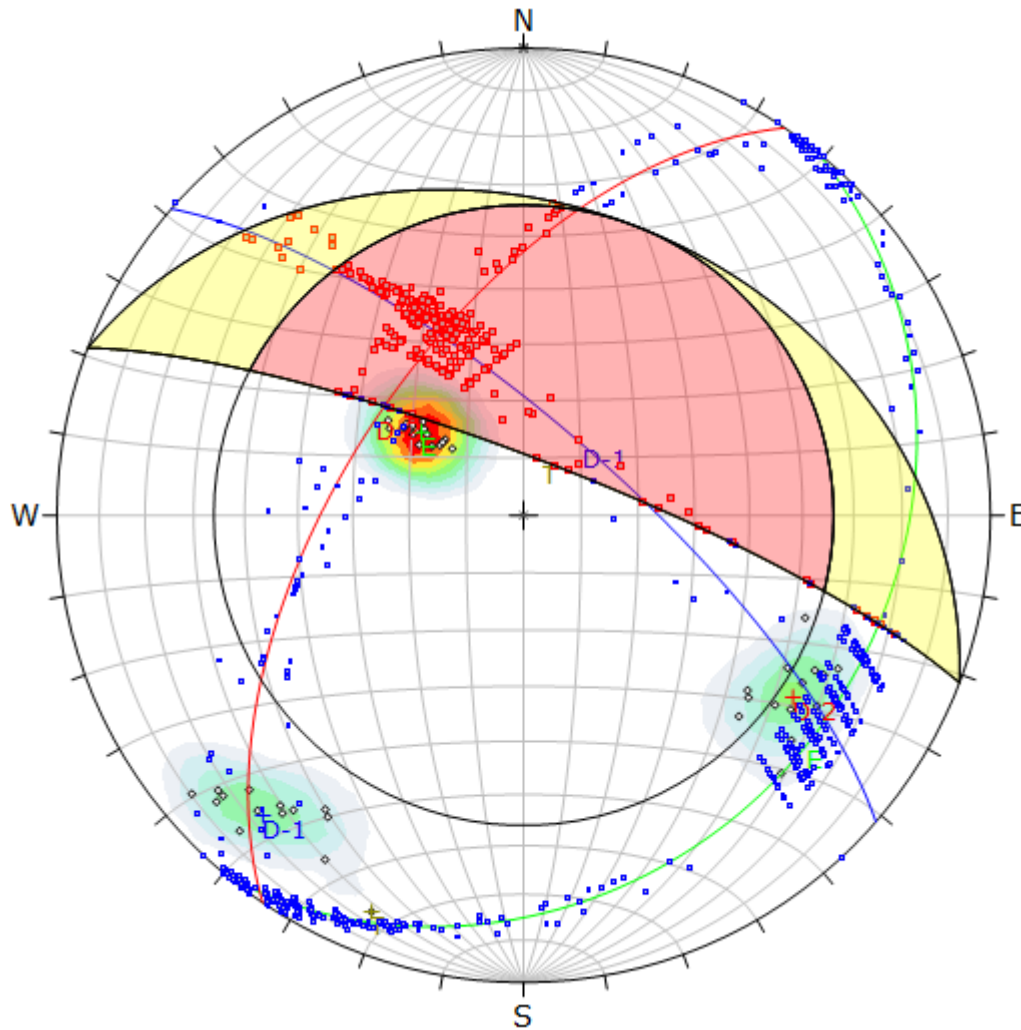


Figura 3.15. Probabilidad de ruptura en cuña con 29.93% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta, estación 1.

Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
■	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.50			
	3.50 - 7.00			
	7.00 - 10.50			
	10.50 - 14.00			
	14.00 - 17.50			
	17.50 - 21.00			
	21.00 - 24.50			
	24.50 - 28.00			
	28.00 - 31.50			
	31.50 - 35.00			
Maximun density		34.54%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		80°		
Slope Dip direction		21°		
Friction angle		34°		
	Critical	Total	%	
Wedge sliding	296	989	29.93%	
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	23°	129°	E
2	■	74°	41°	D-1
3	■	59°	304°	D-2
4	■	80°	21°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		45 (45 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		989		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

3.12.2 Estación 2

Se ubica en la parte superior del yacimiento no metálico, conformado por tres familias de discontinuidades, con mediano grado de fracturamiento, definiendo bloques y capas en el frente de explotación, clasificándolo como roca de estimación R5, con rellenos de: Aragonito, óxidos y arcilla en algunos casos, mostrando estalactitas y estalagmitas en el frente de explotación. Utilizando el modelo numérico en función de la ruptura: planar y cuña, obtienen valores de 20.00% y 28.89% de probabilidad de ruptura, siendo valores que ayudan al desbroce de roca y estabilidad del macizo rocoso relacionados con la estratificación. Sin embargo, la línea de mogi muestra roca de comportamiento dúctil, para el fracturamiento del material y obtener la blocosidad y seleccionamiento adecuado.

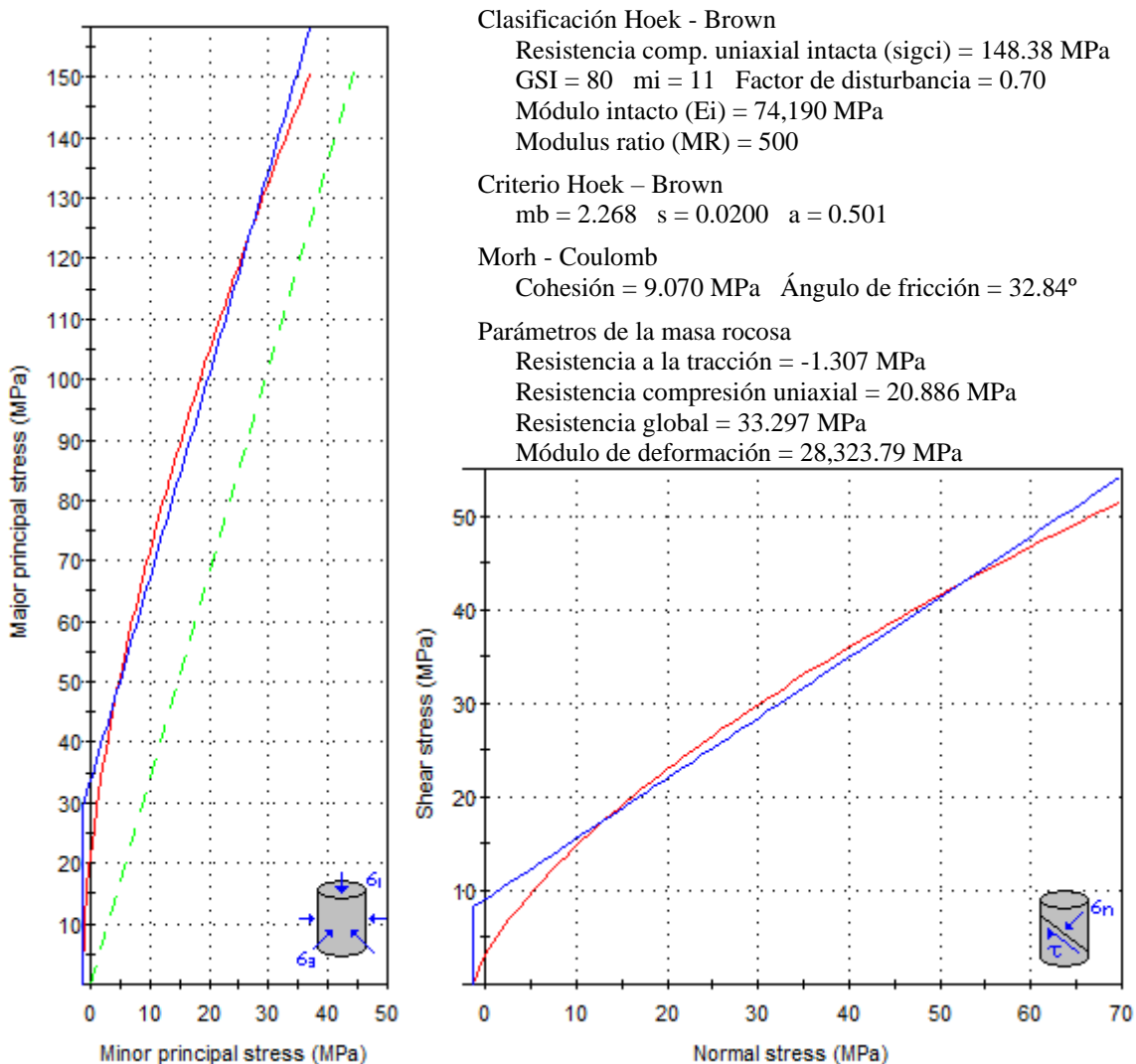


Figura 3.16. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 2.

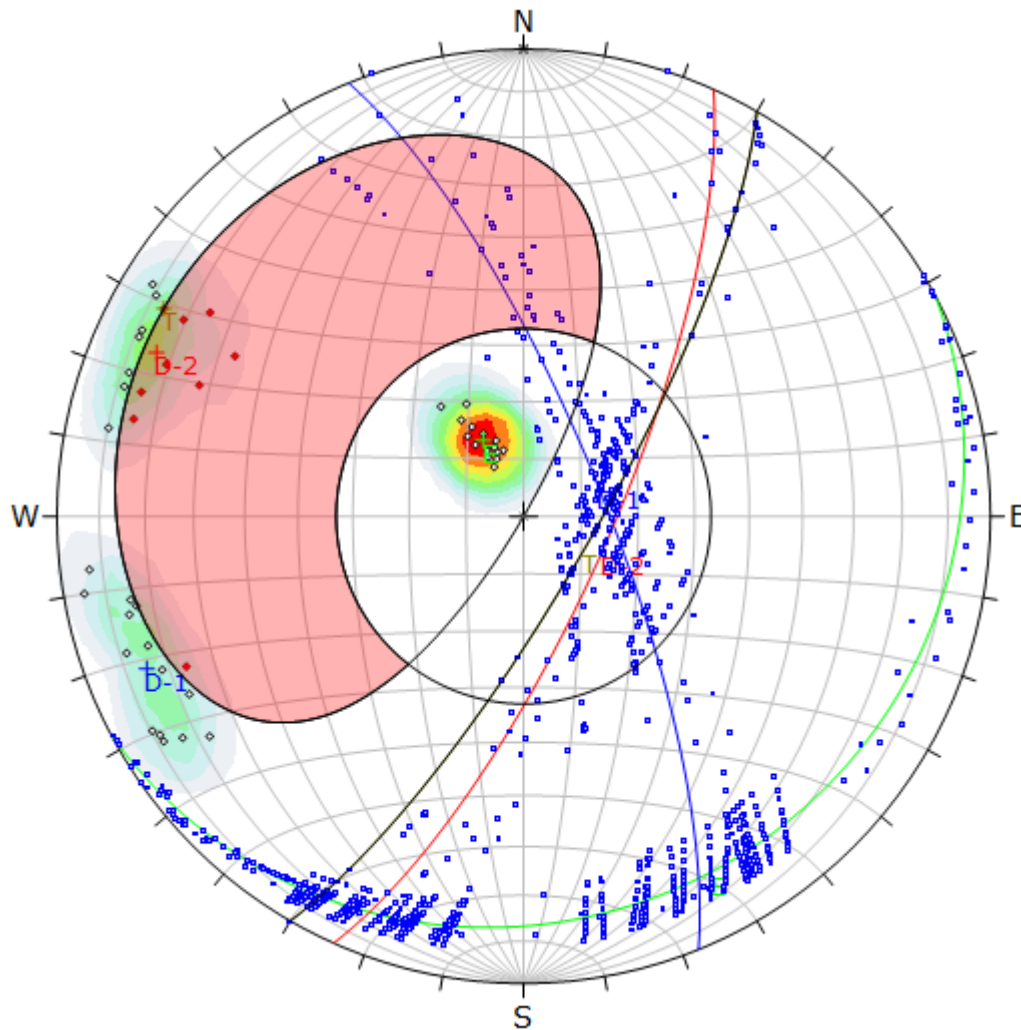


Figura 3.17. Probabilidad de ruptura planar con 20.00% para el desbroce de roca, englobando a los polos de las familias: D-1 y D-2; a favor del talud, estación 2.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density		29.30%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		78°	
Slope Dip direction		120°	
Friction angle		33°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	9	45	20.00%
	Color	Dip	Dip direction
			Label
User planes			
1	■	15°	152° E
2	■	76°	68° D-1
3	■	75°	114° D-2
4	■	78°	120° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		990	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

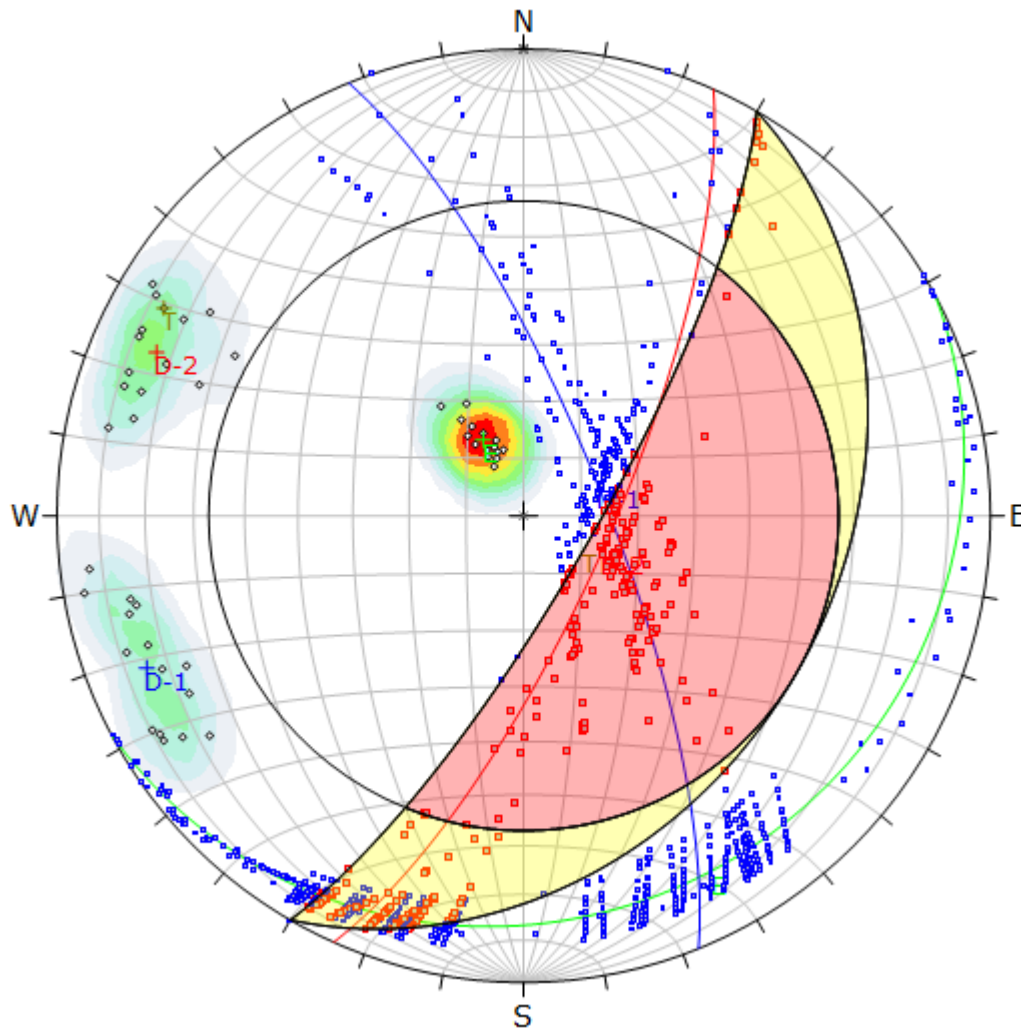


Figura 3.18. Probabilidad de ruptura en cuña con 28.59% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación directa, estación 2.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
■	Critical intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density		29.30%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Wedge sliding	
Slope dip		78°	
Slope Dip direction		120°	
Friction angle		33°	
	Critical	Total	%
Wedge sliding	283	990	28.59%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	15°	152° E
2	■	76°	68° D-1
3	■	75°	114° D-2
4	■	78°	120° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		990	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

3.12.3 Estación 3

Este frente ubicado en la parte inferior del yacimiento de caliza, delimitado por una trocha carrozable, con resistencia rocosa de 105.41 MPa., con parámetros empíricos de calidad: Media a buena, presentando rellenos con patinas de óxidos, calcita y pirolusita, formando superficies ligeramente alteradas. Al E del frente de explotación presenta diaclasas que originan rocas muy trabadas, no generando avances en la producción de roca calcárea (desbroce), como lo demuestra el análisis cinemático con valores menores a 5% de probabilidad de fallamiento, en consecuencia, la curva de mogi muestra zonas de ruptura dúctil a frágil cuando el esfuerzo mayor y menor son mayores a 70 MPa y 20 MPa.

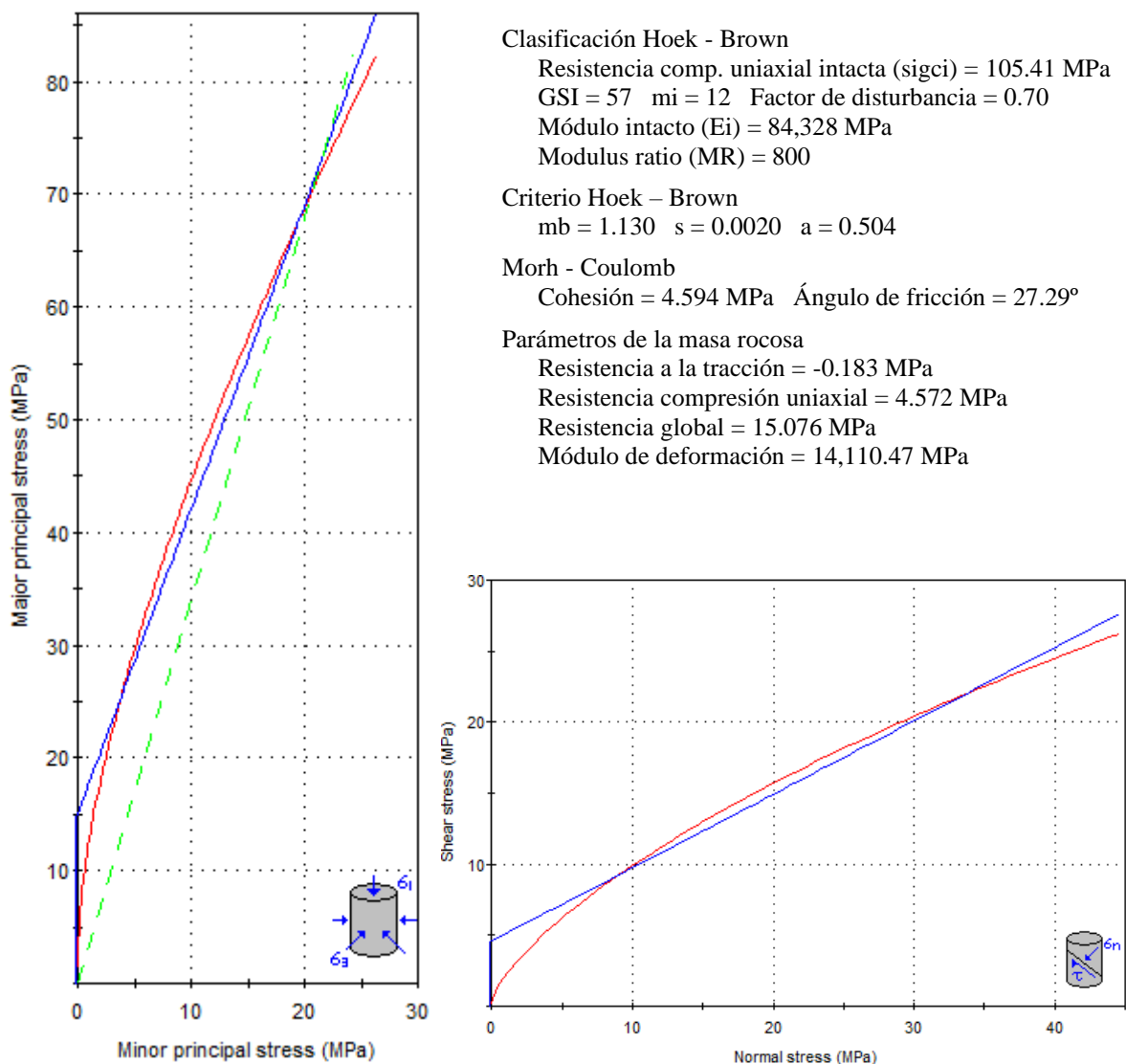


Figura 3.19. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 3.

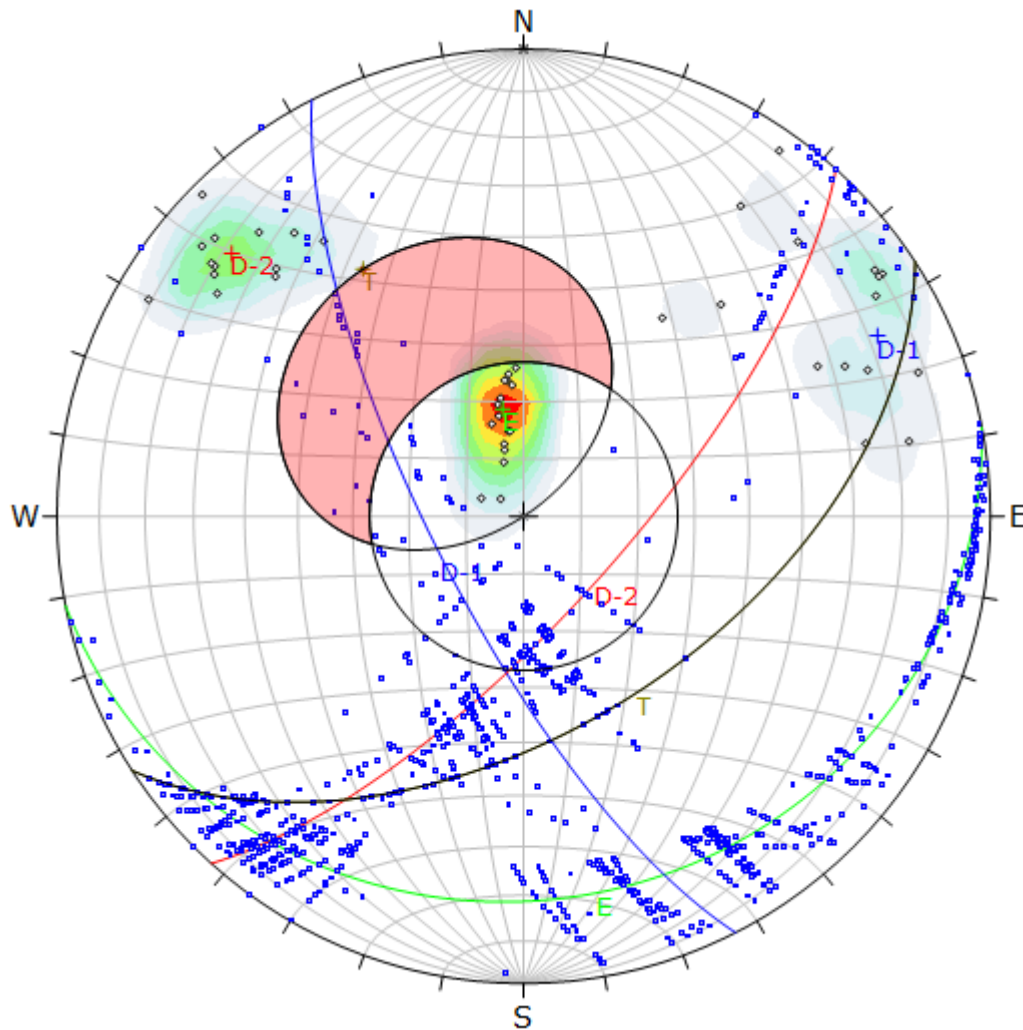


Figura 3.20. Probabilidad de ruptura planar con 2.22% para el desbroce de roca, englobando el polo del estrato; a favor del talud, estación 3.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 – 2.60		
	2.60 – 5.20		
	5.20 – 7.80		
	7.80 – 10.40		
	10.40 – 13.00		
	13.00 – 15.60		
	15.60 – 18.20		
	18.20 – 20.80		
	20.80 – 23.40		
	23.40 – 26.00		
Maximun density		25.32%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		53°	
Slope Dip direction		147°	
Friction angle		27°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	1	45	2.22%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	19°	169° E
2	■	74°	243° D-1
3	■	73°	132° D-2
4	■	53°	147° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		990	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

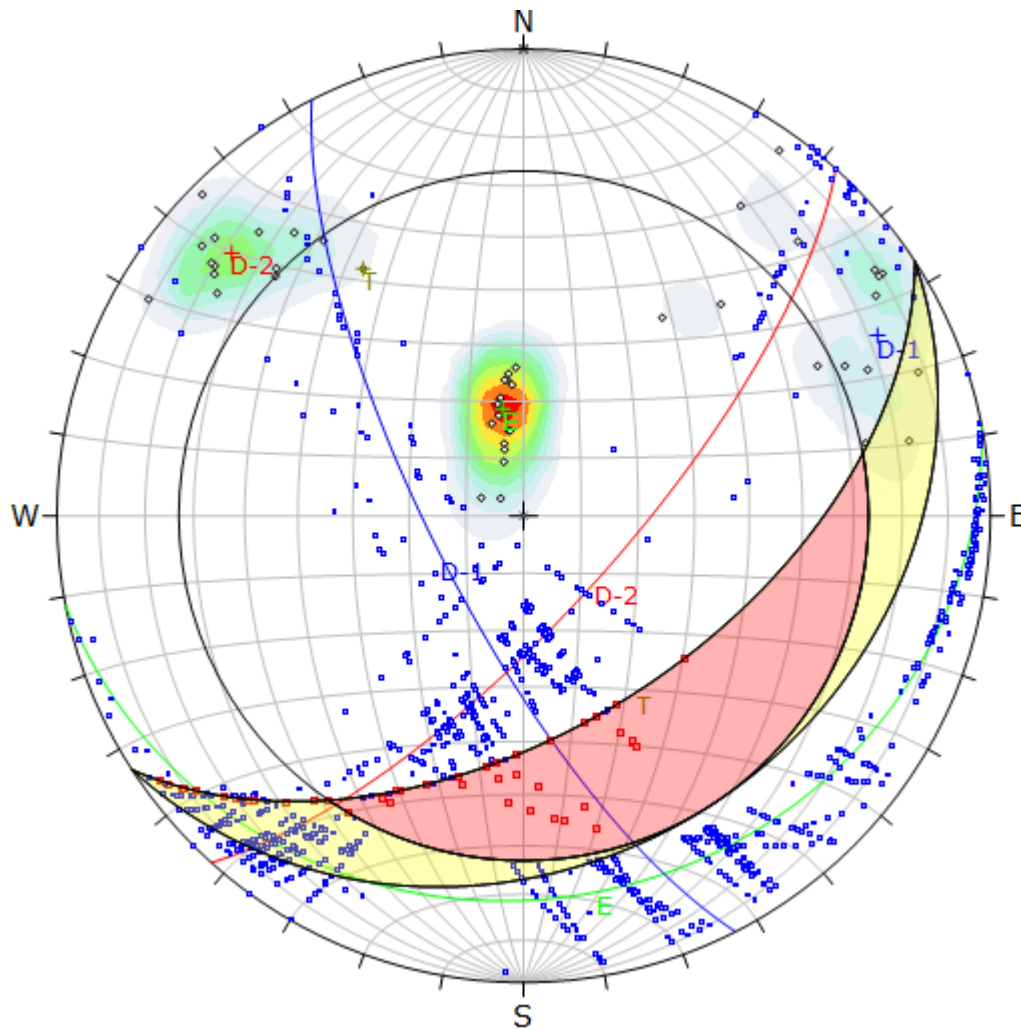


Figura 3.21. Probabilidad de ruptura en cuña con 4.34% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta, estación 3.

Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
■	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 2.60			
	2.60 - 5.20			
	5.20 - 7.80			
	7.80 - 10.40			
	10.40 - 13.00			
	13.00 - 15.60			
	15.60 - 18.20			
	18.20 - 20.80			
	20.80 - 23.40			
	23.40 - 26.00			
Maximun density		25.32%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		53°		
Slope Dip direction		147°		
Friction angle		27°		
	Critical	Total	%	
Wedge sliding	43	990	4.34%	
	Color	Dip	Dip direction	
User planes				
1	■	19°	169°	E
2	■	74°	243°	D-1
3	■	73°	132°	D-2
4	■	53°	147°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		45 (45 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		990		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

3.12.4 Estación 4

Está conformado por calizas de color gris azuladas levemente meteorizadas con leve fracturamiento, conformando bloques irregulares, en el afloramiento rocoso, clasificándolo como R5 (3 golpes), con resistencia a la compresión uniaxial de 187.23 MPa. y empíricamente como: RQD = 81.86%, RMR = 67 y GSI = 62; clasificándolo como roca de calidad buena, en función de sus propiedades geotécnicas y criterios empíricos de la roca. Sin embargo, mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite se obtuvo probabilidades de ruptura: planar y cuña, con valores muy bajos, no ayudando a la formación de escombros y definiéndose como roca dúctil, para el fracturamiento y estado de deformacional.

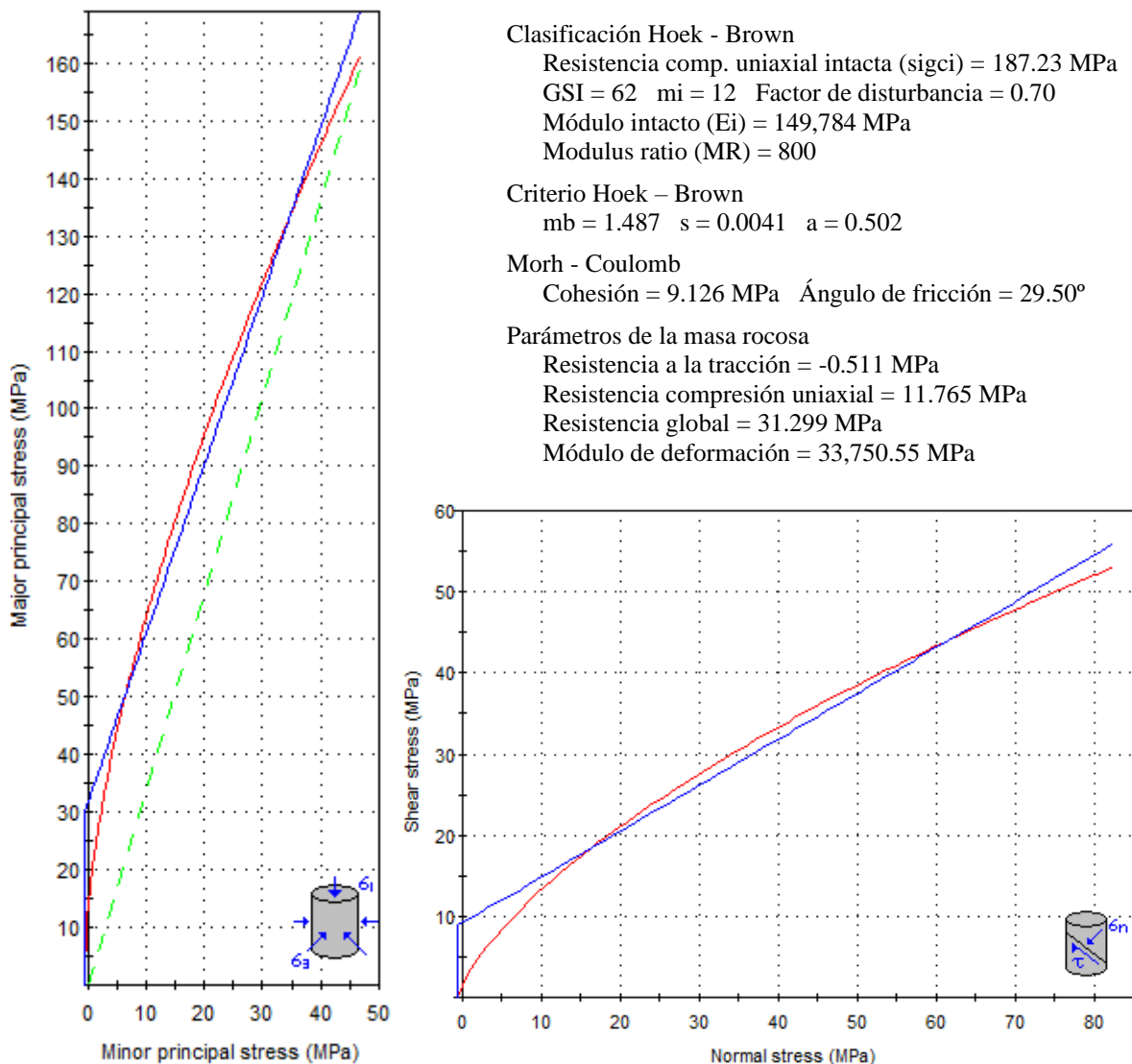


Figura 3.22. Método de equilibrio para las propiedades del macizo rocoso utilizando el criterio de linealización del método de la equivalencia de área: M-C y H-B; estación 4.

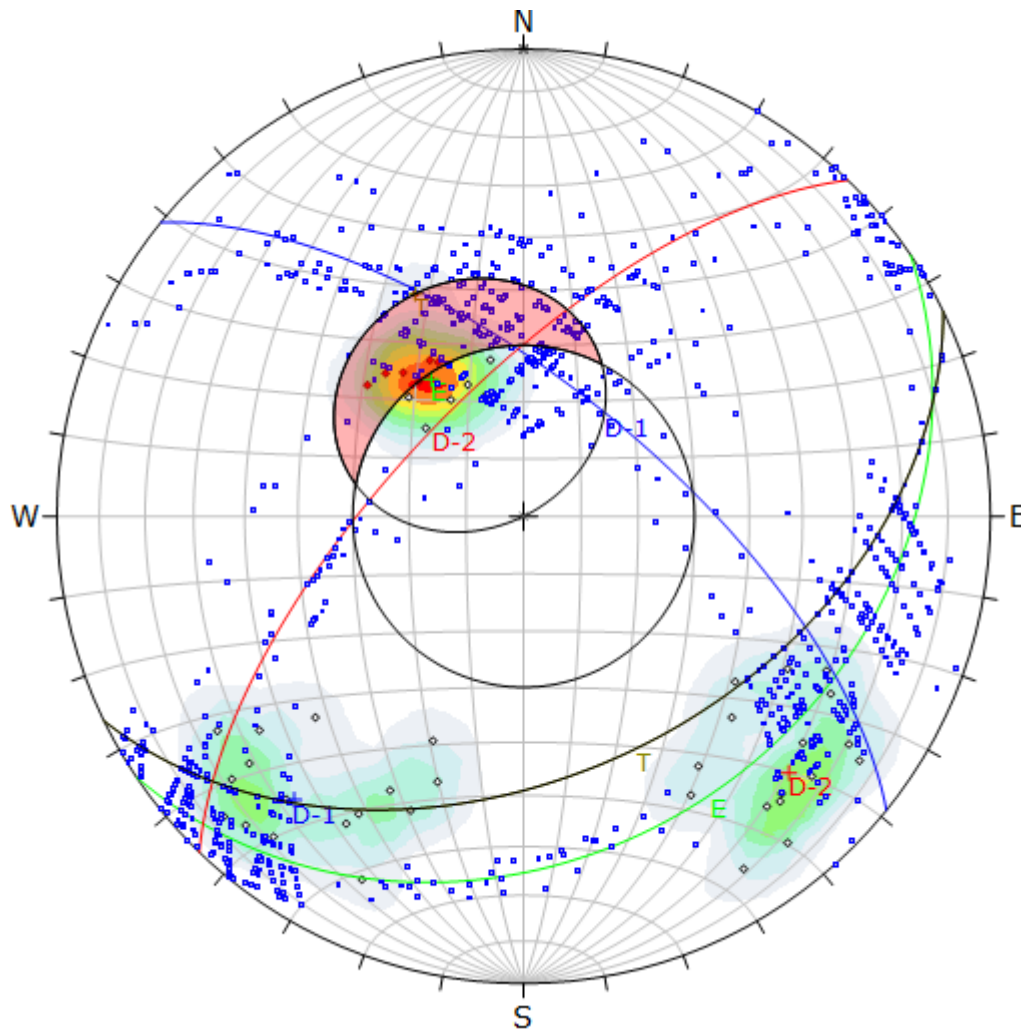


Figura 3.23. Probabilidad de ruptura planar con 15.56% para el desbroce de roca, englobando el polo del estrato; a favor del talud, estación 4.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 1.80		
	1.80 - 3.60		
	3.60 - 5.40		
	5.40 - 7.20		
	7.20 - 9.00		
	9.00 - 10.80		
	10.80 - 12.60		
	12.60 - 14.40		
	14.40 - 16.20		
16.20 - 18.00			
Maximun density		17.08%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		44°	
Slope Dip direction		154°	
Friction angle		30°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	7	45	15.56%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1		29°	146°
2		67°	39°
3		68°	314°
4		44°	154°
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		990	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

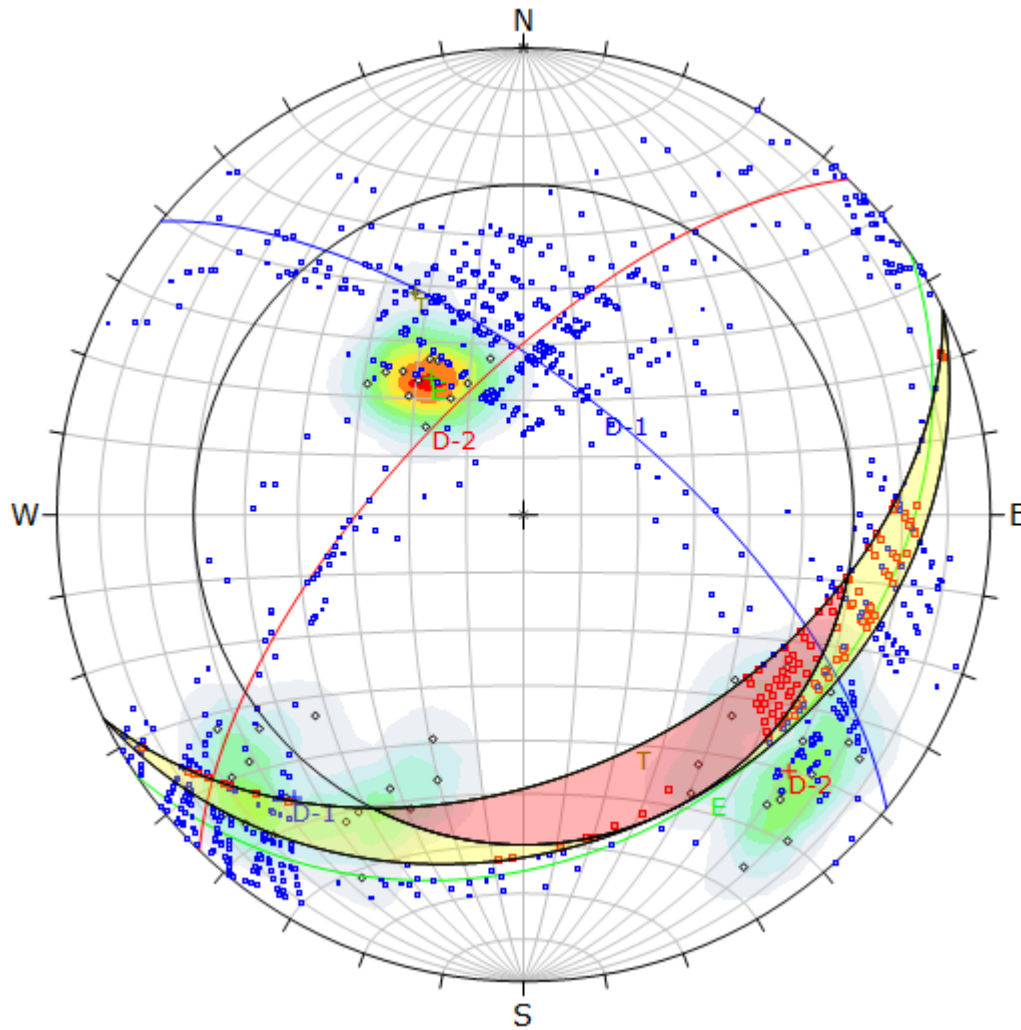


Figura 3.24. Probabilidad de ruptura en cuña con 12.63% para el desbroce de roca, englobando a la intersección de las familias: D-1 y E; en orientación indirecta, estación 4.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
■	Critical intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 1.80		
	1.80 - 3.60		
	3.60 - 5.40		
	5.40 - 7.20		
	7.20 - 13.00		
	9.00 - 10.80		
	10.80 - 12.60		
	12.60 - 14.40		
	14.40 - 16.20		
	16.20 - 18.00		
Maximun density		17.08%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Wedge sliding	
Slope dip		44°	
Slope Dip direction		154°	
Friction angle		30°	
	Critical	Total	%
Wedge sliding	125	990	12.63%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	29°	146°
2	■	67°	39°
3	■	68°	314°
4	■	44°	154°
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		990	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

3.13 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.13.1 Tipo, nivel, diseño de investigación

Tipo: Busca correlacionar los tajos de explotación, con el método de explotación que utiliza la empresa minera, relacionándolo con la orientación de la roca y parámetros geotécnicos, utilizando técnicas explicativas para mayor avance para el desbroce roca y menores costos en la utilización en insumos de voladura.

Nivel: El primer enfoque descriptivo está basado en condiciones geológica-geotécnicas de la roca, definido por: grado estabilidad, resistencia, producción y comercialización, fijando la vida útil de Empresa Minera. El aspecto aplicativo está enfocado al yacimiento minero no metálico de la Empresa Cal Plus E.I.R.L., definiendo las características más óptimas de extracción y avance, en función de parámetros geotécnicos y geológicos.

No experimental: El proyecto de investigación no tiene carácter experimental, por no estar relacionado con maqueta o ensayos que definirán la viabilidad del proyecto.

Método: Las metodologías anteriores buscaron definir la descripción del documento basados en información: real y pertinente, para el enfoque analítico desde el punto de vista ingenieril e interpretativo de las condiciones que presenta el afloramiento rocoso.

3.13.2 Población de estudio

Presenta dos frentes de explotación: Sur (S) y Oeste (W), actualmente de roca caliza, conformado dos poblaciones para la optimización de la extracción de roca, con extensión superficial de 0.98 Ha.

3.13.3 Muestra

Son puntos de control geotécnicos, relacionados con estaciones geomecánicas ubicados en la cantera de explotación de roca caliza, para obtener muestras representativas, para el procesamiento de información y así definir el método de explotación óptimo para el yacimiento minero y el diseño del tajo de minado.

3.13.4 Unidad de análisis

Lo conforman variables como: Litología, geoestructuras, precipitación, infiltración y sismicidad; siendo importantes para definir aspectos de: diseño, optimización y producción de roca; acompañados de parámetros geotécnicos con las variables mencionadas para la investigación.

3.13.5 Etapas e instrumentos de recolección de datos

Está basado en la obtención de información de campo mediante cartografiados: geológico y geotécnicos, utilizando el registro geológico-geotécnico.

Etapas de la investigación:

Primera etapa: Etapa preliminar de gabinete

- Definición de objetivos, y delimitación del área del tajo de explotación del Estudio.
- Recopilación, análisis y procesamiento de la información seleccionada en el área del proyecto,
- Selección de materiales cartográficos: Mapas, planos, fotos aéreas, etc.

Segunda etapa: Etapa de campo

- Reconocimiento de campo: Se basó en recorridos: generales y detallados, para evaluar la situación actual del área de influencia directa del proyecto, así como para levantar información relacionada con la geología. Verificación de los componentes actuales como: Producción in-situ, formación geológica, método de explotación (Actualmente utilizando), problemática del desbroce de roca y la propuesta del nuevo del tajo de explotación.

Tercera etapa: Etapa de evaluación disciplinaria

- Se analizó la información recopilada, obteniendo resultados de los trabajos realizados por las diferentes variables planteadas por la investigación (Litología, geoestructuras, precipitación, infiltración y sismicidad).
- Se realizó la integración de los resultados de las distintas variables.
- Se elaboró el análisis de la situación geotécnica de la cantera y su influencia con el desbroce de roca.

Cuarta etapa: Etapa de planificación geológica-geotécnica

- Se realizó el análisis geológico-geotécnico para el diseño del minado superficial, que incluyó: Identificación, evaluación y caracterización de los parámetros del basamento rocoso, que tienen que ver con la producción de roca y operación del proyecto.
- Se determinó el estudio geotécnico del yacimiento
- Se elaboró secciones de diseño de corte geométrico para mejorar, productividad por día.

Quinta etapa: Etapa de revisión y edición

- Se elaboró planos que muestren la calidad de información e investigación del yacimiento minero.

- Se elaboró la redacción y edición final de la tesis.

Instrumentación de recolección de datos

El Cuadro 3.8 muestra el registro geológico-geotécnico, diseñado por el Víctor Tolentino (2008), modificado por Reinaldo Rodríguez (v2021). El cual se utiliza para recoger datos de campo cuya información obtenida se muestra en el Anexo B.

Cuadro 3.9. Registro geológico-geotécnico.

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO Instrumento de Recolección de Datos				PROYECTO:				BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie															
UBICACIÓN:				TRAMO :				FECHA															
CODIGO				DE				A															
RESPONSABLE				HOJA Nº :				DE															
SISTEMA				EJECUTADO POR				FECHA															
ORD.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓG / FORMAC.	METEOROL. ACCION	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESET. COMP. UNIAJ	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC-METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.	
											Z / R	DIP	DD					TIPO	DUREZA				
								DIRECCION:															
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							

Fuente: Tolentino, 2008; modificado por: Rodríguez, 2021.

Equipos de recolección de datos

Está enfocado a técnicas de obtención de información de campo mediante: equipos e instrumentos y registros (Planos, fichas técnicas y libretas), siendo fundamentales para obtener información de calidad y plasmar resultados que muestren la realidad de la problemática. Los equipos mostrados en la Figura 3.24 es para obtener la información de campo: cualitativa y cuantitativa, en función del análisis de las variables propuestas en la tesis, sin embargo, tienen vinculaciones con programas ingenieriles (Figura 3.25) de cartografiado (ArcGis, AutoCAD, Civil3D y SASPLANET) y evaluación de masa rocosa (Dips, RocData y Faultkin), para finalmente mostrar un buen procesamiento de información: real, concisa y objetiva.



Figura 3.25. Equipo e instrumentos utilizados para la investigación.

Soporte técnico de procesamiento de información

ArcGis: Proporcionó herramientas de mapeo geológico y razonamiento espacial, permitiendo: Almacenar, gestionar y analizar información espacial de forma precisa.

AutoCAD: Software utilizado para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D, presentando herramientas con mucha capacidad para edición y generar extensiones al ArcGis.

SASPlanet: Utilizado para ubicar puntos georreferenciados y descargar imágenes satelitales de alta resolución y mapas convencionales, siendo un software portátil.

Rocdata: Permite determinar los esfuerzos principales empíricamente y mediante ensayos de laboratorio. Siendo de vital importancia el ingreso de parámetros geotécnicos obtenidos del afloramiento rocoso.

Civil3D: Utilizado para la generación de superficies, reporte de volúmenes y alineamiento superficiales; mediante la generación de perfiles longitudinales y transversales.

Dips: Programa utilizado para proyectar geoestructuras y probabilidades de rupturas en macizos rocosos, mediante la orientación de discontinuidades por los planos de fallamiento.

Faultkin: Determinar el análisis paleoesfuerzos: Principales y secundarios, mediante data geoestructural de planos y ángulos de falla, mediante las teorías de diedros rectos y Anderson.



Figura 3.26. Programas usados para: Procesamiento y presentación de la tesis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El yacimiento no metálico Esmael de la Empresa Cal Plus E.I.R.L., se encuentra emplazada litológicamente en la Formación Cajamarca y cubiertas por Depósitos Cuaternarios, que definen el comportamiento: litológico, geoestructural, morfológico, hidrológico y sísmico, de la zona de estudio con la inestabilidad geotécnica del tajo de extracción de roca caliza. Litológicamente el proyecto minero se ubica en el Cretáceo Superior - Formación Cajamarca por tener porcentajes de pureza entre: 88% a 92%, siendo rocas de muy buena ley, por el análisis fisicoquímico, para la extracción y comercialización de la materia prima. Geológicamente se observó lenares en la superficie de la roca, en mismo sentido del buzamiento de los estratos, mostrando indicadores de escorrentía superficial, que descarbonataron a la roca formando arañones de 1.5 cm. a 2.5 cm. profundos en la superficie. Las secuencias estratigráficas de caliza presentan espesores: 0.30 m. a 1.20 m., de coloraciones gris blanquecinas en la superficie de la roca por estar expuesta a la intemperie y las secciones de corte por voladura se muestra coloraciones grises azuladas, siendo rocas inalteradas, con orientación Az. = 52° y Bz. = 20°SE, formando paquetes calcáreos uniformes en su secuencia litoestratigráfica.

Geomorfológicamente está conformado por dos unidades mayores como: planicies (ocupando un área de 2,255.21 m². con área porcentual de 17.32%; con pendientes oscilantes de 0° - 7°, con orientación W) y lomadas (presenta pendientes oscilantes entre 7° - 14°, ocupan un área de 10,763.32 m². con área porcentual de 82.68%; con una orientación N, S y E); estas unidades morfogenéticas definidas en el área de estudio conforman zonas de erosión de

laderas, por la amplitud y extensión que ocupan en la subcuenca. Sin embargo, también se observó zonas Kársticas de erosión fluvial, siendo la más predominante en la zona Norte del yacimiento, por las secciones de corte en el avance del tajo, evidenciándose zonas cóncavas de erosión de la roca caliza de diámetros 0.70 m. a 0.90 m. formando: estalactitas y estalagmitas, acompañados de recristalización de minerales de aragonito y pirolusita, por consiguiente, el dueño de la empresa minera afirma y señala, que hay un accidente kárstico (sumidero) de alineamiento NNE-SSW de gran profundidad que supera los 10 m. y un ancho de 0.50 m. a 0.65 m., que ha sido rellenado con desmorte, que se genera por la misma actividad minera, definiéndolo como una zona insegura para la extracción de roca calcárea por las dimensiones que presento al momento del cartografiado.

Hidrológicamente las instalaciones de operaciones mineras se encuentran delimitadas por: río Arascorgue y quebrada El Tragadero. El río Arascorgue se encuentra ubicado al Sur de las instalaciones mineras a una distancia de 900 m. y la quebrada El Tragadero ubica al Norte a una distancia longitudinal de 320 m. El cálculo precipitación y retención de agua hidrológicamente se determinó mediante dos análisis de microcuencas ubicadas en la zona: Norte (Quebrada El Tragadero) y Sur (Río Arascorgue). La precipitación anual es de 515.20 mm/año, con tiempo de concentración promedio de agua en la superficie de 48.66 min. obtenida por las fórmulas y teorías de: Kirpich, Temes, Bransby Williams y Hathaway; de acuerdo con estos resultados mostrados se relacionan con las unidades geomorfológicas por su alta retención de agua que supera los 30 min. por ambas microcuencas siendo zonas alta concentración de agua que abastecen a las partes bajas de la zona de estudio.

Cuadro 4.1. Tiempo de concentración de agua en la microcuenca.

Nombre de cuenca	C	Área (Km ² .)	Long. de cauce principal (m.)	Long. de cauce principal (Km.)	Cota mayor (msnm.)	Cota menor (msnm.)	Pendiente (m/m)	Tc (min.)
I	0.30	4.36	3,374.25	3.37	3,270.00	2,890.00	0.11	54.72
II	0.30	2.46	2,535.76	2.54	3,050.00	2,690.00	0.14	42.60

Para obtener la precipitación e infiltración, se tuvo que analizar los datos históricos de la estación meteorológica de Bambamarca de 8 años de monitoreo

para definir el valor promedio y también la relación que presenta con las unidades geomorfológicas en la zona, mostrando por los Cuadros: 4.1 y 4.2, y las Figuras: 4.1 y 4.2, dando a conocer la fluctuación de precipitaciones máximas en 24 horas y anuales, siendo la mayor recarga en el año 2017 y precipitación pluvial casi constante los años: 2018, 2019 y 2020.

Cuadro 4.2. Precipitación máxima en 24 horas a altitud media de la microcuenca.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
2013	27.20	64.20	68.30	20.10	35.70	2.50	2.20	2.20	7.50	42.10	9.50	44.20	68.30
2014	38.00	48.10	54.30	20.60	35.70	0.80	0.60	1.70	18.20	18.90	43.00	47.50	54.30
2015	49.90	12.40	83.10	24.90	38.20	16.00	1.10	3.80	0.90	41.10	30.10	17.50	83.10
2016	25.80	18.10	30.50	55.50	3.70	9.60	3.10	4.30	25.40	26.90	15.90	63.80	63.80
2017	126.70	61.00	198.10	83.60	70.10	15.00	0.00	19.10	44.30	132.70	60.40	54.60	198.10
2018	73.10	92.10	44.50	83.80	104.00	15.50	8.40	1.40	4.50	103.00	144.30	41.20	144.20
2019	31.60	80.40	16.39	75.90	55.20	9.60	12.80	0.60	8.60	101.40	111.50	102.20	111.50
2020	34.40	19.50	56.60	90.50	29.40	8.00	65.00	10.20	103.50	28.50	93.80	139.40	139.40
Total	50.80	49.50	69.00	56.90	46.50	9.60	11.70	5.40	26.60	61.80	63.60	63.80	107.80

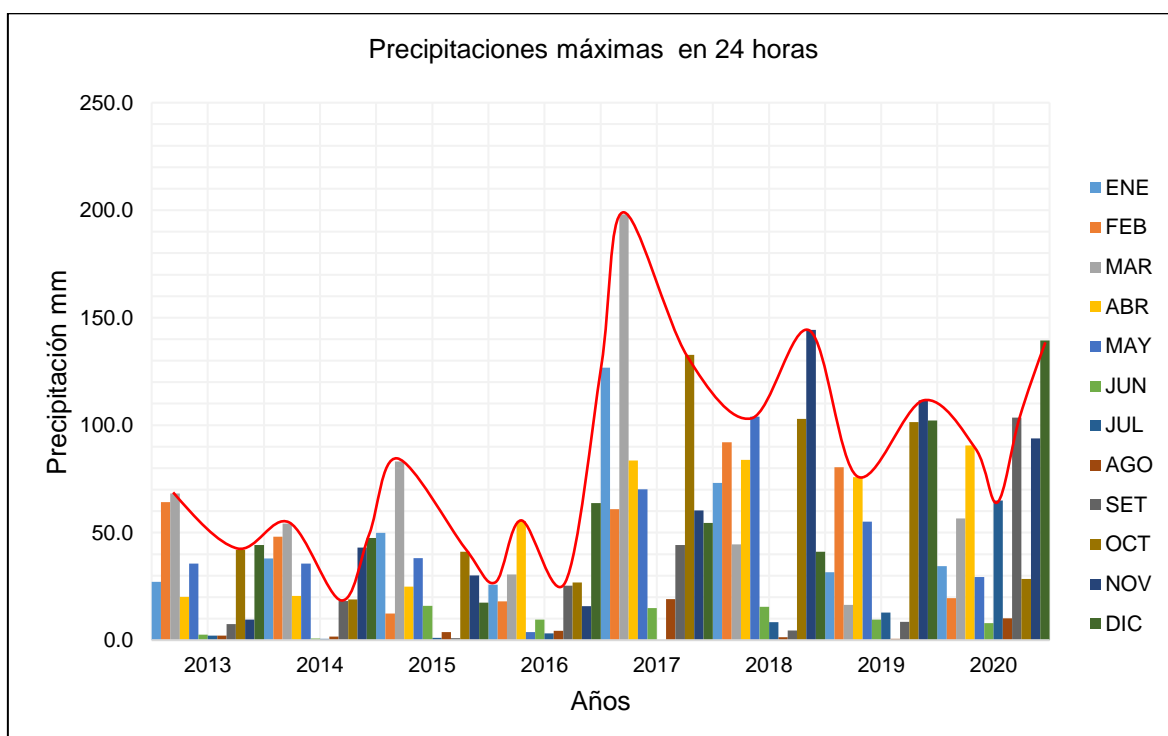


Figura 4.1. Precipitación máxima - estación Bambamarca.

Sin embargo, no presenta ninguna influencia de acuíferos o manantiales, el área de explotación y beneficio, no perjudicando las aguas subterráneas, ubicándose hidrogeológicamente en acuitardos sedimentarios.

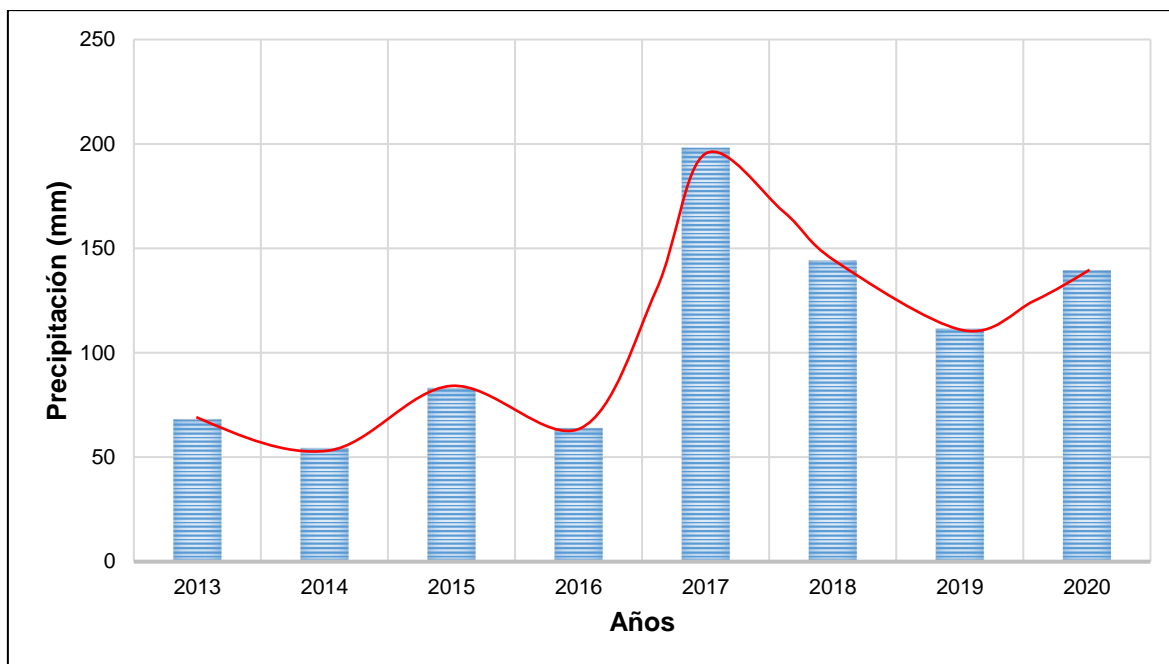


Figura 4.2. Histograma de precipitación máxima anual.

El cartografiado geoestructural muestra cuatro discontinuidades menores (D/DD): $22^{\circ}/149^{\circ}$, $72^{\circ}/49^{\circ}$, $74^{\circ}/123^{\circ}$ y $67^{\circ}/290^{\circ}$, distribuidas en el afloramiento rocoso, y dos estructuras mayores de incidencia importante por la brecha de falla que delimita el espejo de falla en ambos casos. De acuerdo a la información promedio de cada familia, se buscó establecer el análisis cinemático de juntas y rupturas en el tajo de explotación, relacionadas con rupturas: planares, cuñas y vuelco, como se muestra en el Cuadro 4.3 el tajo Esmael; plasmando los tres tipos de rupturas con bajo porcentaje de probabilidad de falla menores al 20%, de una muestra de 169 valores, siendo lo más resaltante la ruptura en cuña por presentar 2,293 zonas críticas de intersección en la cara libre de explotación por perforación y voladura, por este reporte importante se planteó un ancho de berma de 2.40 m.

Cuadro 4.3. Análisis cinemático Dips de rupturas en relación de probabilidad de falla e inestabilidad de juntas.

Ruptura	Probabilidad de falla (%)	Criticas	Total	Condición	Inestabilidad
Planar	18.93	32	169	Polos	D-1/D-2
Cuña	16.15	2,293	14,194	Intersección de planos	D-1/D-2
Vuelco	15.38	26	169	Polos	D-3

Los resultados geoestructurales modelaron el tajo de explotación definiendo la orientación del talud $D/DD = 80^{\circ}/115^{\circ}$ y ángulo de fricción 38° , con iniciación de corte de talud en la cota = 3,285.00 msnm., para mejores extracciones de la roca caliza y aprovechamiento de las mallas de perforación, siendo presentado por los cálculos en el Cuadro 4.3, mostrando la incidencia de la formación escombros de rocas o rupturas rocosas.

La aceleración espectral de la cantera muestra valores en la sísmica horizontal (0.141 a 0.281) y sísmica vertical (0.375 a 0.750), ubicada en la sísmica 2 (0.25g) rocas de calidad dura (S_0). Siendo resultados importantes para obtener reportes aplicando los modelos números o matemáticos respecto al grado de estabilidad del afloramiento rocoso.

La geomecánica en campo precisó los parámetros del macizo rocoso y familias de discontinuidades, siendo basadas en cuatro estaciones de recopilación de información, categorizándolos de acuerdo a criterios empíricos y posteriormente a modelos numéricos, como se muestra en el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4. Resultados de calidad de roca del afloramiento rocoso de la cantera Esmael.

Estación	σ_c (MPa)	Clasificaciones empíricas					
		RQD	Calidad	RMR	Calidad	GSI	Calidad
E-1	204.59	94.67	Excelente	85	Muy buena	80	Buena
E-2	148.38	80.43	Buena	72	Buena	67	Buena
E-3	105.41	62.68	Media	58	Media	53	Regular
E-4	187.23	81.86	Buena	67	Buena	62	Buena

La cantidad de roca caliza muestra la estimación del yacimiento de 15.56 años (121,399.37 TM.) que proyecta la vida útil del proyecto minero, que ha sido presentado al Ministerio de Energía y Minas (MEM), para su correcta evaluación y formalización de la Empresa Cal Plus E.I.R.L., siendo conformada por dos áreas: explotación (cantera) y beneficio (planta metalúrgica). El área de explotación o tajo Esmael, se utiliza perforación y voladura para obtener escombros de roca caliza, con diámetros de 6'' a 8'', que son separados y acumulados en canchas, para posteriormente ser transportados y llenados, a los hornos de calcinación, para así obtener los derivados de Cal: Viva, granulada, molida, hidratada y agrícola.

El ciclo de minado de la cantera de la empresa Cal Plus E.I.R.L., es a tajo abierto, realizado un solo frente de extracción, proponiendo en sus actividades iniciar desde la parte baja del tajo cota = 3,285.00 msnm. La extracción se realiza por bancos por la forma del yacimiento y el análisis geotécnico que se determina en campo (resistencia de la roca) presentando los siguientes parámetros de diseño: altura de banco = 2.00 m., quebradura = 0.35 m., ancho rampa = 4.50 m., ancho berma = 2.40 m., ángulo de banco = 80° y ángulo final de banco = 33°. El método a complementar en la extracción es la perforación y voladura, utilizando taladros de perforación inclinados (por el buzamiento a favor de la cara libre) para mejores desplazamientos desde la cara libre para la formación de la pila de escombros (desbroce y seleccionamiento de la roca).

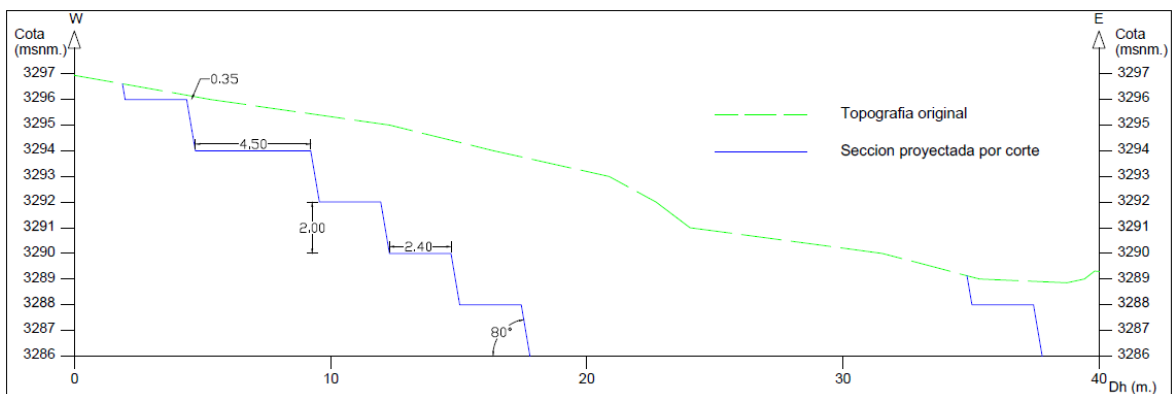


Figura 4.3. Parámetros geométricos del tajo Esmael.

Los recursos de estimación se representan en el siguiente Cuadro 4.5, mediante el cálculo de volumen (m^3 .) utilizando la fórmula de la pirámide, para posteriormente multiplicarlo por $2.70 \text{ Tm}/m^3$. del peso específico de la roca caliza obteniendo las reservas 121,399.37 TM de roca calcárea del tajo Esmael. Por consiguiente, se obtuvo información de días de trabajo conformando por 26 días/mes, con una producción de diaria 25 TM/día de roca caliza, obtenido una producción anual 7,800 TM/año. Finalmente se dividió las reservas entre la producción anual, obteniendo una vida útil de 15.56 años, equivalente a 15 años 6 meses 22 días., proyectándose hasta el año 2,037 de producción de roca calcárea.

Cuadro 4.5. Estimación de recursos, reservas minerales y vida del proyecto.

ÁREA (m ² .)	PROFUNDIDAD DE EXPLOTACIÓN (m.)	VOLUMÉN ESTADO NATURAL (m ³ .)	TONELADAS Ton(métrica)
9,817.19	13.74	44,962.73	121,399.37

VIDA ÚTIL (AÑOS)	15.56
------------------	-------

Reservas	: 121,399.37 TM
Producción anual	: 7,800 TM/año
Producción mensual	: 650 TM/mes
Producción Diaria	: 25 TM/día
Días de trabajo	: 26 días/mes
Vida útil	: 15.56 años

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El tajo Esmael, está emplazado en la Formación Cajamarca conformado por rocas calcáreas gris azuladas de buena calidad y alto porcentaje pureza (88% a 92%); geoestructuralmente el cartografiado mostro cuatro familias de diaclasas, conformando el modelo geológico y el diseño del tajo complementando al modelo matemático, definiendo tres tipos de rupturas: planares, cuñas y vuelcos; con bajo porcentaje de probabilidad de falla, sin embargo, la ruptura en cuña forma la mayor incidencia de intersecciones críticas en el afloramiento rocoso; combinando con variables detonantes como: Precipitación, infiltración y sismicidad, no afectando al tajo de explotación por estar ubicado en la parte superior de dos microcuencas hidrográficas y no presentar zonas de recarga o acuíferos subterráneos. Considerando además que las ondas vibratorias (voladura) y las isoaceleraciones sísmicas, no muestra incidencias directas en la inestabilidad del tajo por presentar bajo ángulo de buzamiento la estratificación a favor del talud y diaclasas bien trabadas que no afectan directamente la inestabilidad de Tajo Esmael.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado geológico del tajo Esmael, está emplazado en el Cretáceo Superior - Formación Cajamarca, conformado por calizas de espesores: 0.30 m. a 1.20 m., con orientación Az. = 52° y Bz. = 20°SE, a favor del talud, con pequeñas vetillas de calcita de espesores de 1.0 mm. a 1.5 mm., conformando paquetes uniformes de estratos calcáreos.

Las propiedades mecánicas del afloramiento rocoso muestran que son rocas de buena a muy buena calidad, con resistencias a la compresión uniaxial entre: 105 MPa a 210 MPa. de estimación de grado R5, con ángulo de fricción de 38° y cohesión de 9.18 MPa. promedio.

La estación Bambamarca muestra una precipitación anual de 515.20 mm/año, con tiempo de concentración promedio de agua en la superficie de 48.66 min.; de acuerdo con estos resultados se tiene una relación con la unidad litológica de la Formación Cajamarca, la cual denota alta retención de agua como se llegó a sus fracturas y cavernas.

Las isoaceleraciones sísmicas fueron determinadas en función de cuatro estaciones geotécnicas en el campo aceleraciones espectrales: Horizontales (0.141 a 0.281) y verticales (0.375 a 0.750), en el tajo Esmael con magnitudes < 1.0 en la escala de Richter, siendo valores muy bajos que no generarían riesgos de inestabilidad potencial.

El comportamiento geotécnico muestra cuatro familias de discontinuidades, conformando el modelo geológico y el diseño del tajo complementando al modelo matemático, definiendo tres tipos de rupturas: planares, cuñas y vuelcos, calculados por el software Dips; con bajo porcentaje de probabilidad de falla menores al 20%, de una muestra de 190 valores, sin embargo, la ruptura en cuña forma la mayor incidencia de intersecciones críticas en el afloramiento rocoso con 2,293 zonas críticas de intersección de juntas en la cara libre.

La forma del yacimiento, definió el método a cielo abierto y los parámetros geomecánicos el diseño del tajo como: altura de banco = 2.00 m., quebradura = 0.35 m., ancho rampa = 4.50 m., ancho berma = 2.40 m., ángulo de banco = 80° y ángulo final de banco = 33°, acompañado de la profundidad de perforación y voladura.

5.2 RECOMENDACIONES

La empresa CAL PLUS debe realizar ensayos especiales en laboratorios acreditados, para obtener valores más reales de los parámetros de la roca.

Utilizar el diseño propuesto de tajo de explotación, para mejorar los avances y estabilización de los frentes de extracción de roca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Datos hidrométricos a nivel nacional. Estación meteorológica Bambamarca. Consultado 16 de octubre 2022. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

Dávila, B. (2011). Diccionario geológico. Callao – Perú: Ingemmet.

Gavilanes, J., y Andrade, H. (2004). Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizo rocosos. Quito – Ecuador: Editorial: AIME,

González, De V. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid – España: PEARSON.

Herrera, H. (2006). Métodos de minería a cielo abierto. Universidad Politécnica de Madrid – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Minas.

Hoek, E., y Brown, E. (1997). Estimación práctica de la resistencia de la masa rocosa. Intl. J. Rock Mech y Mining Sci. y Geomechanics Abstracts. 34(8), 1165 – 1186.

Hoek, E., y Marinos, P. (2000). GSI: Una confiable herramienta geológica para la estimación de la resistencia del macizo rocoso. Canadá.

GEMMA (2007). Movimientos en masas en la región andina: Guía para la evaluación de amenazas. Edición N° 04.

Hustrulid, W., Kuchta, M., y Martin, R. (2013). Open pit mine planning & design. Editorial: CRC Press, Taylor & Francis Group, an informa business Boca Raton, London, New York y Leiden. Tercera edición. volumen 1 – fundamentos.

Gallina, S. (2015). Manual de técnicas del estudio de la fauna. Veracruz – México: Instituto de literario de Veracruz, S.C.

Gavilanes, J., y Andrade, H. (2004). Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito – Ecuador: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).

Guzmán, C., Leones, H., y Olmos, L. (2016). Caracterización geomecánica del macizo rocoso “Cerro Mocho”. Consultado 10 de diciembre 2021. Recuperado de: https://www.academia.edu/34619618/CARACTERIZACION_GEOMECHANICA_DE_L_MACIZO_ROCOSO

Lozano, M., Ochoa, H., y Camacho, U. (2012). Estudio geomecánico para el diseño minero a cielo abierto del yacimiento de carbón en Rondón Boyacá. L’esprit Ingenieux. Tunja-Colombia V3 pp.49-60, enero-diciembre 2012.

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2019). Norma técnica: E.30 Diseño sismorresistente. Resolución ministerial N° 043-2019-vivienda. Lima – Perú: Ministerio de vivienda. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf

Montoya, T. (2018). Expediente técnico del proyecto minero No Metálico – Agustín De La Cruz Vásquez. Ministerio de energía y minas.

Morgenstern, N., y Price, V. (1965). The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. Geotechnique, Vol. 15, pp. 79-93.

Osinermin. (2017). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores mineras. Magdalena del mar, Lima - Perú: Edición: INVERSIONES IAKOB S.A.C.

Pantoja, M. (2013). El método de explotación tajo abierto y la productividad en Castrovirreyna Compañía Minera – U.P. San Genaro (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú.

Parra, S., y Marín, C. (2015). Páramos vivos bitácora de flora: Guía visual de plantas de páramos de Colombia. Bogotá – Colombia: Instituto Humboldt Colombia.

Ramírez, O., De La Cuadra, I., Laín, H., y Grijalbo, O. (2008). Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea. Instituto geológico y minero de España.

Shahuindo (2015). Plan de minado para inicio de actividades de explotación. Ministerio de energía y minas.

Suarez, D. 2009. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

Veloza, A., Molina, P., y Mejía, S. (2005). Viabilidad de la extracción de carbones a cielo abierto. Caso Mina La Margarita. Dyna, Año 73, N° 150, pp. 143-154. Medellín, noviembre 2006. ISSN 0012-7353.

Wilson, J. (1984). Boletín N°31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo, Chepén. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.

Wyllie, D., y Mah, C. (2004). Ingeniería civil y minería de taludes rocosos. Ingeniería de taludes rocosos. Reino Unido – Londres: Spon Press - Grupo Taylor & Francis.

ANEXOS

I	AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA	A
II	DATOS GEOMECÁNICOS	B
III	CUENCA HIDROGRÁFICA	C
IV	PLANOS TEMÁTICOS	D
V	SECCIONES DE CORTE DE LA CANTERA	E
VI	DISEÑO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN	F

ANEXO A
AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA



“AÑO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA SALUD”

ASUNTO: CARTA DE ACEPTACIÓN PARA ELABORACIÓN DE TESIS

APAN ALTO (CAR. BAMBAMARCA KM 113) CAJAMARCA - HUALGAYOC
- BAMBAMARCA 01/03/2020

Atención: **DR. REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO**
DOCENTE PRINCIPAL DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
GEOLOGICA

Presente

Por este medio me permito comunicarle que el alumno egresado (a): **DAVID TERAN CUEVA**, quien actualmente a culminado sus estudios universitarios de la **CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MINAS** en la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**, ha sido **ACEPTADO** para realizar **LA TESIS DE NOMBRE: "EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DE TAJO ESMAEL, EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA"**. Dentro de nuestra Representada, autorizo el ingreso y brindarle todas las facilidades en las instalaciones, para que realice y culmine la misma, dando inicio el 15 de marzo del 2020.

Sin otro particular, agradezco su atención.

ATENTAMENTE
EMPRESA CALERA CAL PLUS E.I.R.L.


.....
Nilson Esmael Medina Soto
GERENTE

RUC: 20496076011

DIRECCIÓN: Caserío Apan Alto S/N (a 200 m de la carretera Bambamarca
– Km 133) – Bambamarca – Hualgayoc – Cajamarca

CORREO: calpluseirl@gmail.com

CEL: 969297013 ; rpc # 969297013 ; 975675684

CTA CORRIENTE (CAJA PIURA) N° : 210-01-5731388

ANEXO B
DATOS GEOMECÁNICOS

Cuadro 5.1. Registro geológico geotécnico - estación geomecánica 1.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA																						
CÓDIGO				UBICACIÓN	Apan Bajo - Chillifruta																						
RESPONSABLE				TRAMO	A																						
SISTEMA				HOJA N°	1 DE																						
WGS				EJECUTADO POR	David Terán Cueva																						
84				ZONA 17S	FECHA																						
					19/12/2020																						
					BENIAWSKY RMR (1989)																						
					Superficie																						
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO					TIPOS		RESIST. COMP. UNIAJ.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN		GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada	RESIST. COMP. UNIAJ.	RQD TRAMO		DIRECCIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	TIPO		DUREZA	ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN		
					1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	Fn=F.Normal	D=Diaclasa	σ _{ci}	ND	14	1=>2	1=<1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real						
					2=Lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	Fi=F.Inversa	2=Fract-Intens	L	3.80	3=0.6-0.2	3= 3-10	3= <0.1	2=Rugosa	2=Qz	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt.	2=Lig. Húm.	2=Lec. Apar.							
3=Mod	3=Bajo	3=Bloq-Capas	Fd=F.Directa	3=Fract-Intens	λ	3.68	4=0.2-0.06	4= 10-20	4= 1-5	4=Ondulad. lis	3=Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod. Alt.	3=Humedo	3=Lec. Proy.												
4=Alt. Met.				4=Fract-Intens	Prom. Golpes	γ _p	5=<0.06	5=>20	5=>5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo													
5=Compl.				Agregar MB,B,M,P,MP	C=Contacto																						
1	769862.42	9255390.15	3298.00	Ks-Ca	1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	33	28	123	3	3	4	3	1	5	1	2	1					
2				Calizas gris azuladas de grano fino,	1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	44	19	134	2	3	3	3	1	5	1	2	1					
3				con pátinas de óxidos de color amarillento en la superficie	1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	38	24	128	2	3	3	3	1	5	1	2	1					
4					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	40	22	130	3	3	3	4	1	5	2	2	1					
5					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	36	26	126	3	3	4	4	1	5	2	2	1					
6					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	42	19	132	2	3	4	4	1	5	1	2	1					
7					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	39	25	129	2	3	3	3	1	5	1	2	1					
8					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	41	23	131	3	3	3	3	1	5	1	2	1					
9					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	37	20	127	3	3	4	4	1	5	2	2	1					
10					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	34	22	124	3	3	4	3	1	5	1	2	1					
11					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	40	19	130	3	3	3	4	1	5	2	2	1					
12					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	35	29	125	2	3	3	3	1	5	1	2	1					
13					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	43	17	133	2	3	3	3	1	5	1	2	1					
14					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	36	24	126	2	3	3	4	1	5	1	2	1					
15					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	42	19	132	3	3	4	4	1	5	1	2	1					
16					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	38	26	128	3	3	3	3	1	5	2	2	1					
17					1	3	2	E	R5 (204.59MPa)	94.67	43	24	133	2	3	3	4	1	5	2	2	1					
18				Ks-Ca	1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	320	82	50	4	1	3	4	4	2	1	2	1					
19				Calizas gris azuladas de grano fino,	1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	318	77	48	4	1	3	5	4	2	2	2	1					
20				con pátinas de óxidos de color amarillento a rojizo en la superficie	1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	310	70	40	4	1	2	4	1	5	1	2	1					
21					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	315	72	45	3	1	2	5	4	2	1	2	1					
22					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	308	69	38	3	1	3	5	1	5	1	2	1					
23					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	303	66	33	4	1	3	4	4	2	2	2	1					
24					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	309	71	39	3	1	2	4	4	2	2	2	1					
25					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	312	74	42	4	1	2	5	4	2	1	2	1					
26					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	317	79	47	4	1	3	5	1	5	1	2	1					
27					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	304	65	34	3	1	2	4	4	2	2	2	1					
28					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	317	77	47	4	1	3	5	4	2	1	2	1					
29					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	300	74	30	3	1	3	5	4	2	2	2	1					
30					1	3	1	Disc-1	R5 (204.59MPa)	94.67	312	80	42	3	1	2	4	1	5	1	2	1					
31				Ks-Ca	1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	225	67	315	4	1	1	4	-	1	1	2	1					
32				Areniscas de grano fino,	1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	210	55	300	3	1	2	4	1	5	1	2	1					
33				con pátinas de óxidos en superficie	1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	216	60	306	2	1	1	4	-	1	1	2	1					
34					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	220	64	310	3	1	1	5	1	5	1	2	1					
35					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	219	52	309	3	1	2	5	-	1	1	2	1					
36					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	206	64	296	4	1	2	4	-	1	1	2	1					
37					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	218	51	308	2	1	1	4	1	5	1	2	1					
38					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	200	54	290	2	1	2	5	1	5	1	2	1					
39					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	208	62	298	3	1	1	4	-	1	1	2	1					
40					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	223	53	313	3	1	2	5	-	1	1	2	1					
41					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	211	59	301	4	1	1	4	1	5	1	2	1					
42					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	208	60	298	3	1	2	5	-	1	1	2	1					
43					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	213	64	303	4	1	2	5	-	1	1	2	1					
44					1	3	2	Disc-2	R5 (204.59MPa)	94.67	217	57	307	2	1	1	4	1	5	1	2	1					
				Talud							291	80	21														

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodríguez - 2017

Cuadro 5.2. Registro geológico geotécnico - estación geomecánica 2.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRUMI 49-C, DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA																							
CÓDIGO				UBICACIÓN																							
RESPONSABLE				Apan Bajo - Chillifruta																							
SISTEMA				FECHA																							
WGS				19/12/2020																							
84				ZONA 175																							
EJECUTADO POR				David Terán Cueva																							
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO					TIPOS		RESIST. COMP. UNIAJ.		RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)		PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CREDEN. DE INFORMACIÓN
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLÓGIA FORMAC.	METEORIZACIÓN			GSI	E=Estratificada D=Diaclassa	F=F.Normal FI=F.Inversa	ND	13	DIRECCIÓN			1=>2 2=2-0.6 3=0.6-0.2 4=0.2-0.06 5=<0.06	1=<1 2=1-3 3=3-10 4=10-20 5=>20	1=Nada 2=<0.1 3=0.1-1 4=1-5 5=>5	1=Muy Rug. 2=Rugosa 3=Lig. Rug. 4=Ondulad.-lis. 5=Suave	TIPO		1=Arcilloso 2=Qz 3=Calcita 4=Óxidos 5=Roca Tritur. 6=Bx 7=Panizo 8=Veta 9=Epsanita 10=Aragonito 11=Pirolusita	1=Ninguna 2=Duro>5mm 3=Mod. Alt. 4=Muy Alt. 5=Suave>5mm 5=Descomp.	1=Inalterada 2=Lig. Alt. 3=Humedo 4=Muy Alt. 5=Flujo	1=Seco 2=Lig. Húm. 3=Lec. Apar. 4=Lec. Real		
					DUREZA																						
					Z/R		DIP						DD														
				GRADO FRACT.			Fm=F.Normal Fi=F.Inversa		Prom. Golpes		Yp																
1	769881.74	9255411.20	3298.00	Ks-Ca	2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	64	16	154	4	3	3	4	4	1	5	1	1	1	1		
2				Calizas gris azuladas de grano fino, con pátinas de óxidos de color amarillento en la superficie	2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	55	17	145	4	3	4	4	4	1	5	1	1	1	1		
3					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	73	12	163	3	3	4	4	5	1	5	2	1	1	1		
4					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	59	10	149	4	3	4	4	4	1	5	2	1	1	1		
5					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	68	12	158	4	3	3	4	5	1	5	1	1	1	1		
6					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	70	14	160	3	3	4	4	2	2	1	1	1	1	1		
7					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	67	13	157	4	3	3	5	1	5	2	1	1	1	1		
8					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	56	15	146	3	3	4	4	4	1	5	2	1	1	1		
9					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	60	18	150	4	3	3	5	2	2	1	1	1	1	1		
10					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	65	11	155	4	3	3	5	1	5	2	1	1	1	1		
11					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	57	20	147	3	3	4	4	2	2	1	1	1	1	1		
12					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	63	22	153	4	3	4	4	2	2	1	1	1	1	1		
13					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	61	13	151	4	3	3	5	2	2	2	1	1	1	1		
14					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	53	24	143	3	3	3	5	1	5	2	1	1	1	1		
15					2	2	3	E	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	59	12	149	4	3	3	4	4	1	5	1	1	1	1		
16				Ks-Ca	2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	353	83	83	4	1	2	4	3	2	1	1	1	1	1		
17				Calizas gris azuladas de grano fino, con pátinas de óxidos de color amarillento y venillas de calcita y aragonito	2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	350	85	80	4	1	3	4	-	1	1	1	1	1	1		
18					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	325	71	55	4	1	3	4	-	1	2	1	1	1	1		
19					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	336	68	66	4	1	4	3	10	2	1	1	1	1	1		
20					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	348	75	78	4	1	2	5	-	1	2	1	1	1	1		
21					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	329	80	59	4	1	4	3	3	2	2	1	1	1	1		
22					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	347	74	77	4	1	3	4	3	2	1	1	1	1	1		
23					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	332	70	62	4	1	3	4	10	2	1	1	1	1	1		
24					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	327	76	57	4	1	4	3	10	2	2	1	1	1	1		
25					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	330	81	60	4	1	4	3	10	2	1	1	1	1	1		
26					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	341	74	71	4	1	2	4	3	2	1	1	1	1	1		
27					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	337	73	67	4	1	3	4	3	2	2	1	1	1	1		
28					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	346	76	76	4	1	2	5	3	2	2	1	1	1	1		
29					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	341	79	71	4	1	2	5	3	2	1	1	1	1	1		
30					2	2	3	Disc-1	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	328	80	58	4	1	4	3	10	2	1	1	1	1	1		
31				Ks-Ca	2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	26	80	116	4	1	1	4	-	1	1	1	1	1	1		
32					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	31	81	121	4	1	1	4	4	2	2	1	1	1	1		
33					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	18	75	108	4	1	2	5	4	2	2	1	1	1	1		
34					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	32	83	122	4	1	2	5	4	2	2	1	1	1	1		
35					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	23	72	113	4	1	3	4	4	2	2	1	1	1	1		
36					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	18	79	108	3	1	1	4	-	1	1	1	1	1	1		
37				Calizas gris azuladas de grano fino, con pátinas de óxidos de color rojizo	2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	12	80	102	4	1	1	4	-	1	1	1	1	1	1		
38					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	33	69	123	4	1	2	5	4	2	2	1	1	1	1		
39					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	30	73	120	4	1	3	4	4	2	2	1	1	1	1		
40					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	22	64	112	3	1	1	5	-	1	1	1	1	1	1		
41					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	29	60	119	4	1	2	4	4	2	2	1	1	1	1		
42					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	14	75	104	4	1	2	5	4	2	2	1	1	1	1		
43					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	20	79	110	3	1	1	4	-	1	1	1	1	1	1		
44					2	2	3	Disc-2	R5 (148.38MPa)	80.43	80.43	25	80	115	4	1	1	4	-	1	1	1	1	1	1		
									Talud		30		78		120												

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

Cuadro 5.3. Registro geológico geotécnico - estación geomecánica 3.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA																			
CÓDIGO				UBICACIÓN	Apan Bajo - Chillifruta																			
RESPONSABLE				TRAMO	A																			
SISTEMA				HOJA N°	3 DE																			
WGS				EJECUTADO POR	David Terán Cueva																			
84				ZONA	175																			
				FECHA	19/12/2020																			
				BENIAWSKY RMR (1989)	Superficie																			
DIS.	Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
		ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METERORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAJ.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
				E=Estratificada	σ _{ci}	ND	26	DIRECCIÓN			1=>2	1=<1	1=Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real					
				D=Diaclasa	Prom. Golpes	L	2	Z/R	DIP	DD	2= 2-0.6	2= 1-3	2=<0.1	2=Rugosa	2=Qz	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt.	2=Lig. Húm.	2=Lec. Apar.					
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	3	3= 0.6-0.2	3= 3-10	3= 0.1-1	3=Lig. Rug.	3=Calcita	3=Duro<5mm	3=Mod. Alt.	3=Humedo	3=Lec. Proy.					
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	3	4= 0.2-0.06	4= 10-20	4= 1-5	4=Ondulad.-lis	4=Óxidos	4=Suave<5mm	4=Muy Alt.	4=Goteando						
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	5=<0.06	5=>20	5=>5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo							
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	6=Bx														
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	7=Panizo														
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	8=Veta														
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	9=Epsanita														
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	10=Aragonito														
				F=Fract-intens	3 Golp	Y _p	3	3	3	11=Pirolusita														
1	769927.00	9255416.98	3289.00	Ks-Ca	1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		71	17	161	3	3	4	4	4	4	2	2	1	1
2				Calizas gris	1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		87	26	177	2	3	4	4	4	4	2	2	1	1
3				azuladas de	1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		83	24	173	2	3	3	4	4	1	5	2	1	1
4				grano fino,	1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		70	10	160	3	3	4	4	4	1	5	2	1	1
5				con relleno	1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		80	15	170	2	3	4	4	4	1	5	1	1	1
6				de oxidos,	1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		82	24	172	3	3	3	5	11	5	2	1	1	
7				pirolusita y	1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		75	13	165	3	3	4	4	4	2	2	1	1	
8				arcilla	1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		79	21	169	2	3	4	4	4	2	1	1	1	
9					1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		81	15	171	2	3	4	5	4	2	1	1	1	
10					1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		74	12	164	3	3	3	5	11	5	2	1	1	
11					1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		85	23	175	2	3	4	4	1	5	2	1	1	
12					1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		76	18	166	3	3	4	5	4	2	1	1	1	
13					1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		77	20	167	2	3	3	4	11	5	2	1	1	
14					1	3	2	E	R5 (105.41MPa)	62.68		84	25	174	2	3	4	5	4	2	1	1	1	
15				Ks-Ca	1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		125	85	215	3	1	4	4	4	2	2	1	1	
16					1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		160	79	250	4	2	5	4	11	5	1	1	1	
17				Calizas gris	1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		155	65	245	4	2	4	4	4	2	2	1	1	
18				azuladas de	1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		135	72	225	3	1	4	4	4	2	1	1	1	
19				grano fino,	1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		146	82	236	4	2	4	4	11	5	1	1	1	
20				con relleno	1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		125	70	215	3	1	5	4	4	2	1	1	1	
21				de pirolusita	1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		169	73	259	3	2	5	4	11	5	2	1	1	
22				y arcilla	1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		157	69	247	4	2	4	4	11	5	2	1	1	
23					1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		146	81	236	4	1	5	4	4	2	2	1	1	
24					1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		148	78	238	3	2	4	4	4	2	1	1	1	
25					1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		145	81	235	4	2	5	4	11	5	1	1	1	
26					1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		168	64	258	3	1	4	4	11	5	2	1	1	
27					1	3	1	Disc-1	R5 (105.41MPa)	62.68		153	60	243	4	1	4	4	11	5	1	1	1	
28				Ks-Ca	1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		45	87	135	3	2	3	5	3	2	1	1	1	
29					1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		38	73	128	3	1	4	5	4	2	1	1	1	
30				Calizas gris	1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		51	67	141	3	1	3	5	4	2	1	1	1	
31				azuladas de	1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		30	82	120	3	2	3	4	4	2	1	1	1	
32				grano fino,	1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		39	74	129	3	2	4	4	3	2	2	1	1	
33				con relleno	1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		45	64	135	3	2	4	4	4	2	2	1	1	
34				de calcita y	1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		40	79	130	3	2	4	4	3	2	1	1	1	
35				oxidos	1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		36	70	126	3	2	3	4	3	2	1	1	1	
36					1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		54	62	144	3	1	3	4	4	2	2	1	1	
37					1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		42	78	132	3	2	3	4	3	2	2	1	1	
38					1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		44	63	134	3	2	4	5	3	2	1	1	1	
39					1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		39	75	129	3	1	3	5	4	2	1	1	1	
40					1	3	2	Disc-2	R5 (105.41MPa)	62.68		47	72	137	3	2	4	4	3	2	1	1	1	
								Talud				57	53	147										

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

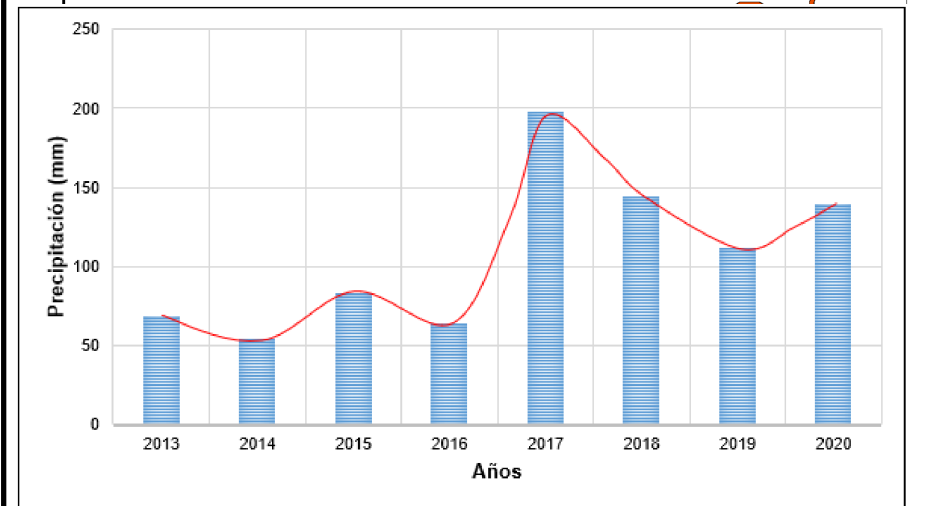
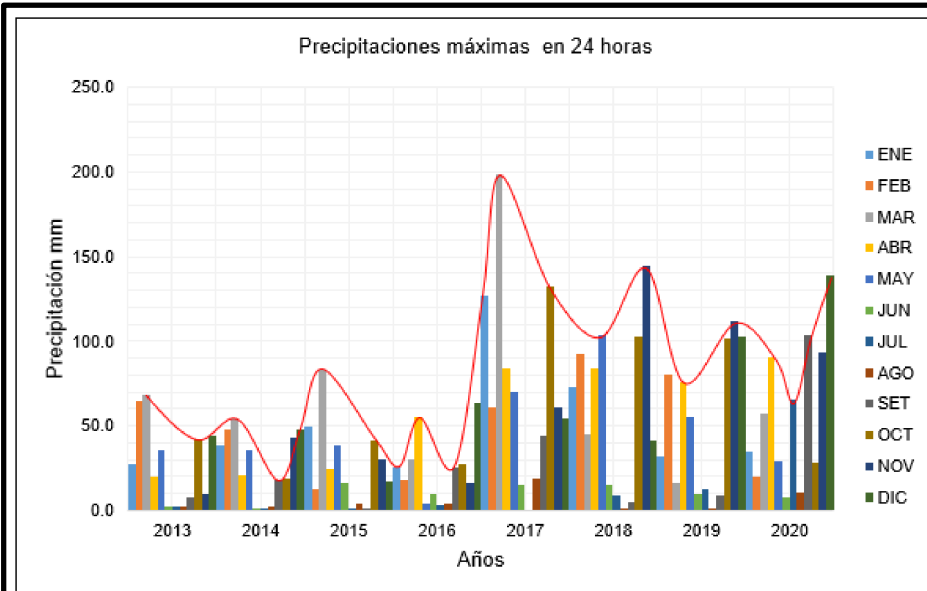
Cuadro 5.4. Registro geológico geotécnico - estación geomecánica 4.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRUMI 49-C, DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA																	BENIAWSKY RMR (1989) Superficie			
CÓDIGO				E-4																				
RESPONSABLE				David Terán Cueva																				
SISTEMA				WGS 84 ZONA 17S																				
EJECUTADO POR				David Terán Cueva																	FECHA		19/12/2020	
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO					PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS													ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLOGÍA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAJ.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO	DUREZA				
					1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	E=Estratificada	σ _{ci}	ND	17	DIRECCIÓN			1=>2	1=<1	1=Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=inalterada	1=Seco	1=Lec. Real	
					2=2lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	D=Diaclasa		L	2.2				2=2-0.6	2=1-3	2=<0.1	2=Rugosa	2=Qz	2=Duro>5mm	2=Lig. Alt.	2=Lig. Húm.	2=Lec. Apar.	
					3=Mod	3=Bajo	3=Bloq-Capas	Fd=F.Directa	Prom. Golpes	λ	7.73	3=0.6-0.2	3=3-10	3=0.1-1	3=Lig. Rug.	3=Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod. Alt.	3=Humedo	3=Lec. Proy.				
					4=Alt. Met.		4=Fract-Intens	mf=Microfalla		3 Golp	Y _p	Z/R	DIP	DD	4=0.2-0.06	4=10-20	4=1-5	4=Ondulad.-lis	4=Óxidos	4=Muy Alt.	4=Goteando			
					5=Compl.		Agregar MB,B,M,P,MP	SE=Sobrees. C=Contacto	5=<0.06						5=>20	5=>5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo			
																		6=Bx						
																		7=Panizo						
																		8=Veta						
																		9=Epsonita						
																		10=Aragonito						
																		11=Prolusita						
1	769908.71	9255386.57	3289.00	Ks-Ca	2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	40	36	130	2	3	4	4	1	5	2	2	1		
2				Calizas gris azuladas de grano fino, con relleno de arcilla	2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	50	33	140	3	3	5	5	1	5	2	2	1		
3					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	78	28	168	3	3	4	5	1	5	2	2	1		
4					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	46	35	136	4	3	4	5	1	5	2	2	1		
5					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	52	30	142	3	3	5	4	1	5	2	2	1		
6					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	67	25	157	4	3	4	5	1	5	2	2	1		
7					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	61	31	151	2	3	4	5	1	5	2	2	1		
8					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	42	23	132	2	3	4	4	1	5	2	2	1		
9					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	59	32	149	3	3	5	5	1	5	2	2	1		
10					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	72	22	162	4	3	4	5	1	5	2	2	1		
11					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	46	29	136	3	3	4	4	1	5	2	2	1		
12					2	2	2	E	R5 (187.23MPa)	81.86	58	24	148	2	3	5	4	1	5	2	2	1		
13				Ks-Ca	2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	315	80	45	2	2	4	4	1	5	2	2	1		
14				Calizas gris azuladas de grano fino, con relleno de arcilla	2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	318	73	48	2	2	4	5	1	5	2	2	1		
15					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	300	65	30	3	3	4	5	1	5	2	2	1		
16					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	308	76	38	2	2	4	5	1	5	2	2	1		
17					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	310	68	40	2	2	4	4	1	5	2	2	1		
18					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	312	78	42	3	3	4	4	1	5	2	2	1		
19					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	296	55	26	3	2	4	4	1	5	2	2	1		
20					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	321	62	51	2	3	4	5	1	5	2	2	1		
21					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	294	74	24	3	2	4	5	1	5	2	2	1		
22					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	325	69	55	2	3	4	5	1	5	2	2	1		
23					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	291	57	21	2	3	4	4	1	5	2	2	1		
24					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	299	62	29	3	2	4	4	1	5	2	2	1		
25					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	316	52	46	3	2	4	5	1	5	2	2	1		
26					2	2	1	Disc-1	R5 (187.23MPa)	81.86	318	68	48	2	3	4	4	1	5	2	2	1		
27				Ks-Ca	2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	215	74	305	3	1	4	4	-	-	2	2	1		
28				Calizas gris azuladas de grano fino, sin relleno	2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	230	70	320	3	1	3	4	-	-	2	2	1		
29					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	238	78	328	3	1	4	5	-	-	2	2	1		
30					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	210	65	300	3	1	4	4	-	-	2	2	1		
31					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	222	72	312	3	1	3	5	-	-	1	2	1		
32					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	219	66	309	3	1	4	4	-	-	1	2	1		
33					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	228	71	318	3	1	3	4	-	-	1	2	1		
34					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	231	79	321	3	1	3	4	-	-	1	2	1		
35					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	207	62	297	3	1	3	5	-	-	2	2	1		
36					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	216	78	306	3	1	4	5	-	-	2	2	1		
37					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	235	55	325	3	1	4	5	-	-	2	2	1		
38					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	239	59	329	3	1	3	4	-	-	1	2	1		
39					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	227	70	317	3	1	4	5	-	-	3	2	1		
40					2	2	2	Disc-2	R5 (187.23MPa)	81.86	224	52	314	3	1	4	4	-	-	1	2	1		
								Talud			64	44	154											

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

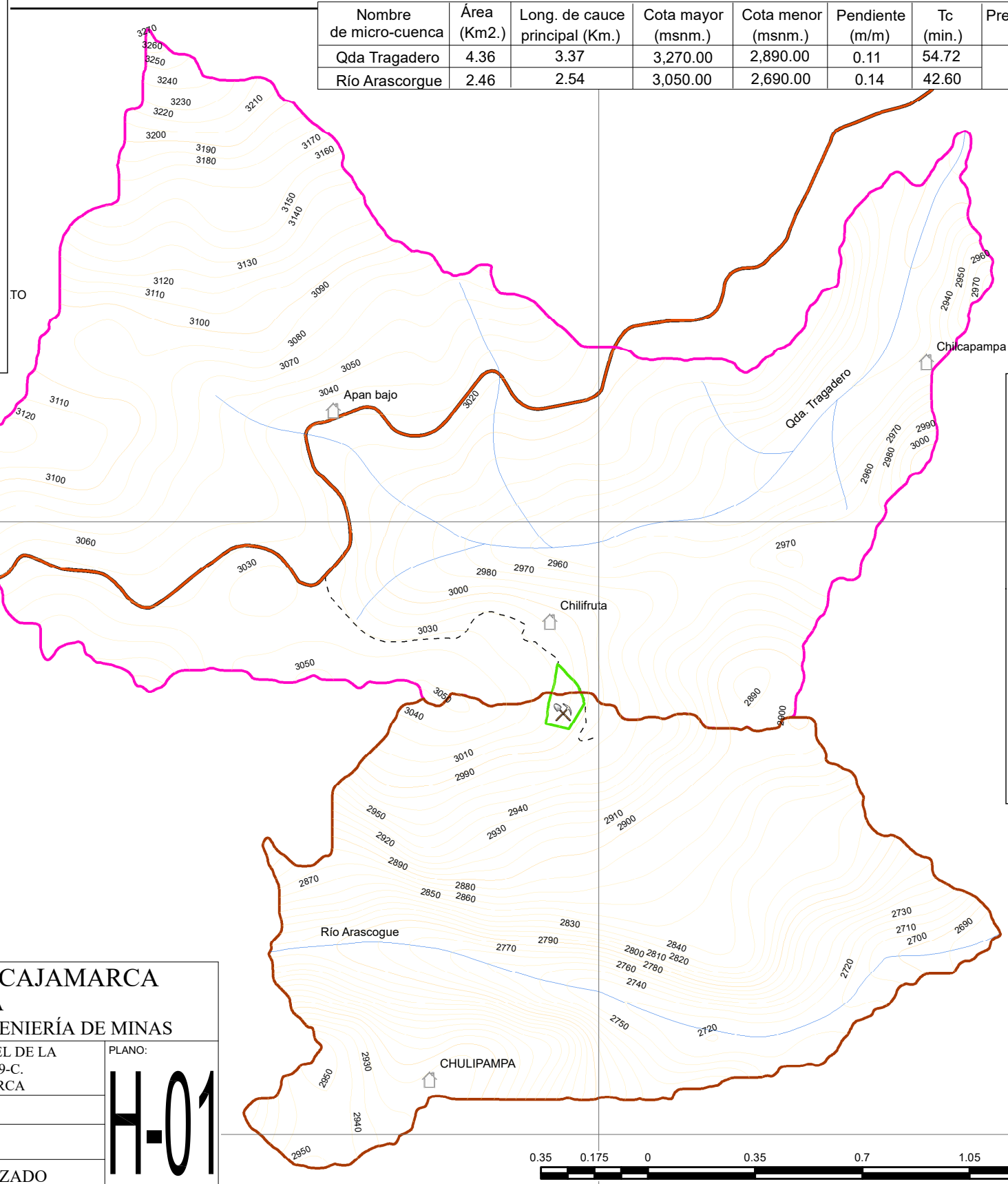
Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

ANEXO C
CUENCA HIDROGRÁFICA



Resultados de la microcuenca de precipitación e infiltración de agua

Nombre de micro-cuenca	Área (Km2.)	Long. de cauce principal (Km.)	Cota mayor (msnm.)	Cota menor (msnm.)	Pendiente (m/m)	Tc (min.)	Precipitación promedio (mm./año)
Qda Tragadero	4.36	3.37	3,270.00	2,890.00	0.11	54.72	515.20
Río Arascorgue	2.46	2.54	3,050.00	2,690.00	0.14	42.60	



Simbología

- Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Centro poblado

Propiedad

- Terreno superficial

Vías


- Trocha carrozable
- Asfaltado

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Hidrología

- Drenaje
- Micro-cuenca Qda. Tragadero
- Micro-cuenca Río Arascorgue



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA

HIDROLÓGICO

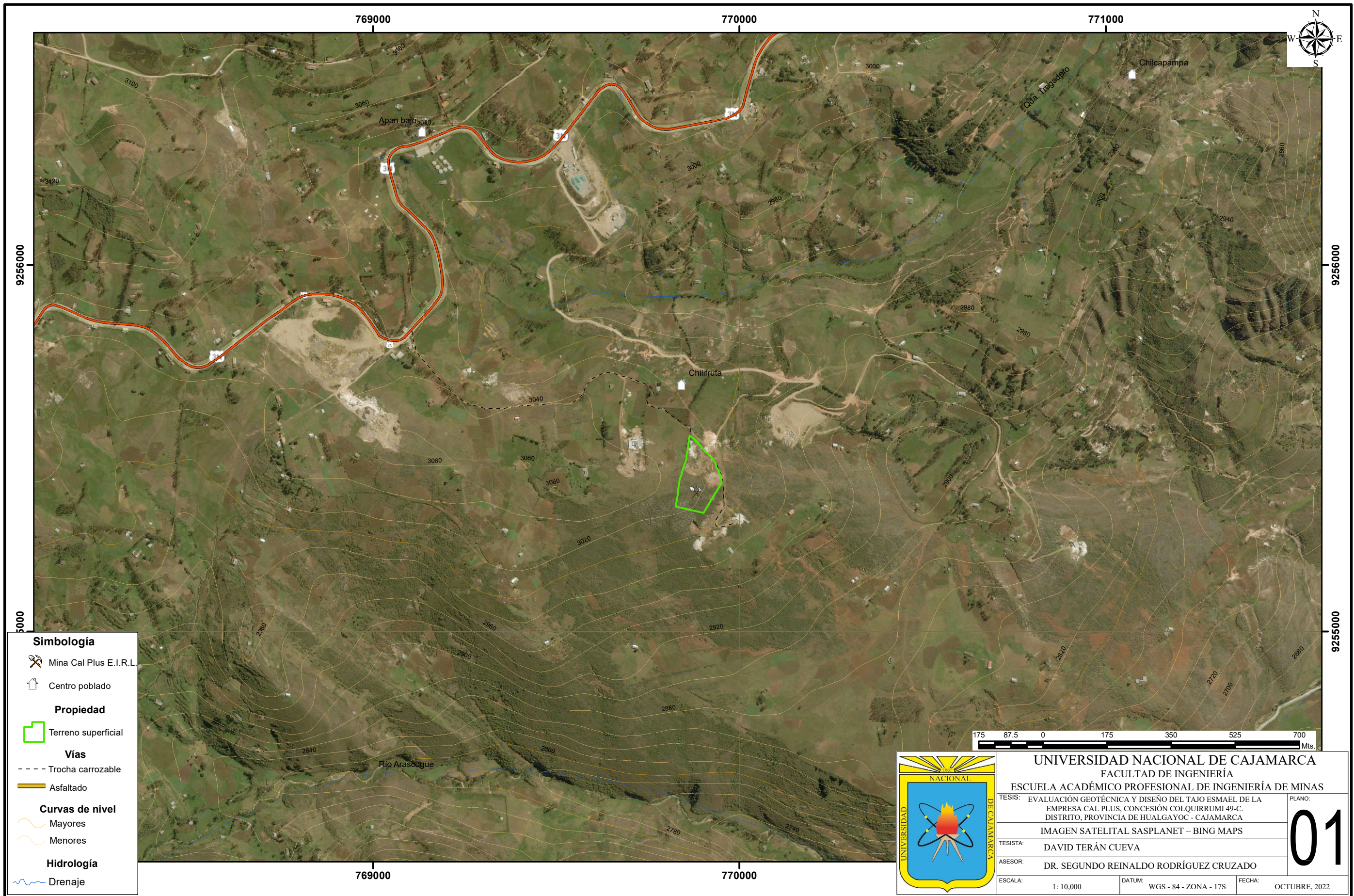
TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA

ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO









ESCALA: 1: 17,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022

H-01

ANEXO D
PLANOS TEMÁTICOS

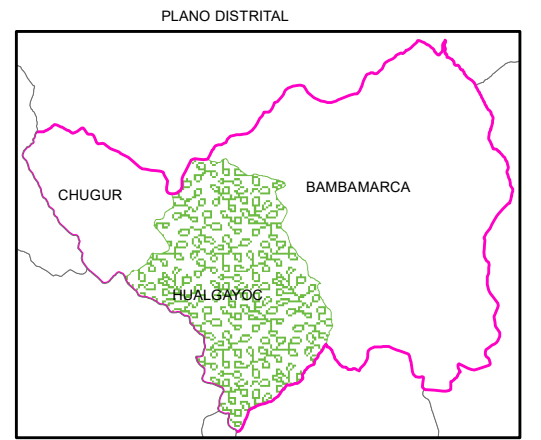
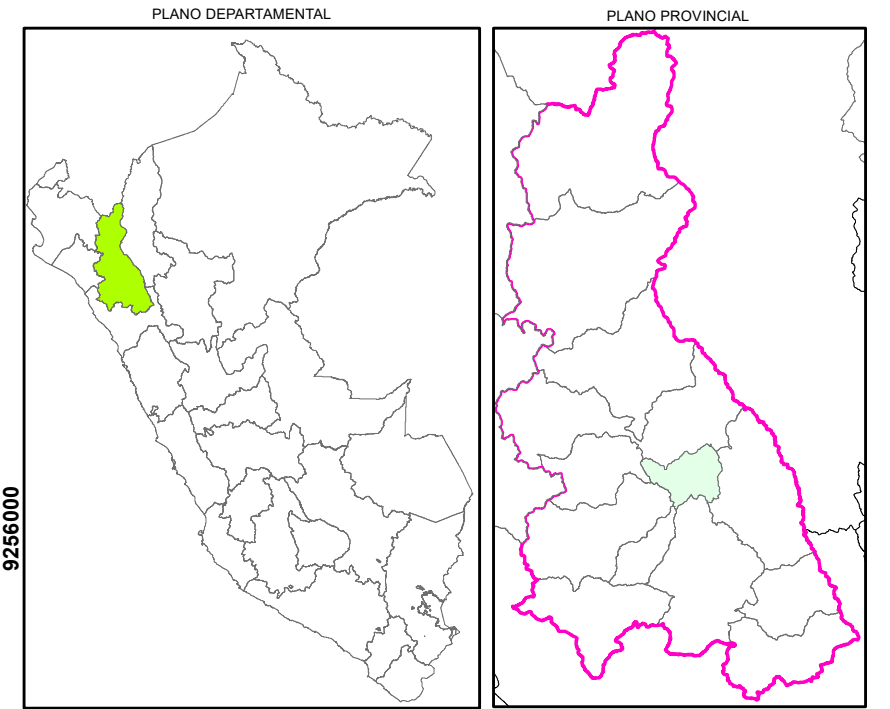
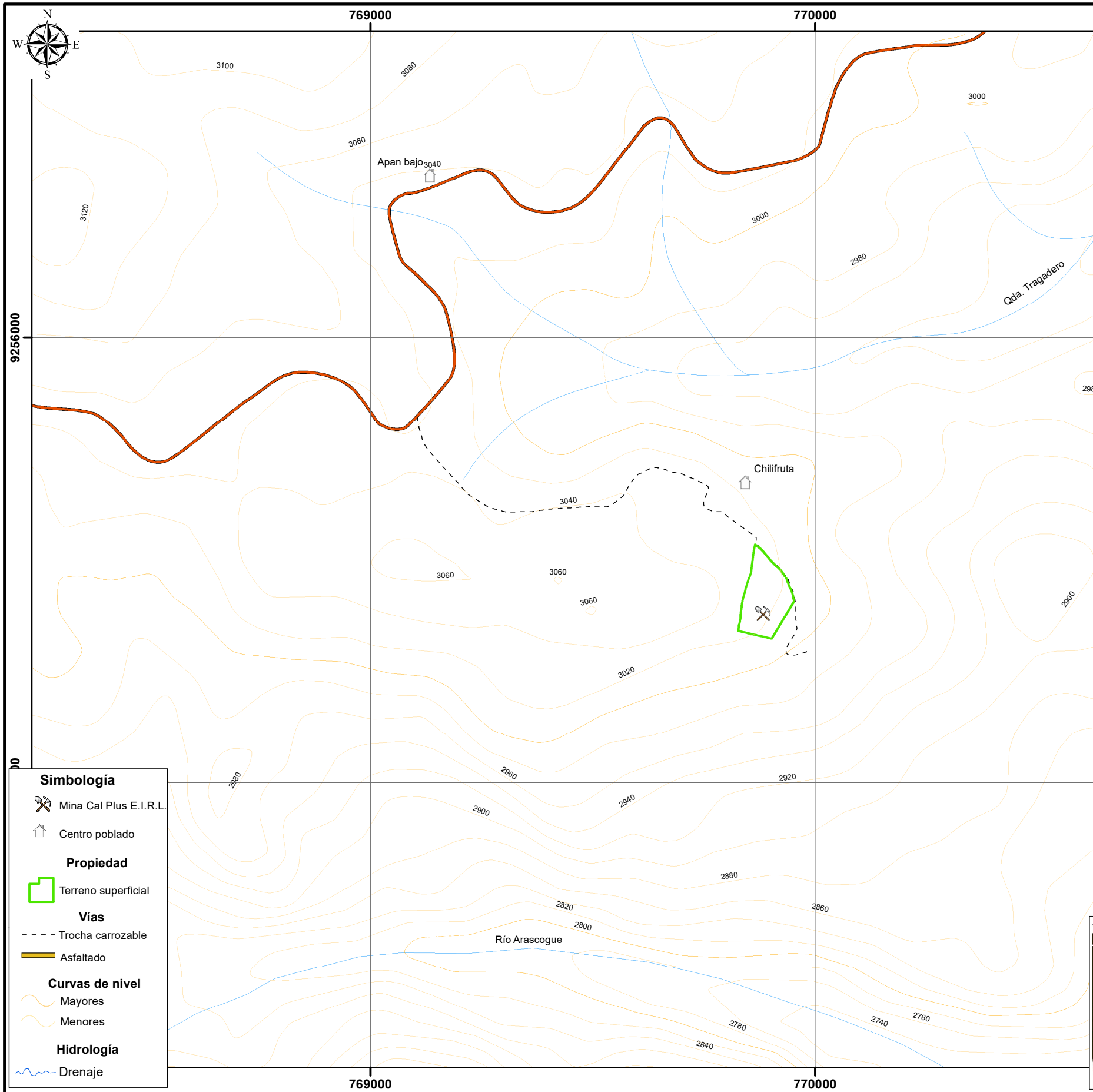


Simbología

-  Mina Cal Plus E.I.R.L.
-  Centro poblado
- Propiedad**
-  Terreno superficial
- Vías**
-  Trocha carrozable
-  Asfaltado
- Curvas de nivel**
-  Mayores
-  Menores
- Hidrología**
-  Drenaje



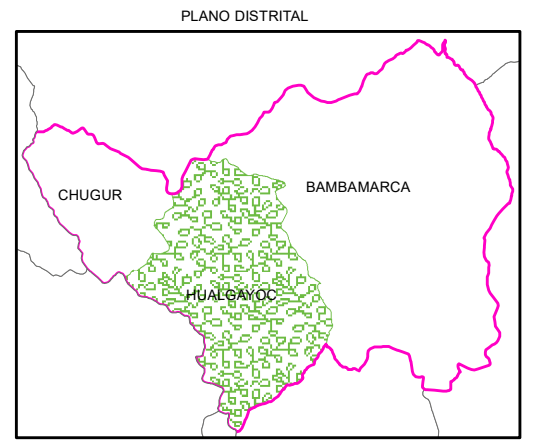
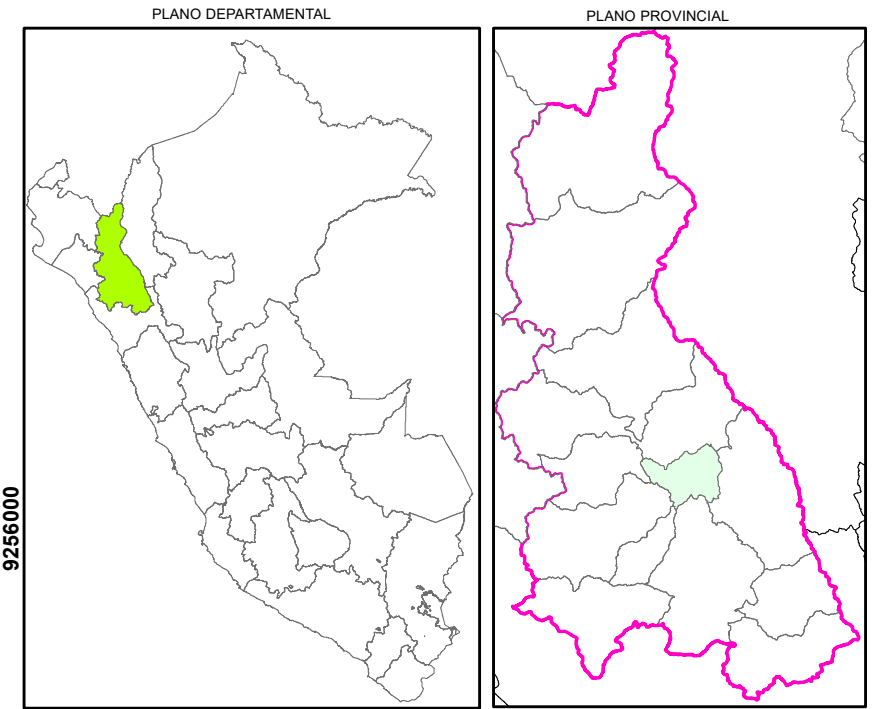
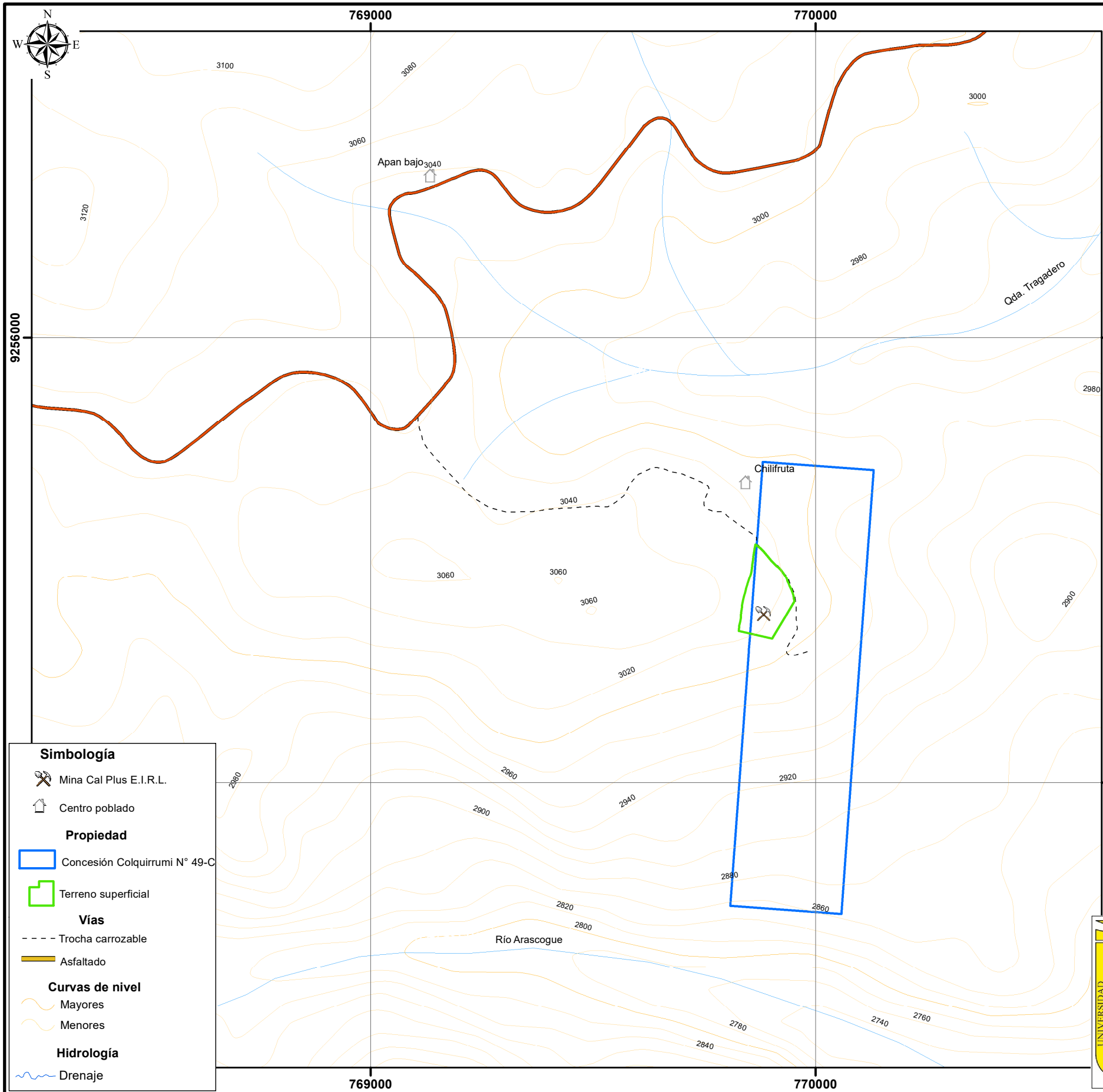
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA		PLANO: 01
IMAGEN SATELITAL SASPLANET - BING MAPS		
TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA		
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO		
ESCALA: 1: 10,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: OCTUBRE, 2022



- Simbología**
- Mina Cal Plus E.I.R.L.
 - Centro poblado
 - Propiedad**
 - Terreno superficial
 - Vías**
 - Trocha carrozable
 - Asfaltado
 - Curvas de nivel**
 - Mayores
 - Menores
 - Hidrología**
 - Drenaje



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA		PLANO:
MDE (MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN)		02
TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA		
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO		
ESCALA: 1: 10,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: OCTUBRE, 2022



Simbología

- Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Centro poblado

Propiedad

- Concesión Colquirrumi N° 49-C
- Terreno superficial

Vías

- Trocha carrozable
- Asfaltado

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

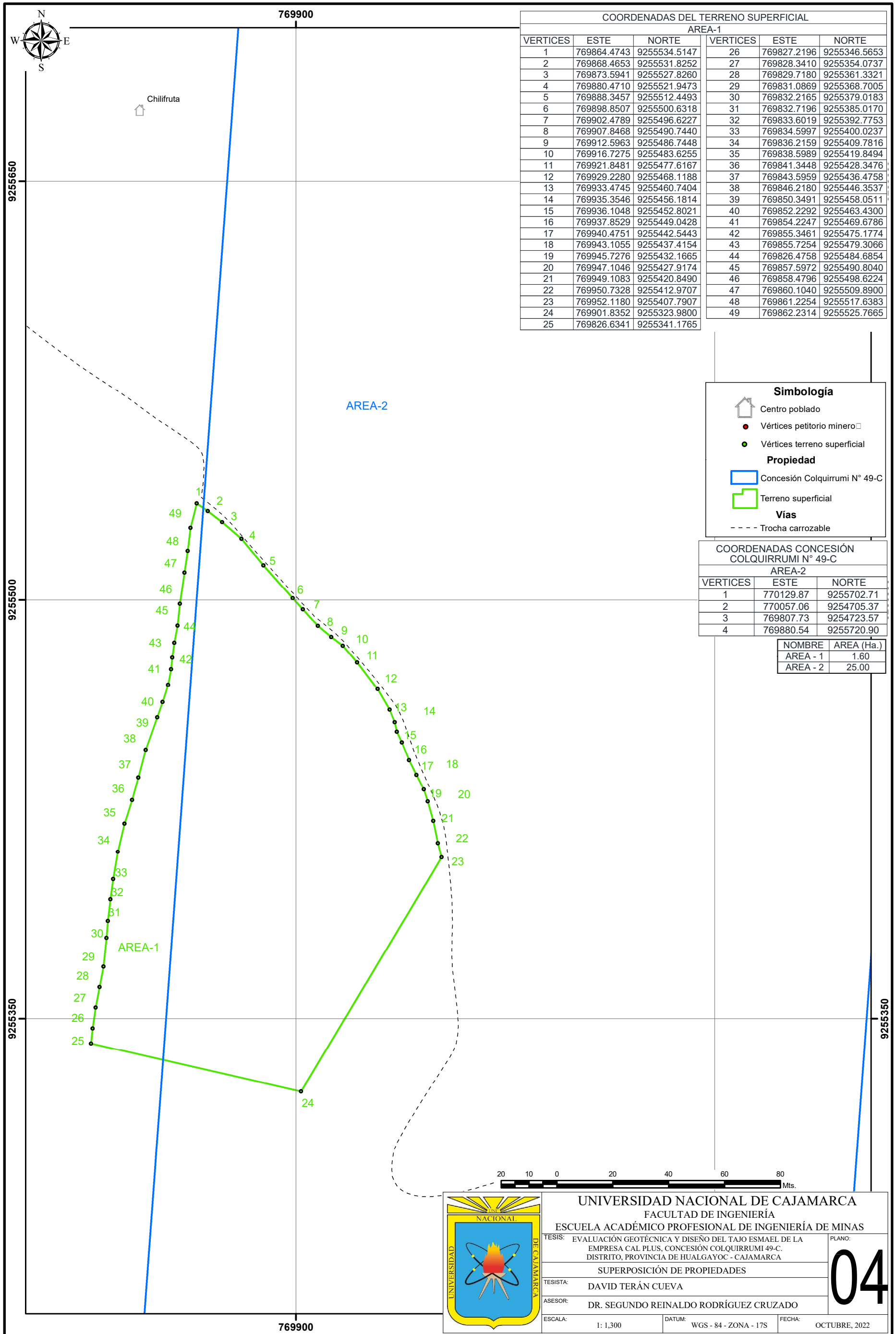
Hidrología

- Drenaje



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA		
PETITORIO MINERO		
TESISTA:	DAVID TERÁN CUEVA	
ASESOR:	DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA:	1: 10,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA: OCTUBRE, 2022

PLANO: **03**



COORDENADAS DEL TERRENO SUPERFICIAL					
AREA-1					
VERTICES	ESTE	NORTE	VERTICES	ESTE	NORTE
1	769864.4743	9255534.5147	26	769827.2196	9255346.5653
2	769868.4653	9255531.8252	27	769828.3410	9255354.0737
3	769873.5941	9255527.8260	28	769829.7180	9255361.3321
4	769880.4710	9255521.9473	29	769831.0869	9255368.7005
5	769888.3457	9255512.4493	30	769832.2165	9255379.0183
6	769898.8507	9255500.6318	31	769832.7196	9255385.0170
7	769902.4789	9255496.6227	32	769833.6019	9255392.7753
8	769907.8468	9255490.7440	33	769834.5997	9255400.0237
9	769912.5963	9255486.7448	34	769836.2159	9255409.7816
10	769916.7275	9255483.6255	35	769838.5989	9255419.8494
11	769921.8481	9255477.6167	36	769841.3448	9255428.3476
12	769929.2280	9255468.1188	37	769843.5959	9255436.4758
13	769933.4745	9255460.7404	38	769846.2180	9255446.3537
14	769935.3546	9255456.1814	39	769850.3491	9255458.0511
15	769936.1048	9255452.8021	40	769852.2292	9255463.4300
16	769937.8529	9255449.0428	41	769854.2247	9255469.6786
17	769940.4751	9255442.5443	42	769855.3461	9255475.1774
18	769943.1055	9255437.4154	43	769855.7254	9255479.3066
19	769945.7276	9255432.1665	44	769826.4758	9255484.6854
20	769947.1046	9255427.9174	45	769857.5972	9255490.8040
21	769949.1083	9255420.8490	46	769858.4796	9255498.6224
22	769950.7328	9255412.9707	47	769860.1040	9255509.8900
23	769952.1180	9255407.7907	48	769861.2254	9255517.6383
24	769901.8352	9255323.9800	49	769862.2314	9255525.7665
25	769826.6341	9255341.1765			

Simbología	
	Centro poblado
	Vértices petitorio minero
	Vértices terreno superficial
Propiedad	
	Concesión Colquirrumi N° 49-C
	Terreno superficial
Vías	
	Trocha carrozable

COORDENADAS CONCESIÓN COLQUIRRUMI N° 49-C		
AREA-2		
VERTICES	ESTE	NORTE
1	770129.87	9255702.71
2	770057.06	9254705.37
3	769807.73	9254723.57
4	769880.54	9255720.90

NOMBRE	AREA (Ha.)
AREA - 1	1.60
AREA - 2	25.00

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C, DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA

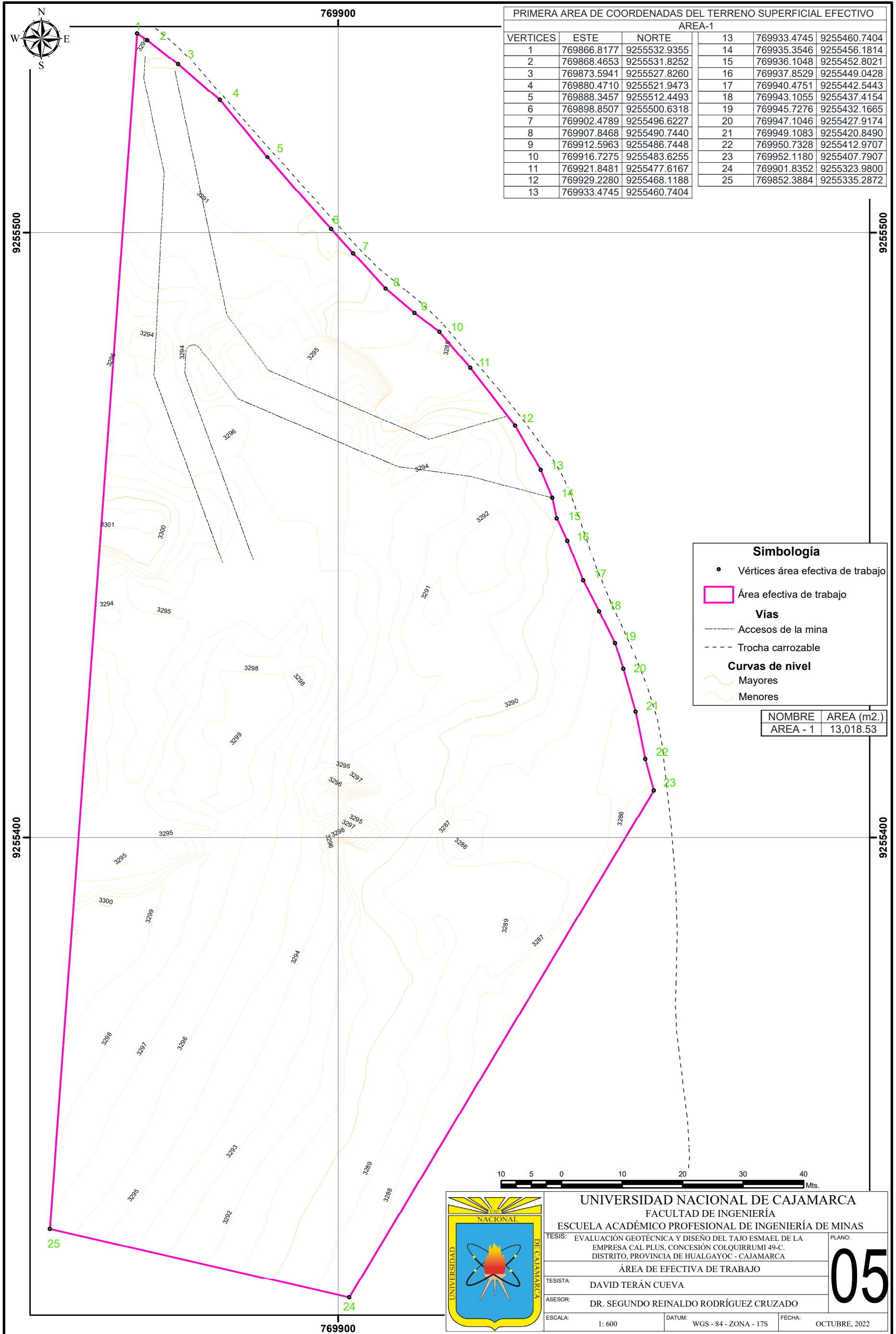
PLANO: **04**

SUPERPOSICIÓN DE PROPIEDADES

TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA

ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

ESCALA: 1:1,300 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022



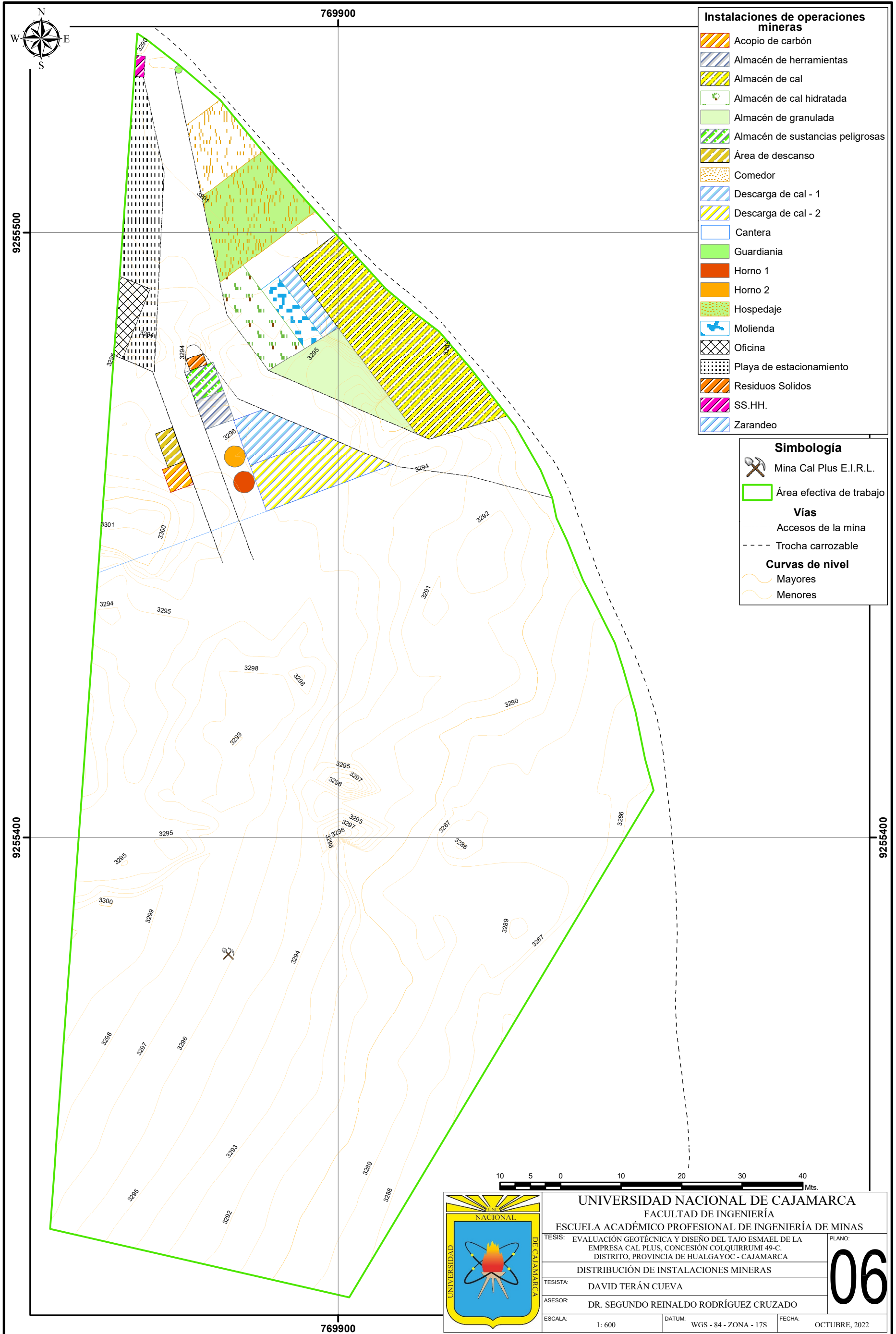
PRIMERA AREA DE COORDENADAS DEL TERRENO SUPERFICIAL EFECTIVO				
AREA-1				
VERTICES	ESTE	NORTE		
1	769866.8177	9255532.9355	13	769933.4745
2	769868.4653	9255531.8252	14	769935.3546
3	769873.5941	9255527.8260	15	769936.1048
4	769880.4710	9255521.9473	16	769937.8529
5	769888.3457	9255512.4493	17	769940.4751
6	769898.8507	9255500.6318	18	769943.1055
7	769902.4789	9255496.6227	19	769945.7276
8	769907.8468	9255490.7440	20	769947.1046
9	769912.5963	9255486.7448	21	769949.1083
10	769916.7275	9255483.6255	22	769950.7328
11	769921.8481	9255477.6167	23	769952.1180
12	769929.2280	9255468.1188	24	769901.8352
13	769933.4745	9255460.7404	25	769852.3884

Simbología	
•	Vértices área efectiva de trabajo
	Área efectiva de trabajo
Vías	
---	Accesos de la mina
- - -	Trocha carrozable
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores

NOMBRE	AREA (m2.)
AREA - 1	13,018.53



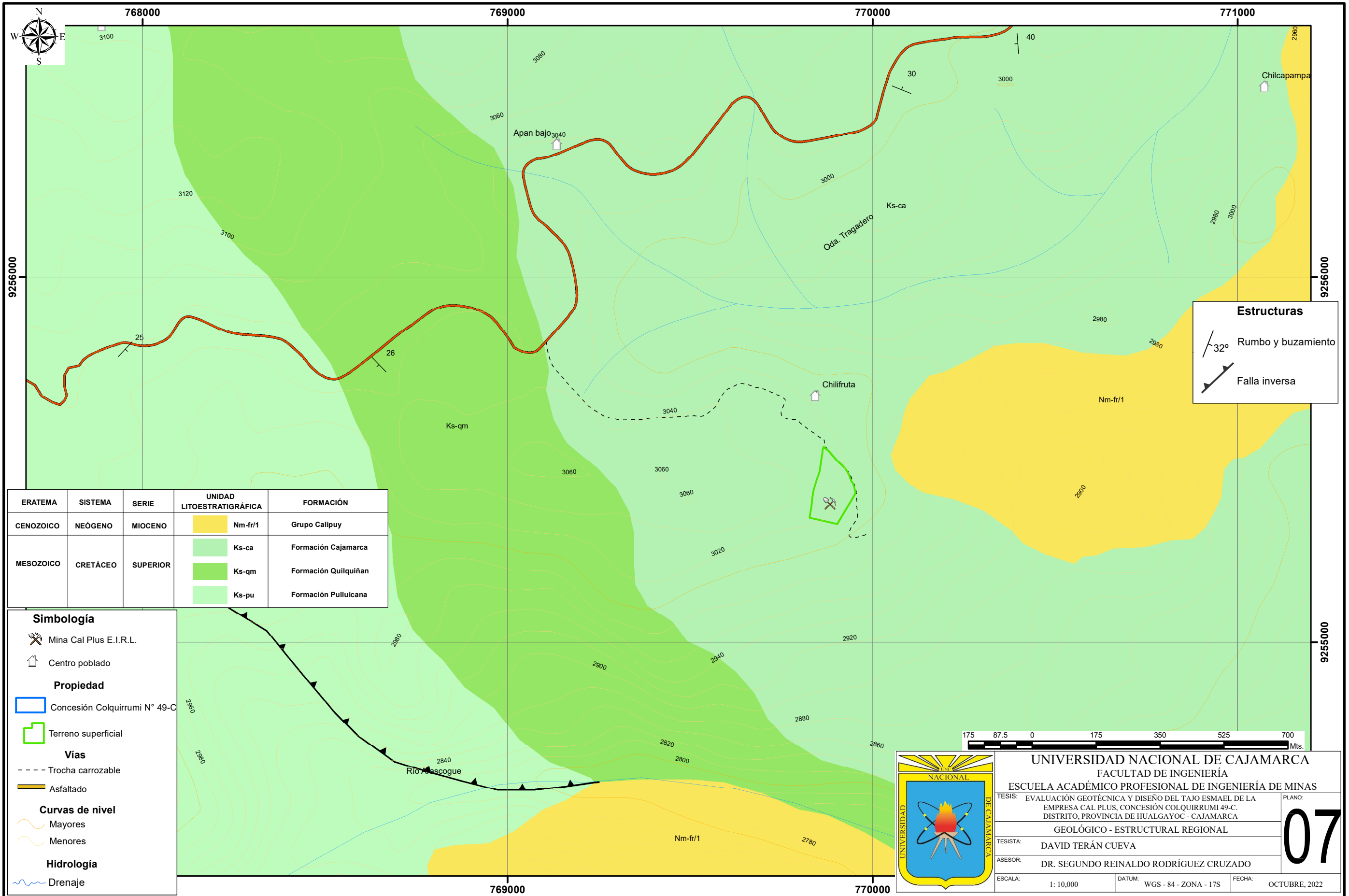
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		05
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
	TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA		
ÁREA DE EFECTIVA DE TRABAJO			
TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA			
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO			
ESCALA: 1: 600	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: OCTUBRE, 2022	



- Instalaciones de operaciones mineras**
- Acopio de carbón
 - Almacén de herramientas
 - Almacén de cal
 - Almacén de cal hidratada
 - Almacén de granulada
 - Almacén de sustancias peligrosas
 - Área de descanso
 - Comedor
 - Descarga de cal - 1
 - Descarga de cal - 2
 - Cantera
 - Guardiania
 - Horno 1
 - Horno 2
 - Hospedaje
 - Molienda
 - Oficina
 - Playa de estacionamiento
 - Residuos Solidos
 - SS.HH.
 - Zarandeo

- Simbología**
- Mina Cal Plus E.I.R.L.
 - Área efectiva de trabajo
- Vías**
- Accesos de la mina
 - Trocha carrozable
- Curvas de nivel**
- Mayores
 - Menores

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		06
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
	TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA		
DISTRIBUCIÓN DE INSTALACIONES MINERAS			
TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA			
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO			
ESCALA:	1: 600	DATUM:	WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA:	OCTUBRE, 2022



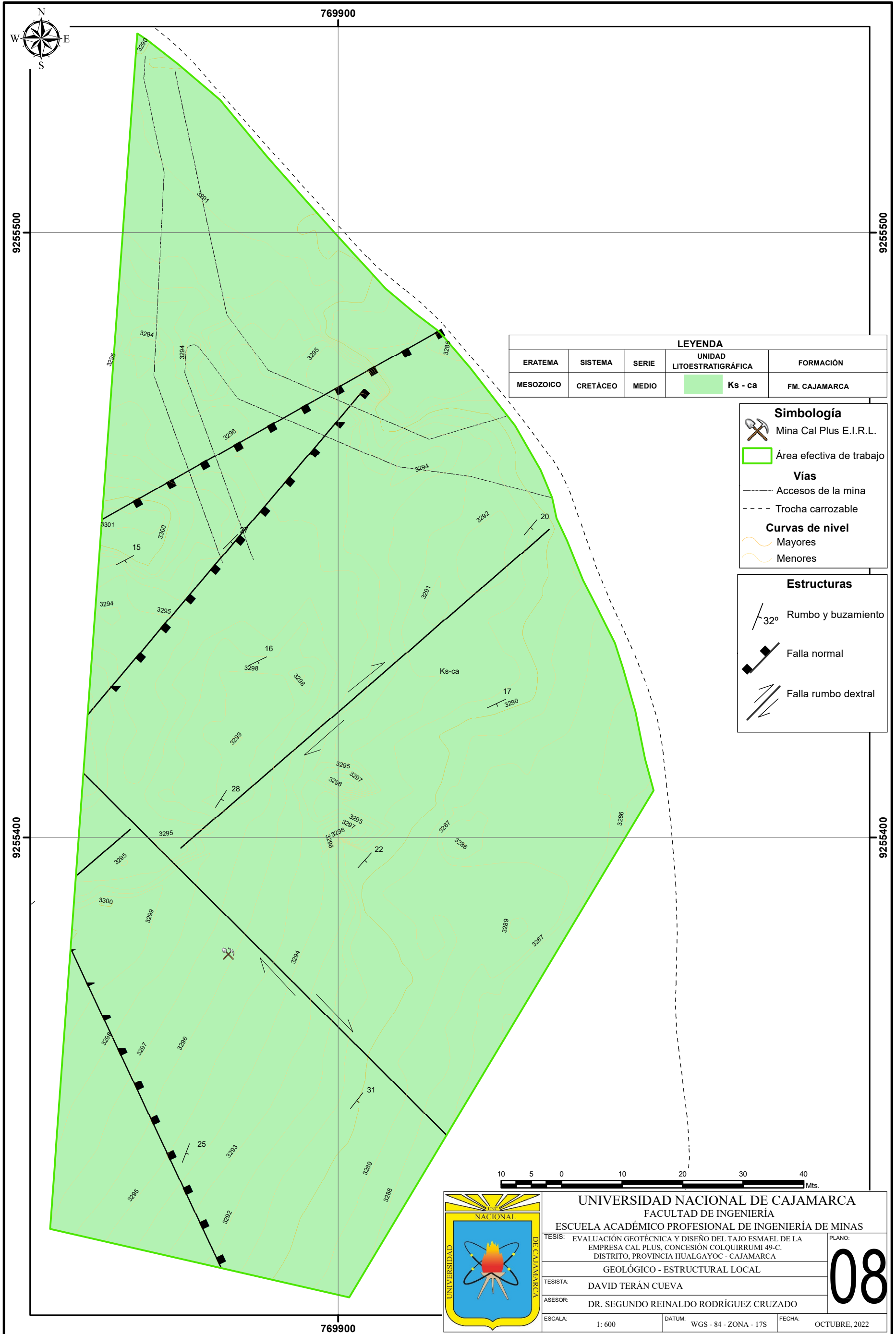
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
CENOZOICO	NEÓGENO	MIOCENO	Nm-fr/1	Grupo Calipuy
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Ks-ca	Formación Cajamarca
			Ks-qm	Formación Quilquiñan
			Ks-pu	Formación Pullucana

Simbología	
	Mina Cal Plus E.I.R.L.
	Centro poblado
Propiedad	
	Concesión Colquirrumi N° 49-C
	Terreno superficial
Vías	
	Trocha carrozable
	Asfaltado
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores
Hidrología	
	Drenaje

Estructuras	
	Rumbo y buzamiento
	Falla inversa



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA		
GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL REGIONAL		07
TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO		
ESCALA: 1: 10,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: OCTUBRE, 2022



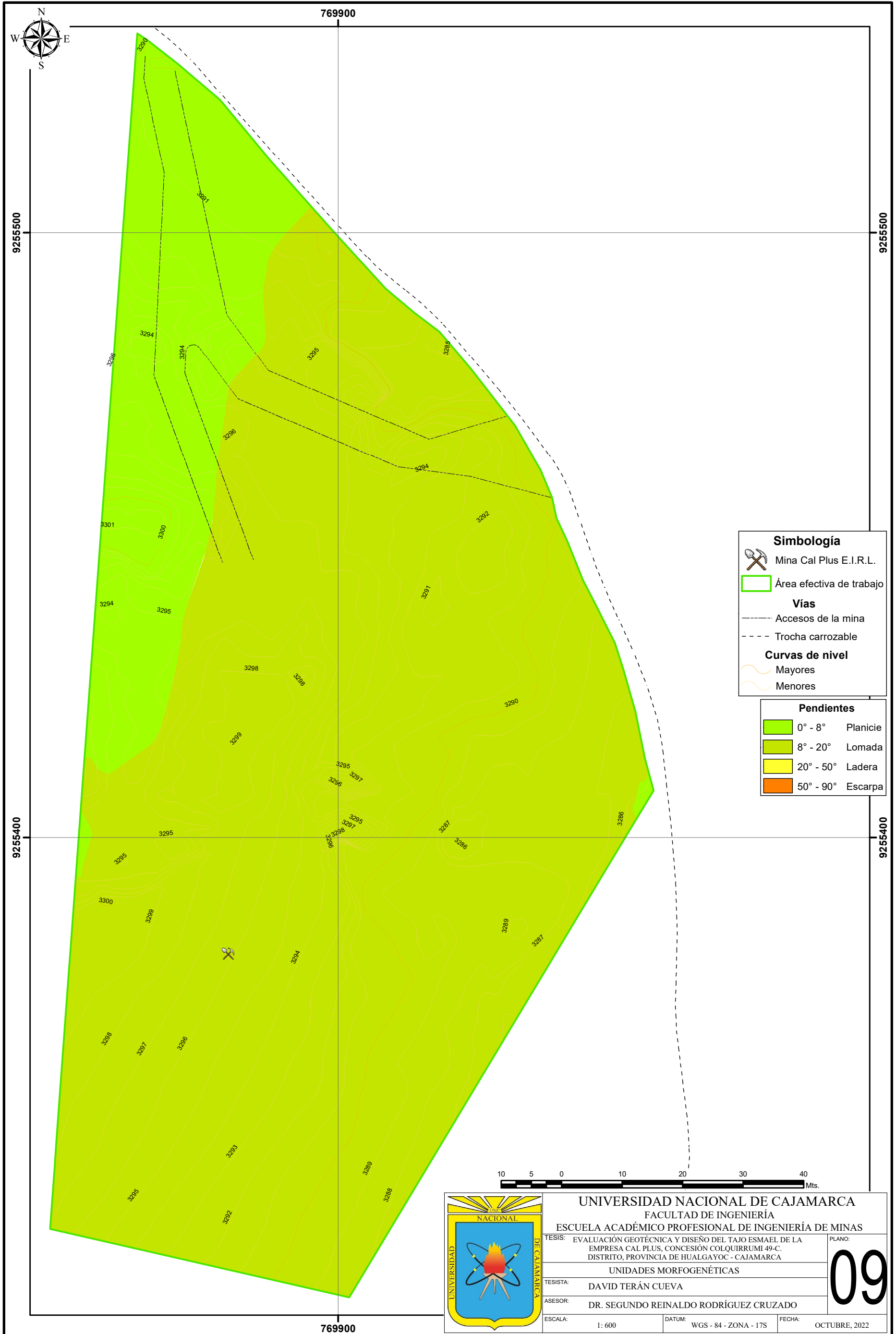
LEYENDA				
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
MESOZOICO	CRETÁCEO	MEDIO	Ks - ca	FM. CAJAMARCA

Simbología	
	Mina Cal Plus E.I.R.L.
	Área efectiva de trabajo
Vías	
	Accesos de la mina
	Trocha carrozable
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores

Estructuras	
	32° Rumbo y buzamiento
	Falla normal
	Falla rumbo dextral



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		08
	TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - CAJAMARCA		
	GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL		
	TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO		
ESCALA: 1: 600	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: OCTUBRE, 2022	



Simbología

- Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Área efectiva de trabajo

Vías

- Accesos de la mina
- Trocha carrozable

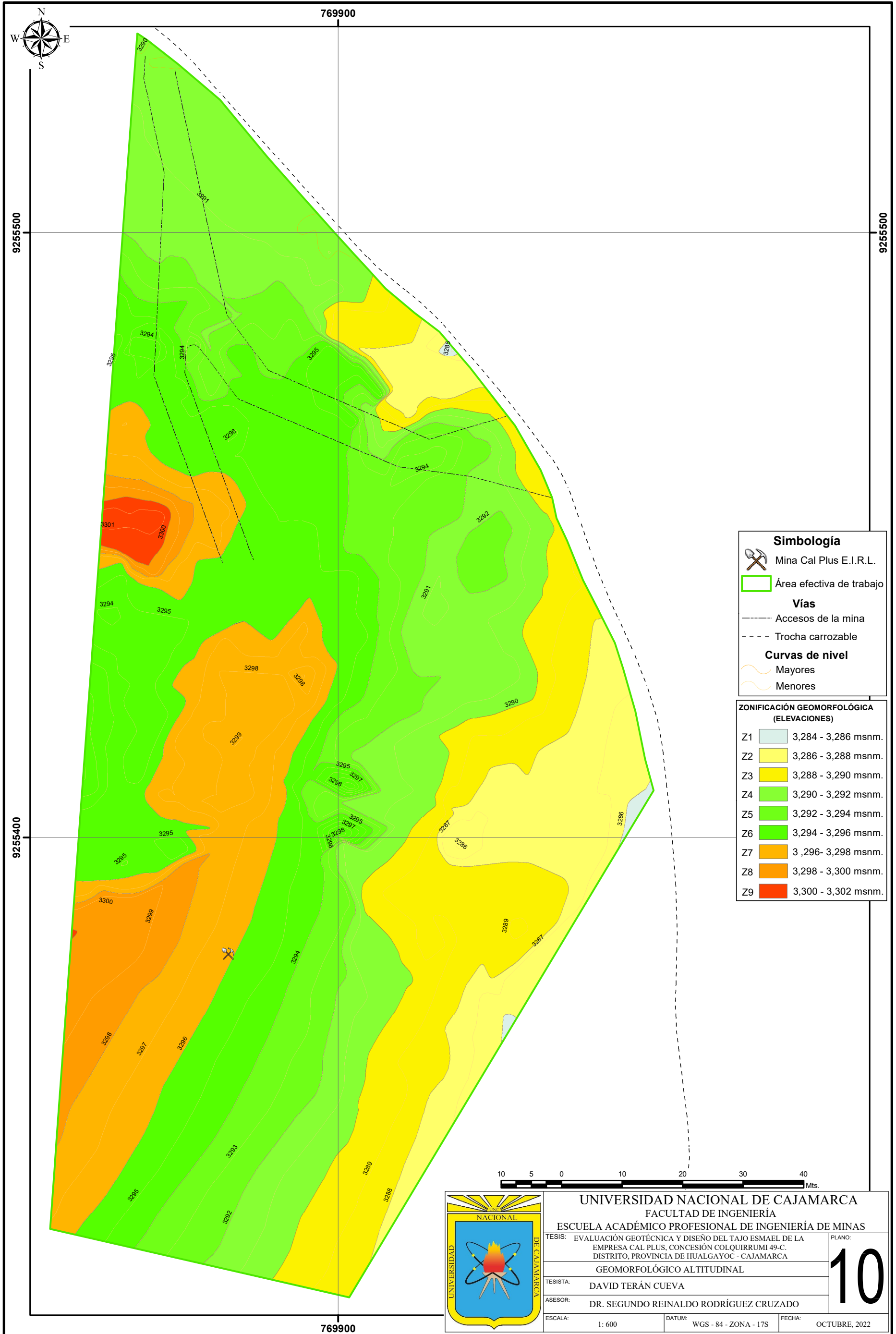
Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Pendientes

	0° - 8°	Planicie
	8° - 20°	Lomada
	20° - 50°	Ladera
	50° - 90°	Escarpa

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		09
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
	UNIDADES MORFOGENÉTICAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA			PLANO:
TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA			
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO			
ESCALA:	1: 600	DATUM:	WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA:	OCTUBRE, 2022



Simbología

- Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Área efectiva de trabajo

Vías

- Accesos de la mina
- Trocha carrozable

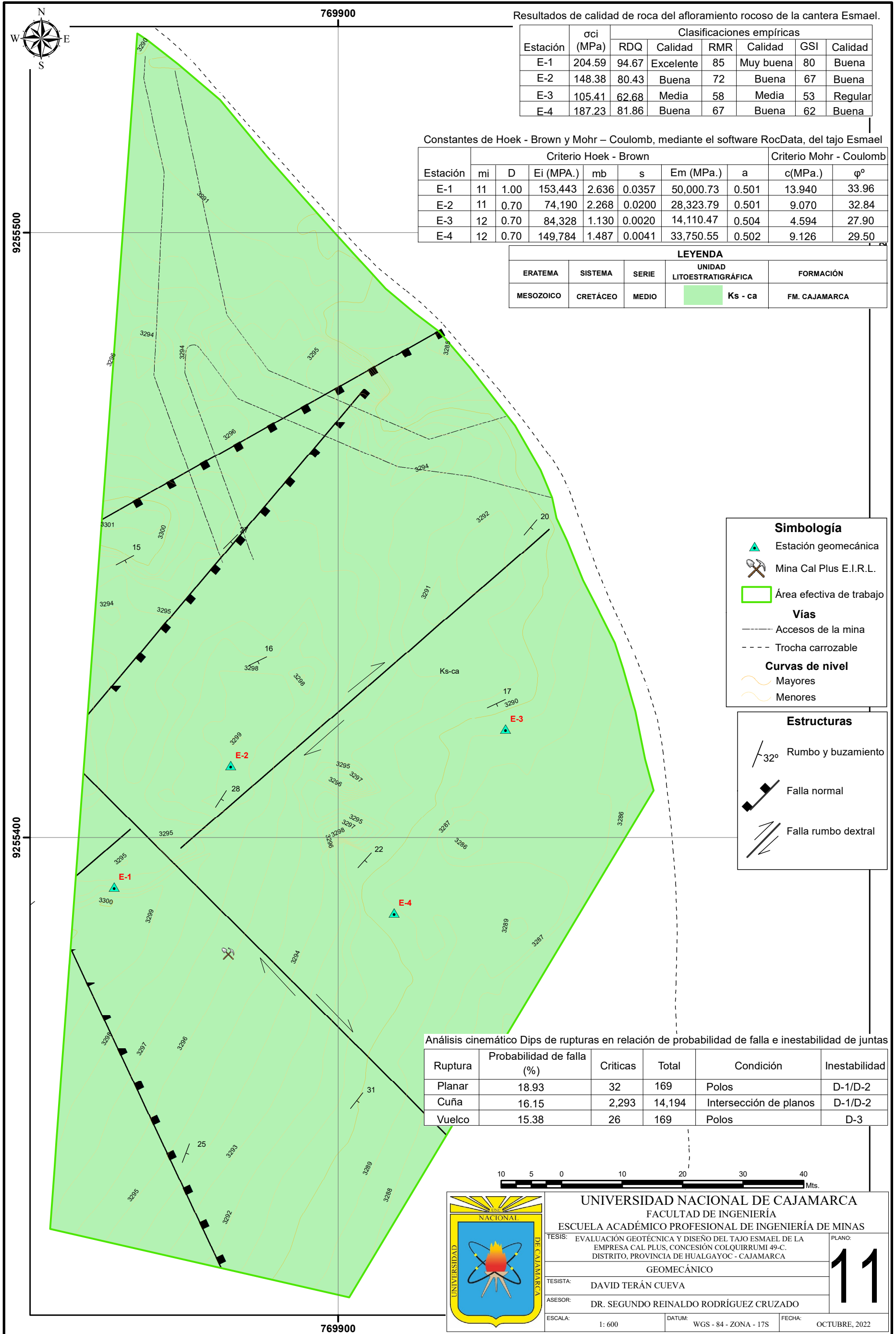
Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA (ELEVACIONES)

Z1	3,284 - 3,286 msnm.
Z2	3,286 - 3,288 msnm.
Z3	3,288 - 3,290 msnm.
Z4	3,290 - 3,292 msnm.
Z5	3,292 - 3,294 msnm.
Z6	3,294 - 3,296 msnm.
Z7	3,296 - 3,298 msnm.
Z8	3,298 - 3,300 msnm.
Z9	3,300 - 3,302 msnm.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		10
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
	TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA		
GEOMORFOLÓGICO ALTITUDINAL			
TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA			
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO			
ESCALA:	1: 600	DATUM:	WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA:	OCTUBRE, 2022



Resultados de calidad de roca del afloramiento rocoso de la cantera Esmael.

Estación	σ_{ci} (MPa)	Clasificaciones empíricas					
		RDQ	Calidad	RMR	Calidad	GSI	Calidad
E-1	204.59	94.67	Excelente	85	Muy buena	80	Buena
E-2	148.38	80.43	Buena	72	Buena	67	Buena
E-3	105.41	62.68	Media	58	Media	53	Regular
E-4	187.23	81.86	Buena	67	Buena	62	Buena

Constantes de Hoek - Brown y Mohr - Coulomb, mediante el software RocData, del tajo Esmael

Estación	Criterio Hoek - Brown							Criterio Mohr - Coulomb	
	mi	D	Ei (MPa.)	mb	s	Em (MPa.)	a	c(MPa.)	ϕ°
E-1	11	1.00	153,443	2.636	0.0357	50,000.73	0.501	13.940	33.96
E-2	11	0.70	74,190	2.268	0.0200	28,323.79	0.501	9.070	32.84
E-3	12	0.70	84,328	1.130	0.0020	14,110.47	0.504	4.594	27.90
E-4	12	0.70	149,784	1.487	0.0041	33,750.55	0.502	9.126	29.50

LEYENDA				
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
MESOZOICO	CRETÁCEO	MEDIO	Ks - ca	FM. CAJAMARCA

Simbología

- ▲ Estación geomecánica
- ⚒ Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Área efectiva de trabajo

Vías

- Accesos de la mina
- - - Trocha carrozable

Curvas de nivel

- ~ Mayores
- ~ Menores

Estructuras

- ↘ 32° Rumbo y buzamiento
- ▬ Falla normal
- ↗ Falla rumbo dextral

Análisis cinemático Dips de rupturas en relación de probabilidad de falla e inestabilidad de juntas

Ruptura	Probabilidad de falla (%)	Criticas	Total	Condición	Inestabilidad
Planar	18.93	32	169	Polos	D-1/D-2
Cuña	16.15	2,293	14,194	Intersección de planos	D-1/D-2
Vuelco	15.38	26	169	Polos	D-3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA

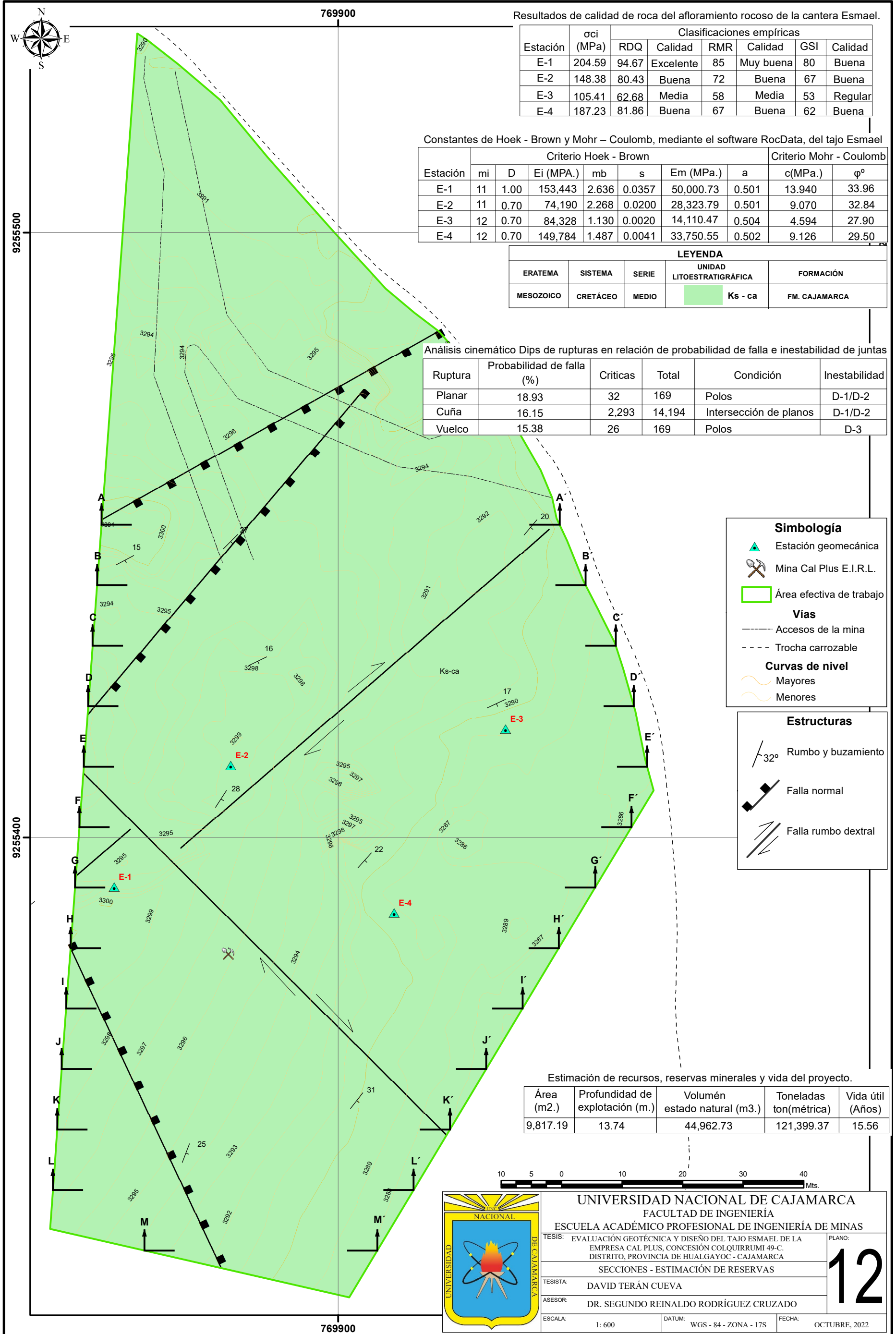
GEOMECÁNICO

TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA

ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

ESCALA: 1: 600 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022

11



Resultados de calidad de roca del afloramiento rocoso de la cantera Esmael.

Estación	σ_{ci} (MPa)	Clasificaciones empíricas					
		RDQ	Calidad	RMR	Calidad	GSI	Calidad
E-1	204.59	94.67	Excelente	85	Muy buena	80	Buena
E-2	148.38	80.43	Buena	72	Buena	67	Buena
E-3	105.41	62.68	Media	58	Media	53	Regular
E-4	187.23	81.86	Buena	67	Buena	62	Buena

Constantes de Hoek - Brown y Mohr - Coulomb, mediante el software RocData, del tajo Esmael

Estación	Criterio Hoek - Brown						Criterio Mohr - Coulomb		
	mi	D	Ei (MPa.)	mb	s	Em (MPa.)	a	c(MPa.)	ϕ°
E-1	11	1.00	153,443	2.636	0.0357	50,000.73	0.501	13.940	33.96
E-2	11	0.70	74,190	2.268	0.0200	28,323.79	0.501	9.070	32.84
E-3	12	0.70	84,328	1.130	0.0020	14,110.47	0.504	4.594	27.90
E-4	12	0.70	149,784	1.487	0.0041	33,750.55	0.502	9.126	29.50

LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
MESOZOICO	CRETÁCEO	MEDIO	Ks - ca	FM. CAJAMARCA

Análisis cinemático Dips de rupturas en relación de probabilidad de falla e inestabilidad de juntas

Ruptura	Probabilidad de falla (%)	Criticas	Total	Condición	Inestabilidad
Planar	18.93	32	169	Polos	D-1/D-2
Cuña	16.15	2,293	14,194	Intersección de planos	D-1/D-2
Vuelco	15.38	26	169	Polos	D-3

Simbología

- ▲ Estación geomecánica
- ⚒ Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Área efectiva de trabajo

Vías

- Accesos de la mina
- - - Trocha carrozable

Curvas de nivel

- ~ Mayores
- ~ Menores

Estructuras

- ↘ 32° Rumbo y buzamiento
- ▬ Falla normal
- ↗ Falla rumbo dextral

Estimación de recursos, reservas minerales y vida del proyecto.

Área (m ² .)	Profundidad de explotación (m.)	Volumén estado natural (m ³ .)	Toneladas ton(métrica)	Vida útil (Años)
9,817.19	13.74	44,962.73	121,399.37	15.56



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA

SECCIONES - ESTIMACIÓN DE RESERVAS

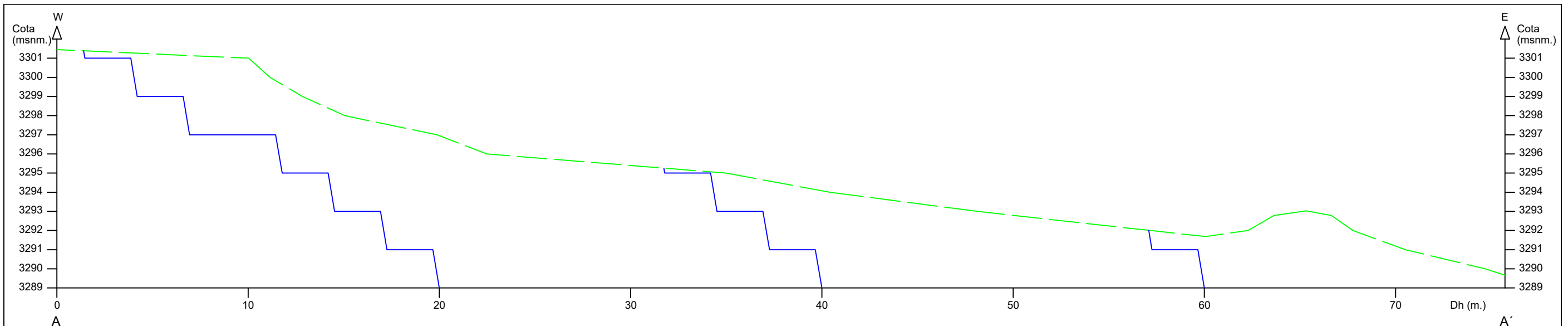
TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA

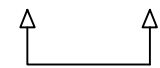


ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

ESCALA: 1: 600 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022

PLANO: **12**

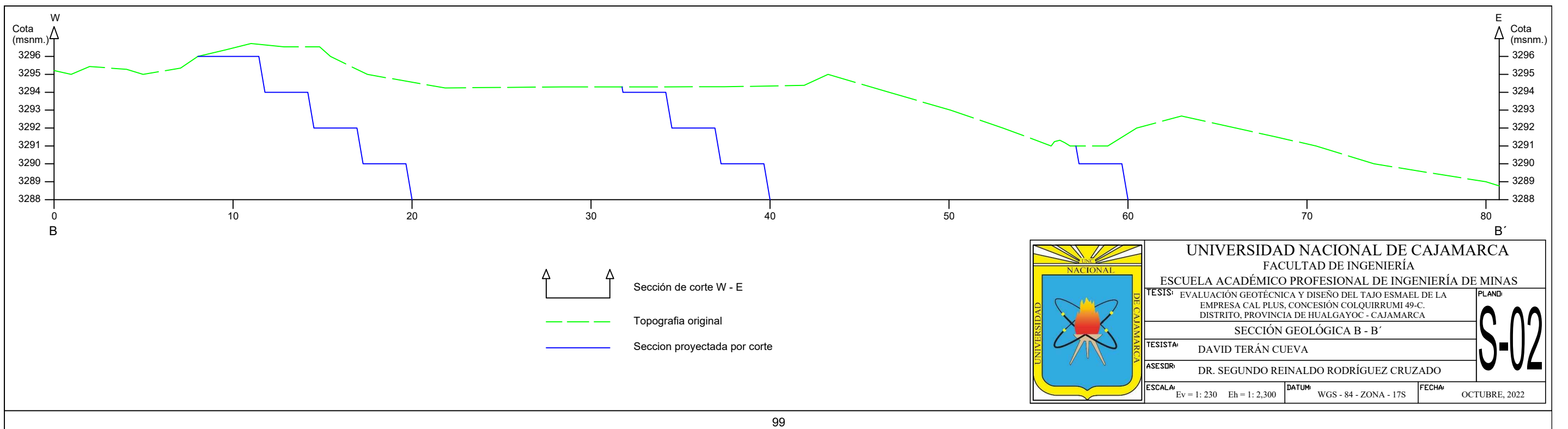
ANEXO E
SECCIONES DE CORTE DE LA CANTERA

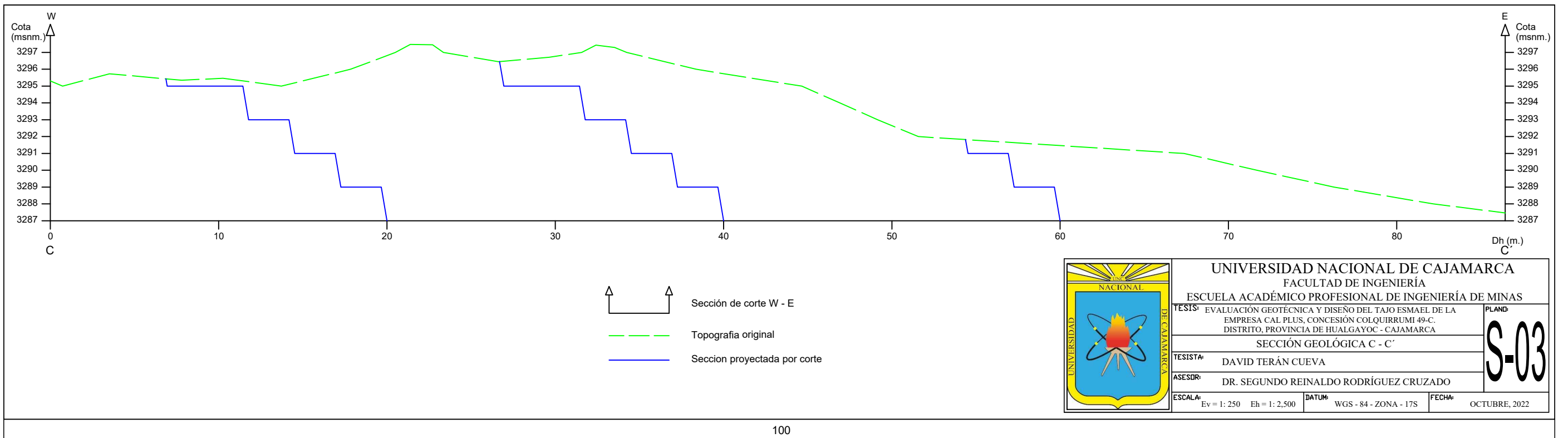


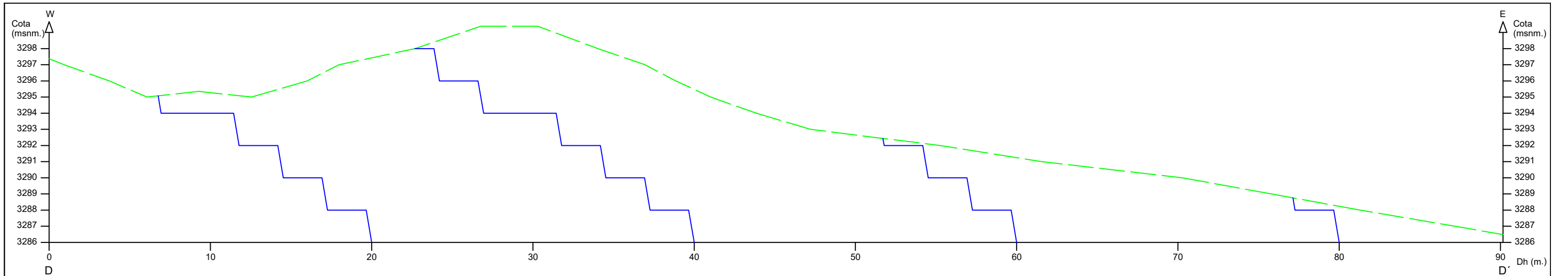
 Sección de corte W - E
 Topografía original
 Sección proyectada por corte



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C, DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA	
SECCIÓN GEOLÓGICA A - A'	
TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA	S-01
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA: Ev = 1: 220 Eh = 1: 2,200	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022







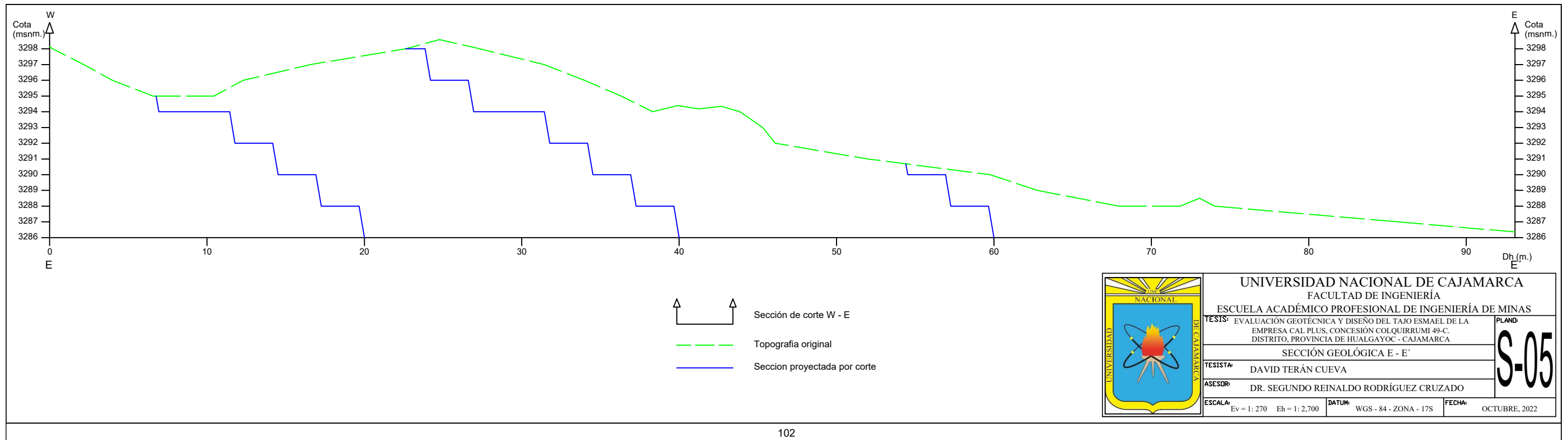
Sección de corte W - E

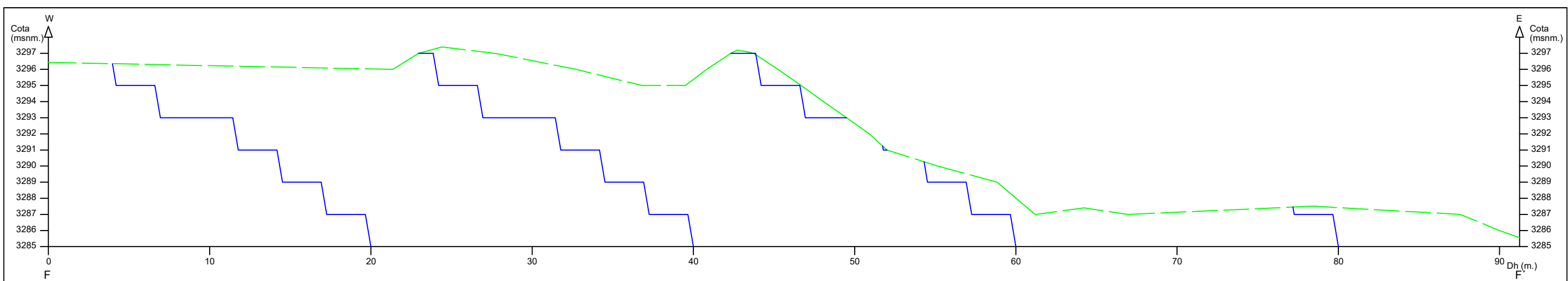
 Topografía original

 Sección proyectada por corte



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMERALDA DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA	S-04
SECCIÓN GEOLÓGICA D - D'	
TESISTA:	DAVID TERÁN CUEVA
ASESOR:	DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO
ESCALA:	Ev = 1: 250 Eh = 1: 2,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022

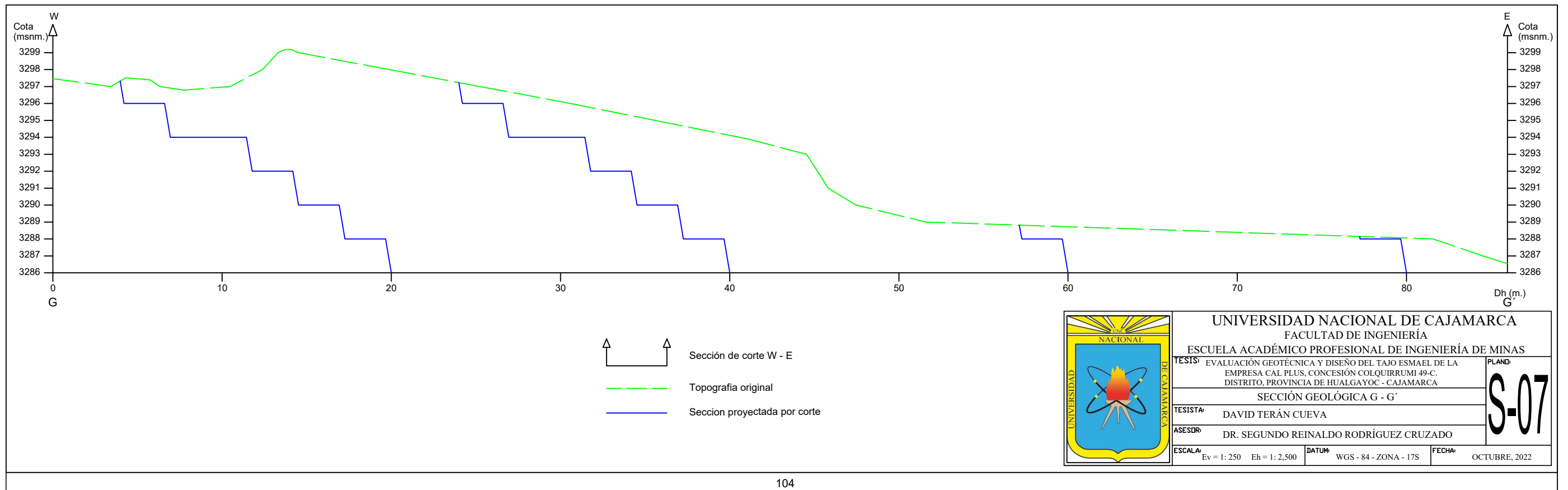


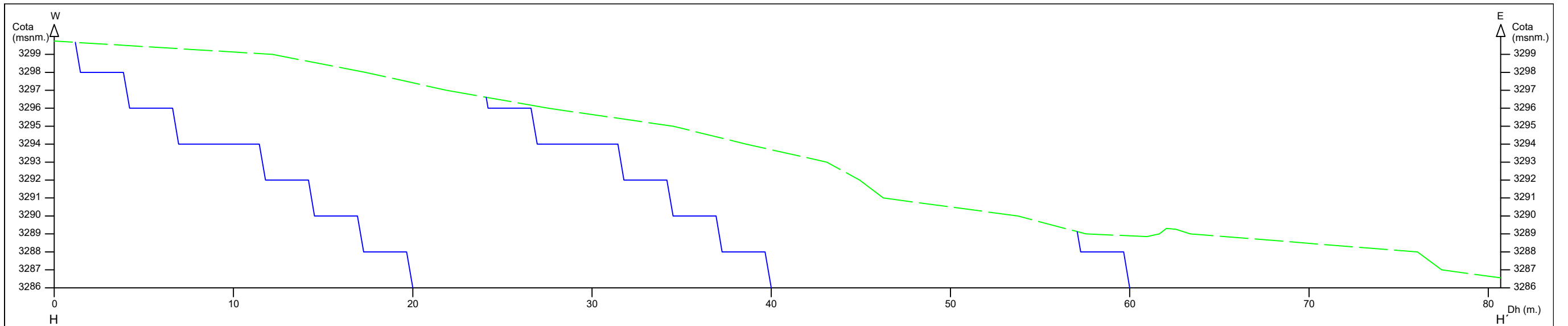


Sección de corte W - E
 Topografía original
 Sección proyectada por corte



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMERALDA DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C, DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA	
SECCIÓN GEOLÓGICA F - F'	
TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA	S-06
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA: Ev = 1: 260 Eh = 1: 2.600	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022

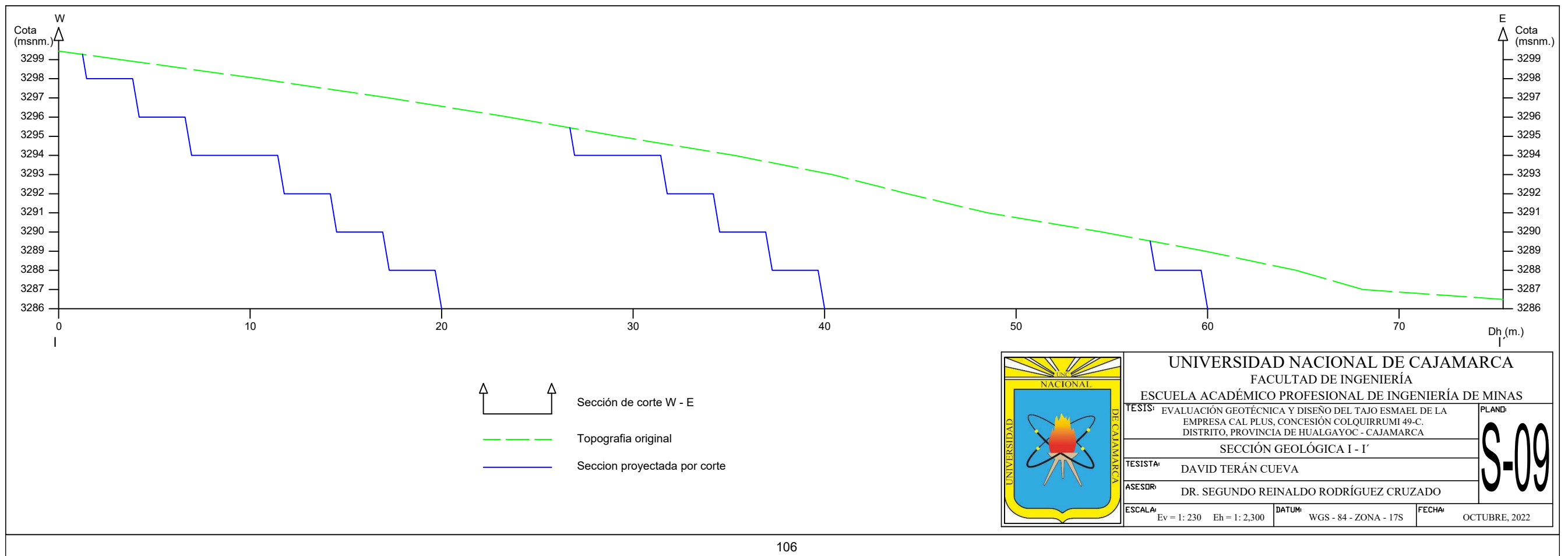


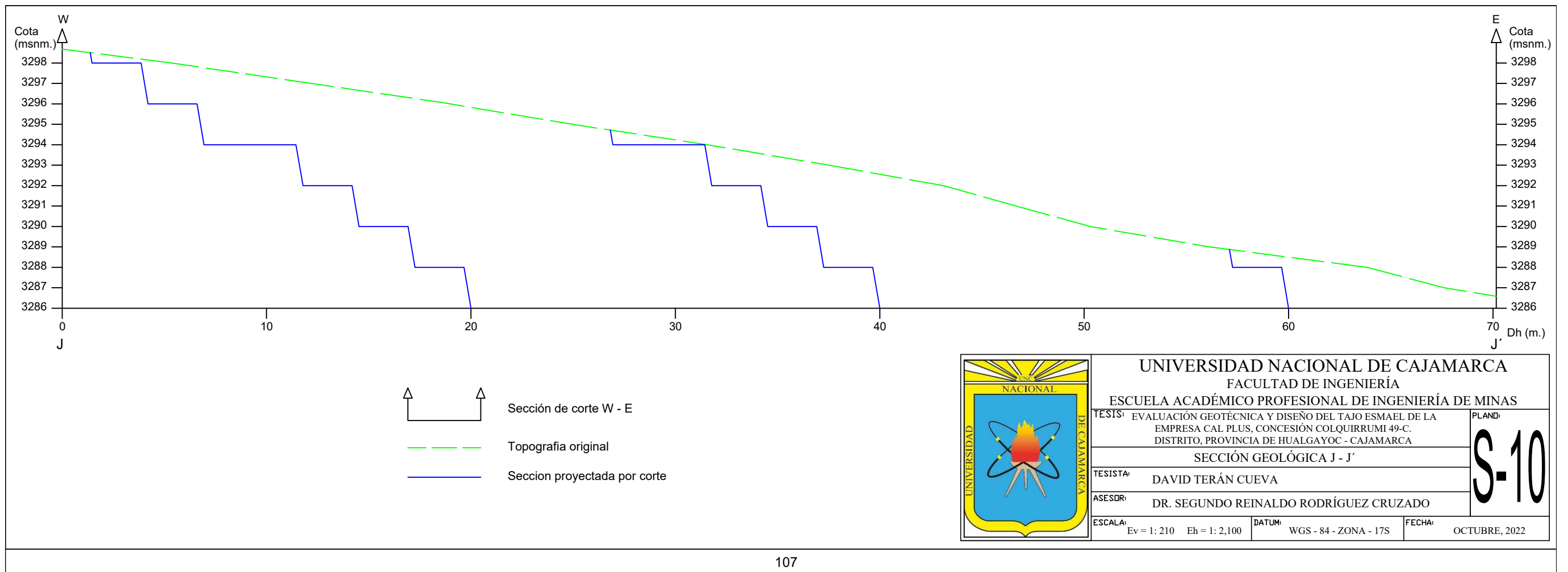


Sección de corte W - E
 Topografía original
 Sección proyectada por corte

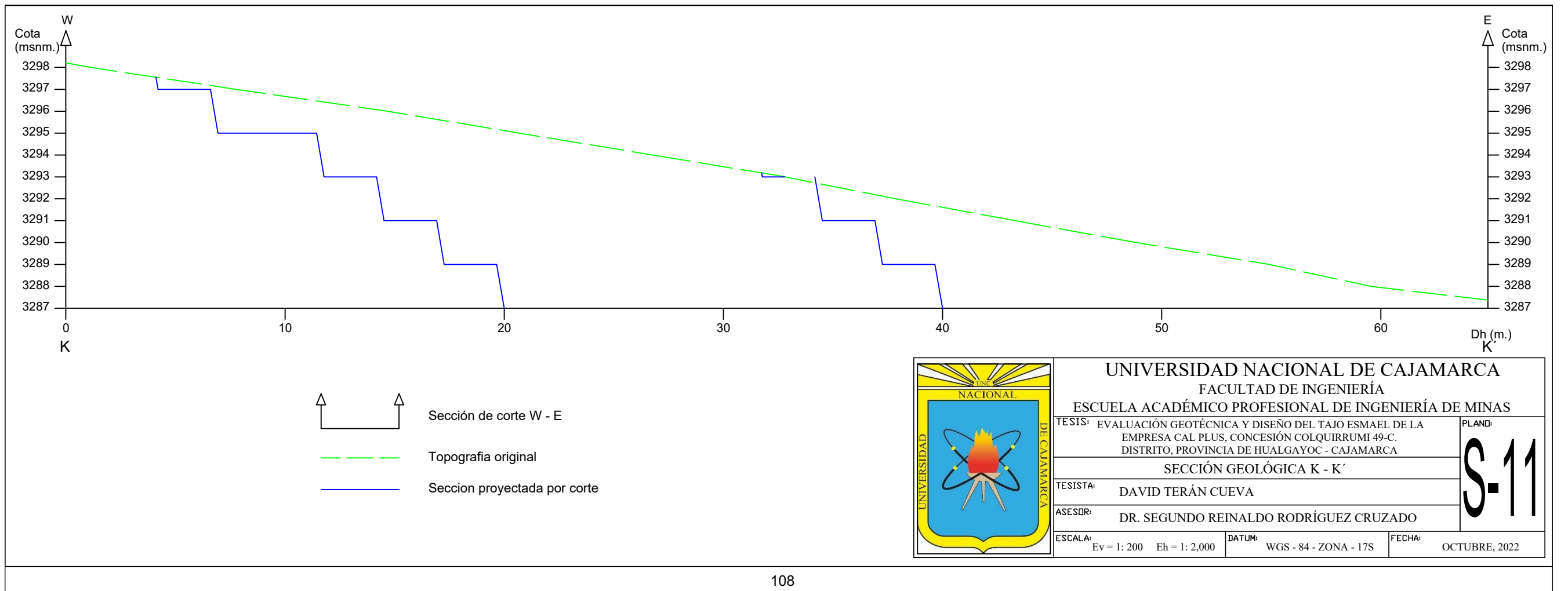


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAN DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA	S-08
SECCIÓN GEOLÓGICA H - H'	
TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA	
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA: Ev = 1: 240 Eh = 1: 2.400	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022

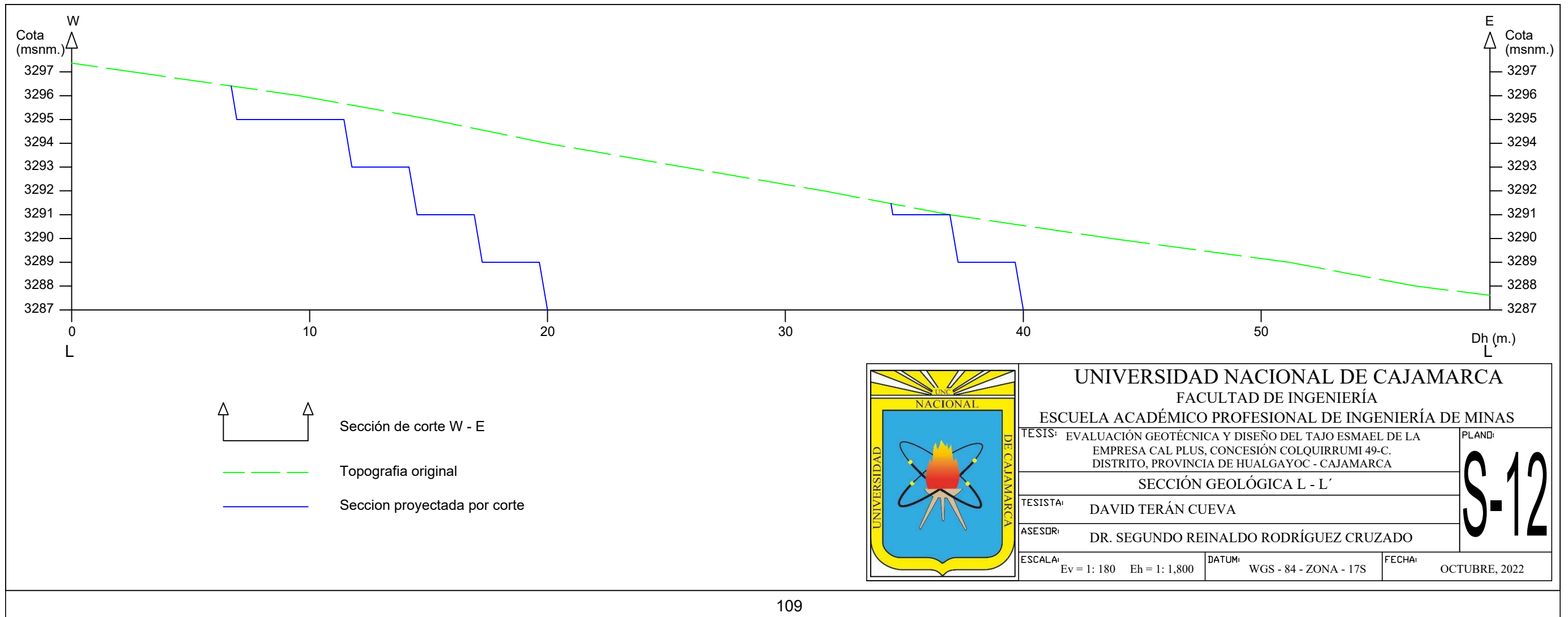


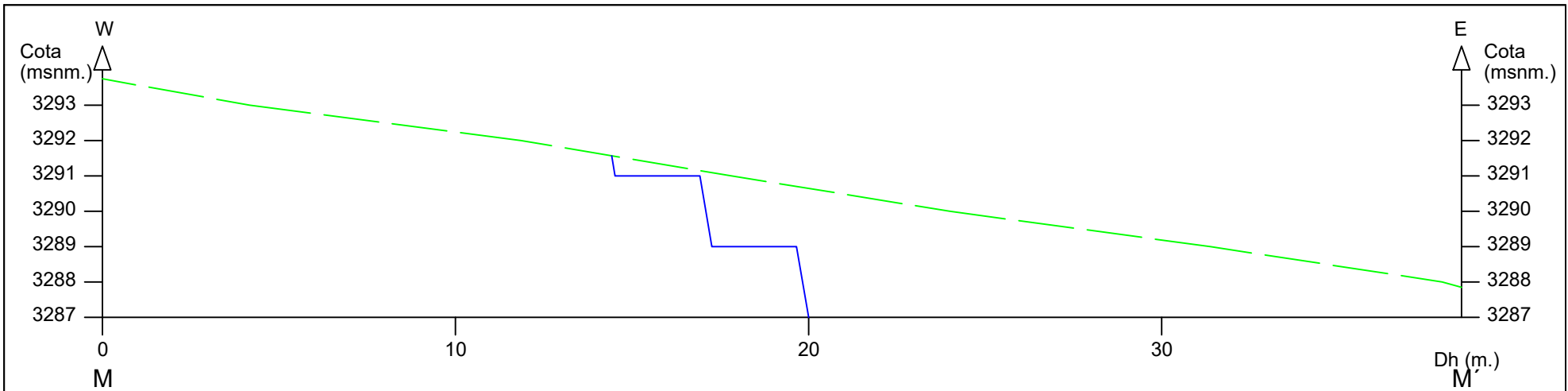


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA	
SECCIÓN GEOLÓGICA J - J'	
TESISTA:	DAVID TERÁN CUEVA
ASESOR:	DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO
ESCALA:	Ev = 1: 210 Eh = 1: 2,100 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022
PLANO: S-10	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA	
SECCIÓN GEOLÓGICA K - K'	
TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA	S-11
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA: Ev = 1: 200 Eh = 1: 2,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022





Sección de corte W - E



Topografía original



Sección proyectada por corte



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESISTA: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA
EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C.
DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA

PLANO:

S-13

SECCIÓN GEOLÓGICA M - M'

TESISTA: DAVID TERÁN CUEVA

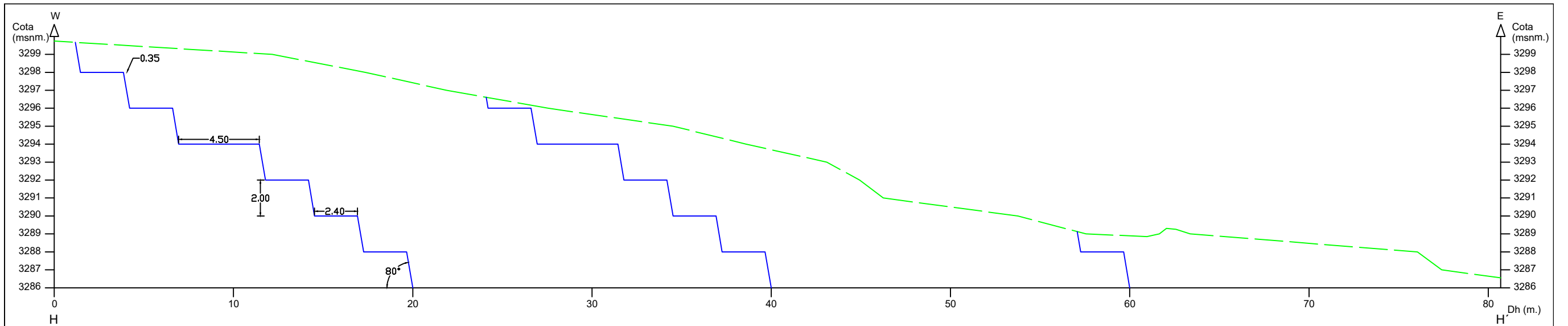
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

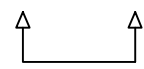


ESCALA: Ev = 1: 170 Eh = 1: 1,700

DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S

FECHA: OCTUBRE, 2022

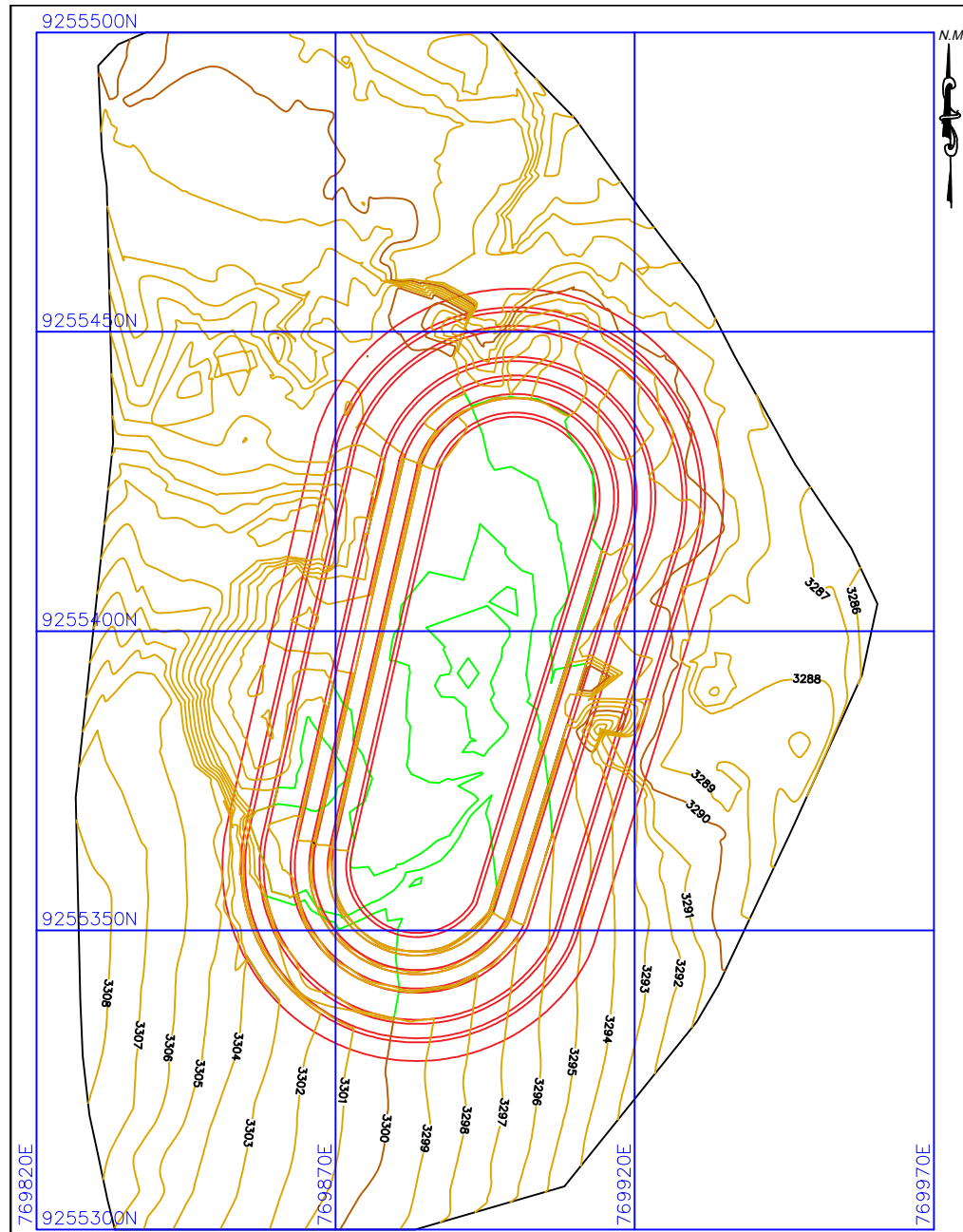
ANEXO F
DISEÑO DE TAJO DE EXPLOTACIÓN



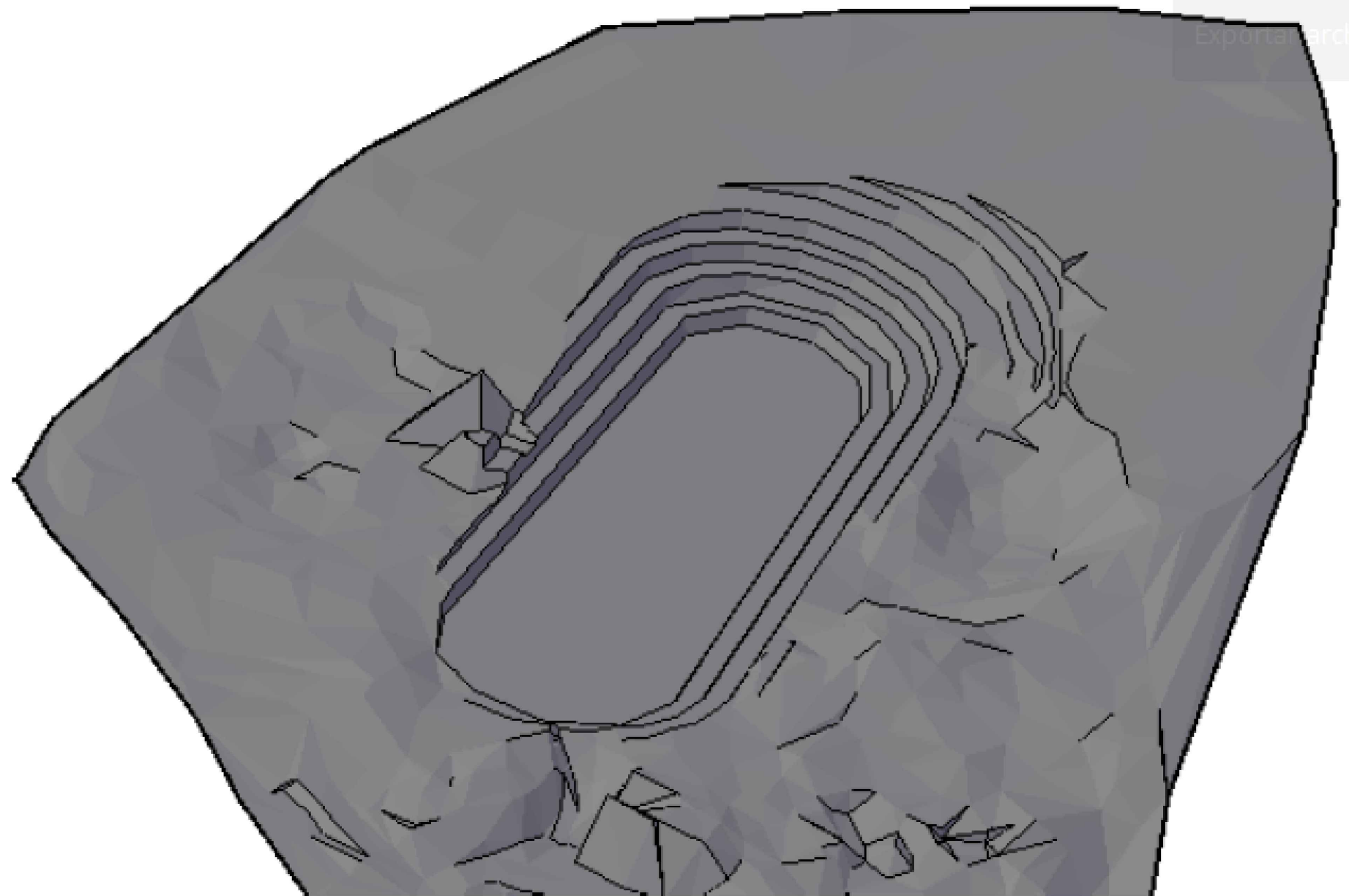
 Sección de corte W - E
 Topografía original
 Sección proyectada por corte



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAN DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C. DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA	D-01
TAJO DE EXPLOTACIÓN	
TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA	
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	
ESCALA: Ev = 1: 240 Eh = 1: 2.400	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2022



- Tajo de explotación
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y DISEÑO DEL TAJO ESMAEL DE LA EMPRESA CAL PLUS, CONCESIÓN COLQUIRRUMI 49-C, DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC - CAJAMARCA		PLANO: D-02
TESISISTA: DAVID TERÁN CUEVA		
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO		
ESCALA: 1: 1,200	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: OCTUBRE, 2022