

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



**TESIS**

**COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA  
EMPRESA CALERA MV S.R.L.  
PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA**

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

**Autor:  
Bach. López Arévalo Vilmer César**

**Asesor  
Dr. Rodríguez Cruzado Segundo Reinaldo**

**Cajamarca - Perú**

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** López Arévalo Vilmer César

**DNI:** 47099629

**Escuela Profesional:** INGENIERÍA DE MINAS

2. **Asesor:** Dr.Ing. Rodríguez Cruzado Segundo Reinaldo

**Facultad:** Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

- Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

- Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

6. **Fecha de evaluación:** 05 Febrero 2024

7. **Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)

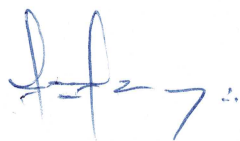
8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 12%

9. **Código Documento:** oid:3117:324977612

10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

- APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca , 07 de febrero del 2024



**FIRMA DEL ASESOR**

**Nombres y Apellidos**

*Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado*

**DNI:** 26722961



Firmado digitalmente por:  
FERNANDEZ LEON Yvonne  
Katherine FAU 20148258801 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 12/03/2024 18:02:42-0500

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi grato agradecimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, por brindarme la oportunidad de pertenecer a las aulas universitarias llenas de: Conocimiento y sabiduría intelectual; y de igual manera a la EAPIM, por tener docentes de experiencia laboral en: Minería, formando así Profesionales Mineros de exportación, mediante clases y salidas de campo, reforzando las clases teóricas y prácticas.

Por consiguiente, agradezco al Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por apoyarme en el asesoramiento y desarrollo de la tesis; y también por compartir su experiencia laboral en el campo de la minería y geomecánica.

## **DEDICATORIA**

La realización y culminación de mi tesis se la dedico a mí: Mamá María Edita Arévalo Becerra y Papá José Mercedes López Chuquilín, de antemano también de una manera especial a Yolvi R. Meléndez Aguilar por su apoyo incondicional en mi vida, por ser la familia idónea compuesta de: Superación, confianza, fortaleza e ímpetu de alcanzar retos y desafíos, llenos de obstáculos y superación; por tal motivo dedico estas palabras a mis seres queridos por haberme brindado su apoyo a terminar mi carrera de profesional de Ingeniería de Minas.

# ÍNDICE

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....   | ii   |
| <b>DEDICATORIA</b> .....  | iii  |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....  | vi   |
| <b>LISTA DE CUADROS</b> .....   | ix   |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....   | x    |
| <b>LISTA DE PLANOS</b> .....  | xiii |
| <b>RESUMEN</b> .....  | xiv  |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | xv   |
| <br>  |      |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1    |
| <br>  |      |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....   | 4    |
| <b>2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS</b> .....  | 4    |
| <b>2.1.1 Internacionales</b> .....  | 4    |
| <b>2.1.2 Nacionales</b> .....   | 5    |
| <b>2.1.3 Locales</b> .....  | 8    |
| <b>2.2 BASES TEÓRICAS</b> .....   | 12   |
| <b>2.2.1 Clasificaciones Geomecánicas</b> .....   | 12   |
| <b>2.2.2 CRITERIOS DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE MASAS ROCOSAS</b> ...  | 16   |
| <b>2.2.3 Linealización del Criterio Hoek-Brown para el Analisis de Estabilidad General de Taludes en Roca</b> ..... | 19   |
| <b>2.2.4 Identificación de Tipos de Inestabilidad en Taludes Rocosos</b> .....                                      | 21   |
| <b>2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS</b> .....   | 23   |
| <br>  |      |
| <b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....   | 24   |
| <b>3.1 UBICACIÓN</b> .....  | 24   |
| <b>3.2 ACCESIBILIDAD</b> .....  | 24   |
| <b>3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN</b> .....   | 29   |
| <b>3.4 HIDROLOGÍA</b> .....   | 30   |
| <b>3.5 HIDROGEOLOGÍA</b> .....  | 33   |
| <b>3.6 GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....  | 33   |
| <b>3.7 GEOLOGÍA LOCAL</b> .....   | 35   |
| <b>3.7.1 Cretáceo Superior</b> .....  | 36   |
| <b>3.7.2 Cuaternario – Holoceno</b> .....   | 38   |
| <b>3.8 UNIDADES MORFOGENÉTICAS</b> .....  | 40   |
| <b>3.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> .....   | 44   |

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>3.10 SISMICIDAD</b> .....                                      | 45   |
| <b>3.11 GEOMECANICA</b> .....                                     | 45   |
| <b>3.11.1 ESTACIÓN E-1</b> .....                                  | 46   |
| <b>3.11.2 ESTACIÓN E-2</b> .....                                  | 51   |
| <b>3.11.3 ESTACIÓN E-3</b> .....                                  | 55   |
| <b>3.12 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....                 | 59   |
| <b>3.12.1 Tipo, Nivel, Diseño y Método De Investigación</b> ..... | 59   |
| <b>3.12.2 Población</b> .....                                     | 60   |
| <b>3.12.3 Muestra</b> .....                                       | 61   |
| <b>3.12.4 Unidad De Análisis</b> .....                            | 61   |
| <b>3.12.5 Técnicas de Recolección de Datos</b> .....              | 61   |
| <b>3.12.6 Equipos, Materiales y Soporte Computacional</b> .....   | 62   |
| <b>3.12.7 Operacionalización de Variables</b> .....               | 64   |
| <b>3.12.8 Matriz de Consistencia</b> .....                        | 64   |
| <br>  |      |
| <b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....                  | 66   |
| <b>4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....                       | 66   |
| <b>4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS</b> .....                    | 71   |
| <br>  |      |
| <b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....           | 72   |
| <b>5.1 CONCLUSIONES</b> .....                                     | 72   |
| <b>5.2 RECOMENDACIONES</b> .....                                  | 73   |
| <br>  |      |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                           | 74   |
| <br>  |      |
| <b>ANEXOS</b> .....   | 79   |
| <b>ANEXOS A: AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA</b> .....                 | 80   |
| <b>ANEXOS B: ESTACIONES GEOMECÁNICAS</b> .....                    | 82   |
| <b>ANEXOS C: PLANOS</b> .....                                     | 86   |
| <b>ANEXOS D: DISEÑO DE OPTIMIZACIÓN DEL TAJO</b> .....            | 97   |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| WGS-84                  | : | Sistema Geodésico Mundial 1984.  |
| Osinergrmin             | : | Organismo supervisor de la inversión en energía y minería.             |
| UNACEM                  | : | Unión andina de cementos.  |
| S.A.C.                  | : | Sociedad anónima cerrada.  |
| ISSN                    | : | Número internacional normalizado de publicaciones seriadas.            |
| ETSECCPB                | : | Escuela técnica superior de ingeniería, canales y puertos de Barcelona |
| GEMM                    | : | Unidad formuladora de colonias, gránulo, eritro, mega y Monocitarias   |
| TNT                     | : | Trinitrotolueno.   |
| 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.  |
| $\sigma_{ci}$           | : | Resistencia a la compresión uniaxial.                                  |
| $\sigma_{3m\acute{a}x}$ | : | Tensión de confinamiento.  |
| $\sigma'_t$             | : | Resistencia a la tracción  |
| $\sigma'_{ct}$          | : | Resistencia global.  |
| $\sigma_1$              | : | Esfuerzo principal mayor.  |
| $\sigma_2$              | : | Esfuerzo principal intermedio.   |
| $\sigma_3$              | : | Esfuerzo principal menor.  |
| T                       | : | Esfuerzo de corte.   |
| $\sigma_n$              | : | Esfuerzo normal.   |
| $\sigma'_{cm}$          | : | Resistencia del macizo rocoso.   |
| $\sigma_0$              | : | Esfuerzo vertical.   |
| $m_i$                   | : | Constante de Hoek & Brown.   |
| $mb$                    | : | Constante de Hoek & Brown.   |
| $s, a$                  | : | Constantes de Hoek & Brown.  |
| $c$                     | : | Cohesión.  |
| $\varphi$               | : | Ángulo de fricción.  |
| $E_i$                   | : | Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.              |
| $E_m$                   | : | Módulo de deformación.   |
| MR                      | : | Relación del módulo.   |
| D                       | : | Factor de disturbancia.  |
| RQD                     | : | Índice de calidad de roca.   |
| RMR                     | : | Valoración de la masa rocosa.  |
| GSI                     | : | Índice de Resistencia Geológica.                                       |
| SMR                     | : | Valoración de taludes rocosos.   |
| MB                      | : | Muy buena.   |

|                          |   |  |
|--------------------------|---|--|
| IF                       | : | Intensamente fracturada.   |
| MF                       | : | Muy fracturada.  |
| F                        | : | Moderadamente fracturada.  |
| LF                       | : | Levemente fracturada.  |
| $\Psi_T$                 | : | Buzamiento del talud   |
| H                        | : | Altura de talud  |
| Z2                       | : | Zona sísmica.  |
| g                        | : | Gravedad.  |
| Kh                       | : | Sísmica horizontal.  |
| Kv                       | : | Sísmica vertical.  |
| S0                       | : | Tipo de roca.  |
| C                        | : | Factor de amplitud sísmica.  |
| T                        | : | Período fundamental de la estructura para el análisis estático o período de un modo en el análisis dinámico. |
| TP                       | : | Período que define la plataforma de factor C.  |
| TL                       | : | Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.                           |
| $\alpha_T$               | : | Ángulo de talud.   |
| $\alpha_{T\text{Final}}$ | : | Ángulo de talud final.   |
| b                        | : | Ancho de berma.  |
| hb                       | : | Altura berma.  |
| qb                       | : | Ancho de quebradura.   |
| R                        | : | Rampa.   |
| P                        | : | Pendiente.   |
| I,II....                 | : | Clase o tipo de roca.  |
| R2, R3..                 | : | Grado de estimación de roca.   |
| $\lambda$                | : | Lambda.  |
| ND                       | : | Número de discontinuidades.  |
| D-1                      | : | Número de junta.   |
| E                        | : | Estrato.   |
| T                        | : | Talud.   |
| 15-f                     | : | Cuadrángulo geológico.   |
| Rb                       | : | Rumbo  |
| bh-MBT                   | : | Bosque húmedo montano bajo tropical  |
| B                        | : | Burden.  |
| S                        | : | Espaciado.   |
| Sp                       | : | Sobreperforación.  |
| T                        | : | Longitud de taco.  |
| $T_L$                    | : | Profundidad de taladro.  |
| $T_c$                    | : | Longitud de carga.   |
| QCC                      | : | Concentración de carga de columna.   |
| Vr                       | : | Volumne por romper por taladro.  |
| D                        | : | Dip.   |
| DD                       | : | Dip direction.   |
| Pp <sub>máx</sub>        | : | Precipitación promedio máxima.   |
| Pp <sub>min</sub>        | : | Precipitación promedio mínima.   |
| Pp <sub>anual</sub>      | : | Precipitación promedio anual.  |



|                |   |                                     |
|----------------|---|-------------------------------------|
| Pp media anual | : | Precipitación promedio media anual. |
| MC-I           | : | Microcuenca.                        |
| $\delta$       | : | Peso específico.                    |
| W%             | : | Contenido de humedad.               |
| e              | : | Índice de vacíos.                   |
| n              | : | Porosidad.                          |
| S              | : | Grado de saturación.                |
| Pág.           | : | Página                              |
| N°             | : | Número                              |
| MPa            | : | Mega pascales.                      |
| N              | : | Newton.                             |
| GPa            | : | Giga pascales                       |
| min.           | : | Minuto                              |
| Ma.            | : | Millones de años                    |
| T/P            | : | Tensión/compresión                  |
| JN1            | : | Junta.                              |
| TM             | : | Toneladas métricas.                 |
| E-1            | : | Estación geomecánica.               |
| m/m            | : | Pendiente.                          |
| Tc             | : | Tiempo de concentración.            |
| I              | : | Intensidad de precipitación.        |

## LISTA DE CUADROS

|   | Pág. |
|---|------|
| Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD).<br>Fuente: Deere, 1967.....   | 13   |
| Cuadro 2.2. Interpretación de valores RMR.....<br>Fuente: Bieniawski, 1989.   | 14   |
| Cuadro 2.3. Índice geológico de resistencia (GSI).....<br>Fuente: Hoek, 2002.   | 14   |
| Cuadro 3.1. Cronograma de ruta - zona de investigación:.....<br>Ida y regreso.  | 25   |
| Cuadro 3.2. Coordenadas de terreno y petitorio minero.....  | 26   |
| Cuadro 3.3. Altitud media de la microcuenca – Precipitación.....<br>máxima 24 horas.  | 31   |
| Cuadro 3.4. Parámetros hidrológicos relacionados con las.....<br>microcuencas del área superficial de la empresa<br>CALERA MV S.R.L.            | 33   |
| Cuadro 3.5. Equivalencias de las unidades morfogénica de.....<br>la zona de estudio.  | 41   |
| Cuadro 3.6. Unidades Morfogénicas relacionadas por.....<br>eventos litológicos.   | 44   |
| Cuadro 3.7. Coeficiente de aceleración espectral: Horizontal.....<br>Y vertical, respecto a cada estación<br>geomecánica de la CALERA MV S.R.L. | 45   |
| Cuadro 3.8. Resultados de cuantificación: Cuantitativa y.....<br>cualitativa, por estaciones geomecánicas<br>utilizando criterios empíricos.    | 46   |
| Cuadro 3.9. Operacionalización de las variables.....  | 64   |
| Cuadro 3.10. Matriz de consistencia.....  | 65   |
| Cuadro 4.1. Resultados de probabilidad de ruptura por.....<br>software Dips - tajo empresa Calera MV S.R.L.                                     | 69   |
| Cuadro 4.2. Análisis cinemático por diagrama: Pi y beta, por.....<br>software Dips - tajo empresa Calera MV S.R.L.                              | 69   |
| Cuadro 5.1. Registro geológico-geotécnico. Estación.....<br>geotécnica E-1.   | 83   |
| Cuadro 5.2. Registro geológico-geotécnico. Estación.....<br>geotécnica E-2.   | 84   |
| Cuadro 5.3. Registro geológico-geotécnico. Estación.....<br>geotécnica E-3.   | 85   |

## LISTA DE FIGURAS

|             |  | Pág. |
|-------------|--|------|
| Figura 2.1. | Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado.<br>Fuente: Osinergmin, 2017.  | 15   |
| Figura 2.2. | Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores, para el criterio de Hoek-Brown y equivalente Mohr-Coulomb.<br>Fuente: Wyllie y Mah, (2004).  | 17   |
| Figura 2.3. | Relación para el cálculo de $\sigma'_{3max}$ para los parámetros equivalentes de Mohr- Coulomb y Hoek-Brown para taludes.<br>Fuente: Wyllie y Mah, 2004.   | 18   |
| Figura 2.4. | Representación gráfica de linealización del criterio rotura de Hoek y Brown mediante el método de la tangente.<br>Fuente: Puell, Arenillas y De La Puente, 2004.   | 20   |
| Figura 2.5. | Representación gráfica de linealización del criterio de Hoek y Brown mediante el método de la equivalencia de áreas.<br>Fuente: Puell, Arenillas y De La Puente, 2004.                                       | 20   |
| Figura 2.6. | Principales tipos de rupturas de bloques en taludes y condiciones geológicas estructurales que causar rupturas: (a) Ruptura planar (b) Ruptura por cuña (d) Ruptura circular.<br>Fuente: Wyllie y Mah, 2004. | 22   |
| Figura 3.1. | Tajo de explotación de la empresa minera Calera MV S.R.L.; coordenadas: E769980.42 y N9255484.71.  | 25   |
| Figura 3.2. | Delimitación del terreno superficial.  | 26   |
| Figura 3.3. | Ruta de movilidad desde el punto de salida (Cajamarca) a punto de llegada (Apan Bajo).<br>Fuente: Google Maps, 2023.   | 27   |
| Figura 3.4. | Cruce centro poblado Apan Bajo e ingreso caserío Chilifruta. Operaciones mineras de la empresa Calera MV S.R.L.<br>Fuente: Google Maps, 2023.  | 28   |
| Figura 3.5. | Variograma estadístico de meteorología en función: Temperatura (Máxima y mínima) y precipitación, desde año: 2022-2023.<br>Fuente: SENAMHI, 2022-2023.   | 29   |
| Figura 3.6. | Variograma estadístico de la meteorología en función de la precipitación, desde año: 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.<br>Fuente: SENAMHI, 2013-2022.                             | 31   |
| Figura 3.7. | Histograma estadístico en función de la precipitación anual.<br>Fuente: SENAMHI, 2013-2022.  | 32   |

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 3.8. Vertiente de la quebrada La Peña delimitada por el basamento rocoso de la Formación Cajamarca y Depósitos Deluviales; Coordenadas: E770001.85 y N9255484.32.   | 32   |
| Figura 3.9. A. Afloramientos de roca caliza – Formación Cajamarca, Tajo de explotación; coordenadas: E769989.55 y N9255474.13; y B. Estilolitos entre los contactos estratigráficos de las rocas calcáreas; coordenadas: E769979.89 y N9255477.57. | 37   |
| Figura 3.10. Depósitos Deluviales de color anaranjado a marrón, cubriendo al basamento rocoso, con espesor: 0.60 m. a 0.80 m., en su superficie y cimas kársticas; coordenadas: E769969.97 y N9255477.97.  | 38   |
| Figura 3.11. Depósitos: Eluviales-Deluviales y Antrópicos, ubicada en la parte baja y limítrofe del tajo, conformando por composición litológica cuaternaria la zona de investigación; con coordenadas: E769989.81 y N9255488.68.                  | 39   |
| Figura 3.12. Unidades geomorfológicas ubicadas en el tajo de explotación, constituidas por: Depósitos cuaternarios (Grosor: 0.60 m. a 0.80 m.) y afloramientos rocosos de roca caliza gris azulada; coordenadas: E769989.81 y N9255488.68.         | 41   |
| Figura 3.13. A. Disolución carbonatada, de dimensiones: 0.50 m. x 0.60 m. x 0.45 m.; coordenadas: E769976.32 y 9255461.03; y B. Lenares en la superficie de la roca, separado por tabiques de forma aguda.   | 43   |
| Figura 3.14. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geotécnica E-1.  | 47   |
| Figura 3.15. Probabilidad de ruptura planar 71.11%, englobando al polo de las familias: D-2 y E; a favor del talud. Estación geotécnica E-1.   | 48   |
| Figura 3.16. Probabilidad de ruptura en cuña con 44.39%, englobando a la intersección de las familias: E y D-2; en orientación indirecta. Estación geotécnica E-1.   | 49   |
| Figura 3.17. Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 33.33%, englobando al polo de la familia: D-2; a favor del talud. Estación geotécnica E-1.  | 50   |
| Figura 3.18. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs  | 51   |

|              |  |    |
|--------------|--|----|
|              | Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geotécnica E-2.  |    |
| Figura 3.19. | Probabilidad de ruptura planar 2.22%, no englobando al polo de la familia: E; a favor del talud. Estación geotécnica E-2.  | 52 |
| Figura 3.20. | Probabilidad de ruptura en cuña con 3.74%, englobando a la intersección de las familias: D-1 y E; en orientación indirecta. Estación geotécnica E-2.                               | 53 |
| Figura 3.21. | Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 40.00%, englobando al polo de la familia: E; a favor del talud. Estación geotécnica E-2.                                     | 54 |
| Figura 3.22. | Relación de esfuerzo principales: Mayor vs Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geotécnica E-3. | 55 |
| Figura 3.23. | Probabilidad de ruptura planar 26.67%, englobando al polo de la familia: D-2; a favor del talud. Estación geotécnica E-3.  | 56 |
| Figura 3.24. | Probabilidad de ruptura en cuña con 34.95%, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta. Estación geotécnica E-3.                            | 57 |
| Figura 3.25. | Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 28.89%, englobando al polo de la familia: D-2; a favor del talud. Estación geotécnica E-3.                                   | 58 |
| Figura 3.26. | Equipo e instrumentos, para la obtención de información del tajo de explotación de la empresa CALERA MV S.R.L.   | 63 |
| Figura 3.27. | Programas numéricos para el procesamiento y presentación de información, del tajo de explotación.  | 63 |

## LISTA DE PLANOS

|  | Pág. |
|--|------|
| Anexos A : Autorización de la empresa.....     | 80   |
| Anexos B : Estaciones geomecánicas.....        | 82   |
| Anexos C : Planos.....                         | 86   |
| Anexos D : Diseño de optimización de tajo..... | 97   |

## RESUMEN

Las operaciones mineras de la empresa Calera MV S.R.L; extrae roca caliza ubicada en el caserío Chilifruta, centro poblado Apan Bajo, distrito, provincia Hualgayoc al norte de Cajamarca. Por consiguiente, el tajo de explotación se ubica en la Formación Cajamarca; con orientación (Az/Bz): N60°/21°SE, presentando estratos de calizas gris azuladas de espesor: 0.50 m. a 2.30 m., cubiertos por Depósitos: Deluvial, Eluvial-Deluvial y Antrópicos. Geomecánicamente estimó la resistencia a compresión uniaxial  $\sigma_{ci} = 95 \text{ MPa}$  a  $125 \text{ MPa}$ , con:  $m_i = 11$  a  $12$ ,  $D = 0.70$ ,  $MR = 800$  a  $1,000$ ,  $E_i = 95,000 \text{ MPa}$  a  $110,000 \text{ MPa}$ ,  $mb = 1.44$  a  $3.58$ ,  $s = 0.0047$  a  $0.004$ ,  $a = 0.501$  a  $0.507$ ,  $c = 4.62 \text{ MPa}$  a  $9.16 \text{ MPa}$ ,  $\phi = 29.22^\circ$  a  $36.66^\circ$  y  $E_m = 22,639.08 \text{ MPa}$  a  $45,169.38 \text{ MPa}$ .; con probabilidad cinemáticamente de ruptura de las estaciones: E-1 ( $> 30\%$  genera ruptura planar y cuña), E-2 ( $> 40\%$  ocasiona por vuelco) y E-3 ( $> 25\%$  genera ruptura planar, cuña y vuelco); por lo contrario, cambiando la orientación del talud D/DD ( $65^\circ/115^\circ$ ) se obtuvo incrementando de probabilidad de ruptura a  $43.90\%$ , definido por discontinuidades: N215°/21°NW, N121°/56°SW, N330°/64°NE y N60°/23°SE, con banqueo con: altura de banco = 2.00 m., quebradura = 0.35 m., ancho rampa = 4.50 m., ancho berma = 2.40 m., ángulo de banco =  $80^\circ$  y ángulo final de banco =  $33^\circ$ ; definidos por los taladros de perforación.

Palabras clave: Criterios empíricos, análisis cinemático, resistencia rocosa, litología, tajo de explotación.

## ABSTRACT

The mining operations of the company Calera MV S.R.L; extracts limestone rock located in the Chilifruta hamlet, Apan Bajo town center, district, Hualgayoc province north of Cajamarca. Consequently, the exploitation pit is located in the Cajamarca Formation; with orientation (Az/Bz): N60°/21°SE, presenting bluish-gray limestone strata thick: 0.50 m. to 2.30 m., covered by Deposits: Deluvial, Eluvial-Deluvial and Anthropic. Geomechanically estimated the uniaxial compressive strength  $\sigma_{ci}$  = 95 MPa to 125 MPa, with:  $m_i$  = 11 to 12,  $D$  = 0.70,  $MR$  = 800 to 1,000,  $E_i$  = 95,000 MPa to 110,000 MPa,  $m_b$  = 1.44 to 3.58,  $s$  = 0.0047 a 0.004,  $a$  = 0.501 to 0.507,  $c$  = 4.62 MPa to 9.16 MPa,  $\phi$  = 29.22° to 36.66° and  $E_m$  = 22,639.08 MPa to 45,169.38 MPa.; with kinematically probable rupture of the stations: E-1 (> 30% generates planar rupture and wedge), E-2 (> 40% causes overturning) and E-3 (> 25% generates planar rupture, wedge and overturning) ; On the contrary, changing the orientation of the D/DD slope (65°/115°) resulted in an increase in the probability of rupture to 43.90%, defined by discontinuities: N215°/21°NW, N121°/56°SW, N330° /64°NE and N60°/23°SE, with banking with: bank height = 2.00 m., break = 0.35 m., ramp width = 4.50 m., berm width = 2.40 m., bank angle = 80° and final bench angle = 33°; defined by drilling holes.

Keywords: Empirical criteria, kinematic analysis, rock resistance, lithology, exploitation pit.



## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La empresa Calera MV S.R.L. se ubica en el caserío Chilifruta, centro poblado de Apan Bajo, distrito, provincia de Hualgayoc al norte de Cajamarca, dedicada a la extracción y procesamiento de roca caliza, fuertemente fracturada y fragmentada, de color gris azulada perteneciente a la Formación Cajamarca; compuesta por estratos de roca calcárea competente desde 0.40 a 2.00 m. de espesor. El frente de extracción actual del material tiene orientación W-E, con estratos de forma tabular, con pendientes abruptas y escarpadas, ocasionando sobre dimensionamiento en los costos de extracción, debido al comportamiento geomecánico para el avance de la explotación. Las variables que tienen fuerte incidencia en el comportamiento geomecánica las cuales son la litología, Unidades morfogénicas, geoestructuras y precipitación e inestabilidad geomecánica, las cuales condicionan la disminución de la resistencia en las discontinuidades debido a los cambios de la cohesión y ángulo de fricción. Por consiguiente, se debe cambiar la dirección de los frentes de explotación aplicando los parámetros geomecánicos para mejorar las condiciones de estabilidad. Planteando como formulación del problema, ¿Cuál será el comportamiento de inestabilidad geomecánica del nuevo diseño de bancos del actual tajo de explotación minera de La Empresa CALERA MV S.R.L debido a la extracción de las calizas?

Por consiguiente, la justificación de la empresa Calera MV S.R.L., está extrayendo roca mediante sistema de banqueo, por ser una estructura masiva calcárea, presentando inestabilidad geomecánica debido al fracturamiento de la roca, evidenciándose secciones de corte con caídas de bloques y cuñas, en condiciones normales de laboreo minero. Debido a lo planteado se define cambiar el frente de explotación mediante el estudio geomecánico, analizando la orientación de geoestructuras para evitar problemas de fracturamiento en el frente de

explotación, buscando evitar accidentes de los trabajadores y con lo cual aumentaremos la optimización de la producción de roca caliza para la planta de producción, consiguiendo de esta manera una adecuada metodología de avance de los frentes de extracción. Brindando como alcance metodológico: Exploratorio, descriptivo y correlacional.

Presentando limitaciones financieras, para ensayos especiales de laboratorio como triaxiales de roca y corte directo. Con hipótesis: El tajo de extracción de calizas por la empresa Calera MV S.R.L., está relacionada con rocas caliza de la Formación Cajamarca, donde encontramos geoestructuras y geoformas donde se desarrollan los bancos de explotación, los cuales actualmente se encuentran inestables, siendo necesario cambiar la dirección del tajo, para lograr la estabilidad geomecánica durante la explotación. Planteando como objetivo general: Definir el comportamiento geomecánico del tajo de explotación de la Empresa Calera MV S.R.L, para lograr la estabilidad del diseño de bancos de explotación; y específicos: Cartografiar la unidad litológica del macizo rocoso, determinar la caracterización geomecánica, definir mediante la aplicación del software Dips las probabilidades de ruptura de roca y diseñar el nuevo sistema de explotación en bancos con estabilidad geomecánica. Siendo conformado por cinco capítulos:

Capítulo I: Estuvo conformado por la problemática de la zona de investigación, definiendo las variables: Dependientes e independientes y objetivos específicos para lograr la incidencia que tiene cada variable plantada en la tesis enfocada a la geomecánica de taludes, siendo cada variable desarrollada independientemente en el capítulo III.

Capítulo II: Se basó en el desarrollo de marco teórico, desde la búsqueda de información desde antecedentes relacionada con la geomecánica de taludes rocosos, también el marco teórico relacionado con la ingeniería de rocas y definiciones de términos utilizados para fundamentar el conocimiento en la estabilidad de afloramientos rocosos.

Capítulo III: Está constituido por acápite que enmarcan a la zona de investigación: Describiendo y redactando de manera: Real, coherente y concisa; enfocado en el marco geológico – minero de la empresa Calera MV S.R.L. y también la metodología aplicada para el desarrollo y obtención de información de campo, para el procesamiento de cada variable, planteada en el capítulo I.

Capítulo IV: Está fundamentada en la obtención de información independiente por cada variable, obteniendo resultados: Cualitativos y cuantitativos, mostrando información importante para el desarrollo y mejoramiento de producción de la empresa Calera MV S.R.L.

Capítulo V: Muestra la respuesta de cada objetivo específico, en función de la información obtenida y procesada del capítulo IV; al mismo tiempo se plantea recomendaciones, para mejorar futuras investigación en la ingeniería de rocas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS**

##### **2.1.1 Internacionales**

Avila y Tobo (2014), realizó “Diseño del método de explotación a cielo abierto para la mina el diamante, dentro del contrato en virtud de aporte N° 00904-15 en el municipio de Tibasosa, Vereda La Carrera departamento de Boyacá”. Se localiza en el municipio de Tibasosa, Vereda La Carrera, conformando un área 10,008.41 m<sup>2</sup>. de cantera perteneciente a la cuenca del río Magdalena y subcuenca río Chicamocha. Geológicamente se localiza al S del basamento rocoso de Floresta, abarcando edades comprendidas del Paleoceno al Oligoceno, constituidas por: Formaciones (UNE, Belencito, Tibasosa y Cuche) y Depósitos (Coluviales y Suelos Residuales). La tectónica presenta plegamientos: Sinclinales y anticlinales, dislocados en respuesta a esfuerzos regionales del tipo compresional durante el Mioceno, de orientación NE-SW, constituyendo dos provincias: Macizo de Floresta (Unidad tectónica: Pre devónica, Paleozoico Superior y Eocretácica) y Coberta Plegada, la cantera presenta cuatro discontinuidades (D/DD): 10/339, 79/286, 82/345, 79/13. Definiendo el diseño de tajo:  $\alpha_T = 63^\circ$ ,  $\alpha_{T\text{Final}} = 22^\circ$ ,  $b = 9.00$  m.,  $h_b = 10$  m. La vida útil de la mina se clasifico en tres etapas: Metalúrgica (71,773.63 m<sup>3</sup>./6 años), cementera (190,100.16 m<sup>3</sup>./6.30 años) y trituramiento (169,998.29 m<sup>3</sup>./28.30 años). La geomecánica muestra que la roca caliza presenta  $\delta = 2.53$  gr/cm<sup>3</sup>.,  $W = 1.23\%$ ,  $S = 32.42\%$ ,  $n = 9.6\%$ ,  $e = 0.03$ ,  $\sigma_{ci} = 53.32$  MPa. con RQD = 76.23%, RMR = 45, GSI = 40.

Veloza, Molina y Mejía (2005), realizaron la investigación: “Viabilidad de la extracción de carbones a cielo abierto: Caso Mina La Margarita”. Ubicada al NE del

Municipio de Titiribí, con relieve ondulado a pendientes moderadas, emplazada en rocas sedimentarias de 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. Sin embargo, la estructura el Corcovado tiene orientación:  $R_b = N30^\circ W$  y  $B_z = 30^\circ - 45^\circ$  al W, siendo afectado por la falla. La Mica ubicado en el eje del sinclinal, ocasionando un fallamiento por gravedad al plegamiento. Los cartografiados geomecánicos plasman  $\sigma_{ci} = 50$  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, definiendo las características de diseño geométrico de explotación:  $h_b = 4.50$  m.,  $\alpha_T = 60^\circ$  y  $\alpha_{TFinal} = 23^\circ$ . También se consideró las vías de maquinaria de acarreo con pendiente de 8% diseñadas por el método en zig-zag por encima del talud, considerando parámetros geométricos como:  $h_b = 5.40$  m.,  $q_b = 1.20$  m., distancia de recorrido de volquete =  $56.25$  m. y longitud de pista de planta =  $225$  m. Presentando reservas  $440,439.70$  TM, con vida útil de 5.50 años y volumen de estéril  $2,454.56$  m<sup>3</sup>. determinado en razón de descapote de  $4.0$  m<sup>3</sup>/TM. planteando el método de explotación, garantizando la producción y continuidad del proyecto.

### 2.1.2 Nacionales

Rodríguez (2019), realizó “Estudio geotécnico para el Tajo, proyecto Coroccohuayco - Cuzco - Perú”. Se ubica en el centro poblado de Yauri, distrito y provincia de Espinar, región del Cuzco, en la cuenca del río Salado emplazándose en las quebradas: Ccaccamayo y Huaccollo. La geología está conformada por la Formación: Yauri, Casanuma, Huaycha, Ferrobamba, Mara y Hualhuani e Intrusivos terciarios. Identificándose tres sistemas principales de estructuras mayores: NW-SE, NE-SO y E-O; identificándose tres familias principales de discontinuidades (JN1, JN2 y JN3) y dos sistemas secundarios (JN4 y JN5), definiendo que más del 70% de estructuras identificadas mediante televiewer corresponden a estructuras discontinuas con una apertura menor a 1 cm. La cartografiado geológico-geotécnico, lo constituyen: Diorita - Exoskarn y Endoskarn, con RMR = 41 – 46 (Regular), con  $\sigma_{ci} = 25$  a  $250$  MPa. Las rocas intrusivas (Diorita, pórfido monzonítico biotítico, pórfido monzonítico hornblendico, exoskarn -

endoskarn en diorita y latita) tiene valores de  $I_s50$  muy dispersos, llegando en algunos casos hasta 13 MPa aproximadamente. El ángulo de fricción para las principales unidades está en el rango de  $32^\circ$  a  $34^\circ$  y los valores de cohesión, entre 0.1 y 0.5 MPa., sin embargo el análisis cinemático se recomienda emplear valores conservadores ( $\phi=30^\circ$  y  $C=0\text{KPa}$ ) debido a la poca representación de la información dentro del ámbito de los tajos. Según el análisis cinemático, muestra: **Tajo Norte**, no habría controles estructurales para desarrollar rupturas planares en bancos con ángulos de cara de  $63^\circ$ ; sin embargo, se recomienda la verificación de cuñas formadas por la intersección de las fallas L3 y NE2 (Plunge =  $59^\circ$ ) en la pared S-W; y **Tajo Sur**, el sistema secundario JN5 puede desarrollar fallas tipo planar en las paredes que buzanan al N ( $N 355^\circ \pm 10^\circ$  aproximadamente). Las rupturas tipo cuña se desarrollan mayor presencia en los taludes con dirección de buzamiento entre  $N355^\circ$  y  $N040^\circ$ , resaltándose la intersección entre las Fallas L1 y E-W con plunge de  $74^\circ$ , la cual no ocasionara inestabilidad para bancos con ángulo de cara de  $63^\circ$

Paredes (2019), realizó la tesis: "Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera El Arbolito – Juliaca". Se ubica en la concesión minera Kallpayoc Warmi, ubicado políticamente en el distrito de Juliaca, provincia de San Román y departamento de Puno; la cantera El Arbolito, litológicamente está conformada por areniscas cuarzosas del Grupo Ambo y las lutitas de Grupo Cabanillas. Los parámetros de resistencia de Barton-Bandis para las areniscas ( $c = 0.109\text{ MPa}$  y  $\phi = 45.18$ ) y lutitas ( $c = 0.060\text{ MPa}$  y  $\phi = 30.093$ ). Los ensayos de laboratorio: Arenisca ( $P_e = 24.66\text{ kN/m}^3$ ,  $\sigma_{ci} = 71.30\text{ MPa}$  a  $75\text{ MPa}$ .) y lutitas ( $P_e = 22.40\text{ kN/m}^3$ ,  $\sigma_{ci} = 62.45\text{ MPa}$ .). Sin embargo, la calidad del macizo mediante el mapeo por línea de detalle, está conformado por 5 estaciones geomecánicas: 3 discontinuidades (E-1, E-2 y E-3), 2 discontinuidades (E-4) y 4 discontinuidades (E-5); sin embargo las estaciones: E-1, E-2, E-3 y E-4, se ubican en rocas areniscas de calidad buena y clase II ( $RQD = 73.39\%$  a  $82.08\%$ ,  $RMR = 63.98$  a  $74.79$  y  $GSI = 58.98$  a  $69.79$ ); y E-5 en lutitas de calidad media y clase III ( $RQD = 69.98\%$ ,  $RMR = 58.46$  y  $GSI = 53.46$ ). Sin embargo el análisis cinemático se obtuvo resultados por ruptura: Planar (E-1 (Ninguno), E-2 (D2-66.67%), E-3 (D1-38.46%), E-4 (DT-8.96%) y E-5 (D2-55.56%)), cuña (E-1/12.60%, E-2/21.75%, E-3/14.16%, E-4/8.96% y E-5/75.64%) y vuelco (E-1 (D1-100%), E-2 (D2-21.27%), E-3 (D2-3/52% y 6.25%), E-4 (DT-4.48%) y E-5 (Ninguno)). Mediante los resultados de equilibrio límite se

obtuvo FS: Planar (E-2, E-3 y E-5) y cuña (E-2 y E-5), siendo E-2 mayores a 1.50 y la E-3 y E-5 menores 1.50.

Medina (2014), realizó la tesis: “Estudio geomecánico de estabilidad de taludes del Tajo Chapi Sulfuros”. La Mina Chapi se ubica en el distrito La Capilla, provincia General Sánchez Cerro y departamento de Moquegua, en las partes altas de la quebrada Chapi. El yacimiento Chapi tipo estrato ligado, con mineralización pórfido Cu-Mo, ubicado en el corredor estructural de la franja metalogénica enmarcado por las fallas: Chapi y América, de tendencia NW-SE con extensión aproximada de 4 Km. de largo y 1.2 Km. de ancho. La Falla Chapi es el control estructural principal para el emplazamiento de los pórfidos de cobre y soluciones mineralizantes, donde la mineralización económica se encuentra en el techo de esta falla y hacia el piso la mineralización disminuye a manera de mantos enriquecidos con calcosina. Las geoestructuras lo definen tres sistemas principales (**Sistema 1:** Rb. NW y Bz. echado al SW, conformado por estratos y constituye el sistema principal y predominante; **Sistema 2:** Rb. NW y Bz. sub vertical al NE, conformado por diaclasas; y **Sistema 3:** Rb. NEE y Bz. subvertical tanto SE como NW, conformado por diaclasas) y un sistema secundario (Rb. NEE y Bz. echado al NW, localizado y conformado por diaclasas). En cambio, la clasificación geomecánica está directamente asociada al aspecto litológico y estructural: Sill diorítico, pórfido cuarcífero y diques andesíticos de calidad Regular A (IIIA RMR 51-60), y las rocas sedimentarias compuestas por areniscas: Feldespáticas y cuarzosas, y cuarcitas de calidad Regular B (IIIB RMR 41-50); y zonas de fallas y sus áreas de influencia, así como las áreas de roca muy fracturada y alterada en diferentes tipos de rocas, de calidad Mala B (IVB RMR 21 a 30). Sin embargo, la zonificación geomecánica presenta 3 dominios estructurales: DE-IIIA (Pórfido cuarcífero, sill diorítico y andesitas), DE-IIIB (Areniscas: Feldespáticas y cuarzosas, y cuarcitas) y DE-IVB (fallas y zonas de influencia de falla y zonas muy fracturadas y alteradas). Las calidades de la masa rocosa en cada uno de ellos son respectivamente: Regular A (IIIA), Regular B (IIIB) y Mala B (IVB), con RMR promedios: 52, 45 y 23. Los flujos de aguas subterránea se dirige hacia las quebradas ubicadas al SW y W del área del tajo, por tanto, las aguas del sector E y NE se dirigen hacia el centro del tajo, donde según el mapa piezométrico interpretado por Lavalin en la parte central longitudinal del tajo la napa freática está

en la cota 2,500 msnm., indicando que se encuentra a 80 m. por debajo del nivel más profundo del tajo actualmente en explotación y por encima del nivel más bajo del futuro tajo cuya cota inferior será de 2,324 msnm.

Gutiérrez (2019), realizó la tesis: “Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicados en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S.A.A.”. El proyecto de explotación Cerro Palo se encuentra ubicado en el distrito: Unión Leticia, provincia: Trama, departamento: Junín; en la concesión minera Jurásica. La cantera de afloramientos corresponde principalmente a serie de rocas carbonatadas del Grupo Pucará que representan una extensa plataforma carbonatada, desarrollada con rumbo andino (NO) está conformada por potentes secuencias de dolomitas en ambientes peritidales, en parte con características pre-evaporíticas. Los sistemas geoestructurales fueron clasificados en tres: Sistema 1: DD = 319° y D = 52°, representado por la estratificación; Sistema 2: DD = 127° y D = 54°, control estructural de fallas; y Sistema 3: DD = 226° y D = 57°, corresponde a sistemas aleatorios de fracturamiento. La geomecánica fue constituida por celda de detalle mediante 30 estaciones distribuidas en el tajo, clasificándolos como rocas de Clase III y Calidad Media, obteniendo por el tipo de ruptura: planar (SMR>60, 60>SMR>40 y 40>SMR>15; ninguna importante-Muy grandes), cuña (SMR>75, 75>SMR>49 y 55>SMR>40; muy pocas-algunas-muchas), vuelco (SMR>65, 65>SMR>50 y 40>SMR>30; ninguna-menores-importantes) y completas (SMR>30 y 30>SMR>10; ninguna posible). Definiendo los parámetros de operación del tajo:  $\alpha_T = 70^\circ$ ,  $\alpha_{T\text{Final}} = 50^\circ$ , R = 10.20 m., P = 12%, bs = 5 m., b = 20 a 30 m., h<sub>b</sub> = 10 m. El costo de explosivos para la explotación convencional del talud final de la cantera es de S/. 0.65/ MT, ya que se realizará un precorte. Sin embargo, el costo del método de minería basado en plataforma es de S/. 0.33/TM, ya que los costos de precorte se reducen a cero; como resultado, hay una reducción del 97%.

### **2.1.3 Locales**

Fernández (2021), según su tesis: “Factibilidad de un plan de minado en la Cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, distrito de Baños del Inca”. La factibilidad de minado de la cantera Chinchin, se ubica en el centro poblado Otuzco,



distrito Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca; aplicando metodología: Descriptiva, explicativo, no experimental y corte transversal. La geomorfología presenta: Planicies, lomadas y escarpas, desde  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , conformando superficies homogéneas a heterogéneas, delimitado notoriamente por morfologías kársticas por: Dolinas y lenares. La cantera de roca está emplazada en rocas sedimentarias calcáreas de la Formación Cajamarca, de color gris azulada con:  $Az = N120^\circ$  y  $Bz = 32^\circ SW$ , con espesor: 0.85 m. a 1.10 m. y  $\delta = 2.67 \text{ t/m}^3$ , conformando  $10,000 \text{ m}^2$  de terreno, produciendo 25 TM/día por horno (3 hornos), definiendo 38 años de vida útil siendo cubiertas por sectores por Depósitos: Eluviales, Coluviales, Aluviales y Fluvio-aluviales. Sin embargo, los parámetros geomecánicos muestran:  $RQD = 56\%$ ,  $RMR = 60$  y  $GSI = 56$ , de clase R4 y  $\sigma_{ci} = 75 \text{ MPa}$ ; aplicando factor de carga explosiva =  $0.82 \text{ gr/cm}^3$ ,  $B = 2.00 \text{ m}$ ,  $S = 3.00 \text{ m}$ ,  $SP = 0.60 \text{ m}$ ,  $T = 1.40 \text{ m}$ ,  $LT = 5.60 \text{ m}$ ,  $LC = 4.20 \text{ m}$ ,  $QCC = 3.60 \text{ kg/m}$  y  $Vr = 30 \text{ m}^3/\text{Tal}$ ; definiendo malla de perforación rectangular. Aplicando el método de explotación sería a tajo abierto con  $\alpha_T = 70^\circ$ ,  $\alpha_{T\text{Final}} = 36^\circ$ ,  $R = 5.00 \text{ m}$ ,  $P = 10\%$ ,  $b = 5.50 \text{ m}$ ,  $h_b = 5.00 \text{ m}$  y  $h_{bq} = 1.20 \text{ m}$ .

Piérola (2017), realizó la tesis: "Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión distrito de Baños del Inca – Cajamarca 2015". El yacimiento no metálico de Caliza, cantera La Unión está representada por S.M.R. Ltda. La Unión de Cajamarca; ubicada en el departamento, provincia de Cajamarca, distrito Baños del Inca, conformado por 100 ha. de rocas carbonatadas de origen sedimentario de edad Cretáceo Superior - Formación Cajamarca, de 0.50 m. a 1.20 m de espesor de color gris azulado, con intercalaciones de lutitas en su base. La empresa extraía roca caliza 30 TM/día, con 2 hornos/día (Ubicados a 8 Km., con capacidad de cada horno de 35 TM, utilizando el 50% de capacidad), con reservas: Probadas 748,860 TM., probables 110,112 TM. y prospectivos 553,284.85 TM; conformando (Probada + Probable) 858,972.00 TM, definiendo un tiempo de vida útil 95 años, con estimación de costos de operación \$ 23,719.33, con ingresos mensuales \$ 34,188.00; obteniendo rentabilidad \$ 10,468.67. Sin embargo, mediante su investigación define la optimización de producción a 63 TM/día, obtenido un tiempo de vida operativa 45 años desde el años 2015 observándose la capacidad de producción desde los meses: Octubre ( $H_a = 30.36 \text{ TM/día}$  y  $H_b = 32.29 \text{ TM/día}$ ), noviembre ( $H_a = 31.56 \text{ TM/día}$  y  $H_b = 31.45 \text{ TM/día}$ ), y diciembre ( $H_a = 30.38$

TM/día y  $H_b = 32.51$  TM/día); con estimación de costos de operación \$ 21,220, con ingresos mensuales \$ 42,248.00; obteniendo rentabilidad \$ 21,028.00, incrementando su ganancia en el doble. Planteando el método de explotación a cielo abierto constituido por operaciones unitarias: Perforación, voladura, carguío, transporte y trituración manual. La geomecánica definió que el afloramiento rocoso presenta tres familias (D/DD):  $73^\circ/166^\circ$ ,  $70^\circ/219^\circ$  y  $74^\circ/41^\circ$ , obteniendo:  $\delta = 2.51$  gr/cm<sup>3</sup>.,  $P_e = 24.60$  KN/m<sup>3</sup>.,  $\sigma_{ci} = 74.13$  MPa; RQD = 95.76%, RMR = 57 y GSI = 52. Utilizando bancos de producción tienen malla de perforación: B = 1.00 m., S = 2.00 m., obteniendo 65 m<sup>3</sup>. de roca fragmentada por día.

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, conformado por 100 Ha, superponiendo la superficie concesionada y el terreno superficial (30,309.89 m<sup>2</sup>.), se obtuvo un área efectiva de 20,384.34 m<sup>2</sup>. de roca caliza. La geología del proyecto minero se ubica en el Cuadrángulo de Chota 14-f, de la Formación Cajamarca, conformado por calizas gris azuladas del Cretáceo Superior, con espesores: 0.60 m. a 1.30 m, con ley de pureza de CaCO<sub>3</sub> del 92%. Concluyendo que presenta reservas el yacimiento de 1’536,979.236 TM, con producción diaria de 95 TM/día, obteniendo una vida útil 47 años de operaciones mineras. También 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°.

Terán (2022), realizó la tesis: “Evaluación geotécnica y diseño del tajo Esmael de la Empresa Cal plus, concesión Colquirrumi 49-C. Distrito, provincia de Hualgayoc – Cajamarca”. El tajo Esmael se ubica en el lugar: Chilifruta, centro poblado: Apan Bajo, distrito: Bambamarca, provincia: Hualgayoc y departamento: Cajamarca; ubicada en el lugar denominado Chilifruta II. Obteniendo como resultados que 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. =  $52^\circ$  y Bz. =  $20^\circ$ 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. Geomecánicamente muestra afloramientos rocosos 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  $38^\circ$  y cohesión de 9.18 MPa. promedio. Sin embargo, 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.; denotando alta retención de agua en la zona de investigación. Por consiguiente, 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 en las operaciones mineras. Por otro lado, el comportamiento geotécnico muestra cuatro discontinuidades, 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 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. Definiendo el método de explotación a cielo abierto y diseño del tajo: altura de banco = 2.00 m., quebradura = 0.35 m., ancho rampa = 4.50 m., ancho berma = 2.40 m., ángulo de banco =  $80^\circ$  y ángulo final de banco =  $33^\circ$ , acompañado de la profundidad de perforación y voladura.

Wilson (1984), Boletín N° 31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos: Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d) y Chepén (14-e). Enfoca el contexto geológico regional escala 1/100,000 en los aspectos: Estratigráficos, estructurales, tectónicos y plutonismo, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en la región de Cajamarca; para interpretaciones, análisis y ubicación de las formaciones geológicas, siendo de gran apoyo para geología local.

Jaimes et al., (2013), aportaron el “Mapa geológico del cuadrángulo de Chota, escala 1/50,000 hoja 15-f cuadrante-I”. Mostrando información detallada: Geología local, geoestructuras, cuerpos intrusivos y zonas mineralizadas.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Clasificaciones Geomecánicas**

Las clasificaciones de los macizos rocosos con fines geotécnicos, cuya finalidad es la obtención de parámetros geomecánicos para su empleo en el diseño y proyecto de las obras de ingeniería. Los macizos rocosos, como medios discontinuos presentan un comportamiento geomecánico complejo que, de una forma simplificada, puede ser estudiado y categorizado en función de su aptitud para distintas aplicaciones. Siendo su objetivo aportar, mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente al sostenimiento: Túneles y taludes, y la excavabilidad de las rocas (González, 2004).

#### ***Índice de Calidad de Roca (RQD)***

El RQD fue introducido hace más de 30 años como un Índice de Calidad de Roca, cuando la información de la roca estaba usualmente disponible solo a partir de las descripciones geológicas y del porcentaje de núcleos de recuperación (Deere, 1988). Cuando no se dispone de núcleos de perforación, el RQD pueden ser estimado a partir de un alineamiento o de un área de mapeo, como se describe a continuación: Para una línea de mapeo, se puede obtener el promedio del espaciado de las discontinuidades (Número de discontinuidades dividida para la longitud de la línea de muestreo) (Gavilanes y Andrade, 2004). El RQD Obteniendo de esta manera, se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$\lambda$  = Numero de discontinuidades/ Longitud

Ecuación 2.2

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: Deere, 1967.

### **Valoración de la Masa Rocosa (RMR)**

El sistema de valoración de la masa rocosa (RMR) es una referencia mundial para clasificar geomecánicamente del macizo rocoso. Desarrollado inicialmente por Bieniawski en 1973, posteriormente, actualizado 1989, el sistema RMR, el sistema RMR ha sido nuevamente actualizado en 2014, modificando los criterios de valoración e incorporando el efecto de la alterabilidad de la matriz rocosa por el agua, el cual ofrece un enfoque más acertado para calificar el macizo rocoso (Osinermin, 2017).

Las versiones más usadas son el RMR<sub>76</sub> y RMR<sub>89</sub>. Ambas incorporan las valoraciones de parámetros como:

- Resistencia de la roca intacta
- RQD
- Espaciamiento de discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Agua subterránea

El puntaje total del RMR está definido por:

$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - \text{ajuste por orientación de discontinuidades.}$

Ecuación 2.1

Cuadro 2.2. Interpretación de valores RMR.

| Clase de macizo rocoso | Calidad de roca | Valoración RMR |
|------------------------|-----------------|----------------|
| I                      | Muy mala        | 100 – 81       |
| II                     | Mala            | 80 – 61        |
| III                    | Regular         | 60 – 41        |
| IV                     | Buena           | 40 – 21        |
| V                      | Excelente       | < 20           |

Fuente: Bieniawski, 1989.

### ***índice de resistencia geológica (GSI)***

Hoek y Brown (1997) introdujeron el índice de resistencia geológica (GSI), tanto para macizos rocosos duros como débiles. los ingenieros de campo y los geólogos experimentados generalmente muestran un gusto por una clasificación simple, rápida pero confiable que se basa en la inspección visual de las condiciones geológicas. Hoek y Brown (1997) propusieron una clasificación tan práctica para estimar el GSI basándose únicamente en la inspección visual (cuadro 2.3) en esta clasificación, hay cinco clasificaciones cualitativas principales de las estructuras del macizo rocoso:

Cuadro 2.3. 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.

El índice GSI fue modificado por Vallejo (2002) con el objetivo de utilizar los cuadros originales de manera práctica y sencilla de clasificar cualitativamente al macizo rocoso y recomendar el sostenimiento requerido. Cabe señalar que el índice GSI fue originalmente desarrollado con la finalidad de obtener parámetros para el criterio de falla de Hoek & Brown, por lo que Vallejo recurre a las equivalencias del GSI con RMR para recomendar y dimensionar el sostenimiento. Las tablas resultan ser muy prácticas para ser empleadas solo para los colaboradores o trabajadores,

sin embargo, corresponderá al personal especializado del área de geomecánica de cada empresa (Osinergmin, 2017).

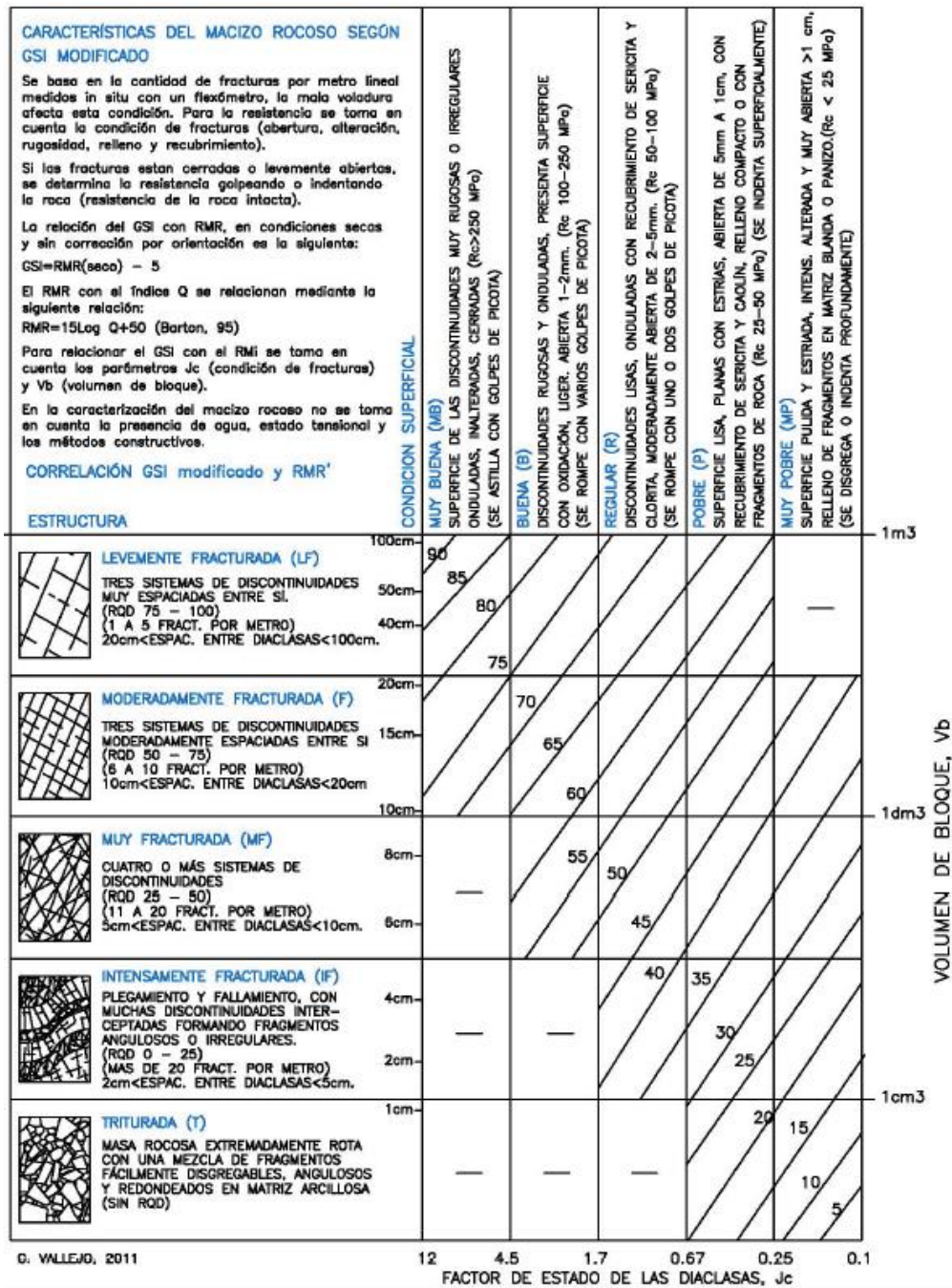


Figura 2.1. Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. Fuente: Osinergmin, 2017.

## 2.2.2 CRITERIOS DE RESISTENCIA Y DEFORMACIÓN DE MASAS ROCOSAS

### *Criterio de Rotura no Lineal*

El criterio Hoek y Brown, introdujeron el criterio de rotura para el diseño de excavaciones subterráneas, partiendo de las propiedades de la roca intacta e introducción los factores reductores de la propiedad sobre la base de las características del macizo rocoso diaclasado. Relacionándolo el criterio empírico con las observaciones geológicas, por medio de uno de los sistemas de clasificación de los macizos rocosos, eligieron para este propósito el RMR. Proporcionando la introducción de macizos rocosos: Inalterados y alterados, por Hoek y Brown (1988) y la introducción de un criterio modificado para obligar a la resistencia a tracción del macizo rocoso a tender a cero para macizos de calidad muy mala (Hoek, Wood y Shah, 1992). Proponiendo el criterio Hoek y Brown generalizados para macizo rocosos fracturados (Hoek, Carranza y Corkum, 2002).

### *Criterio de Rotura Lineal*

Propuesto por Mohr-Coulomb, siendo necesario determinar: Ángulo de fricción y resistencia cohesiva, para cada macizo rocoso e intervalo de esfuerzos. Esto se hace ajustando una relación lineal media a la curva generada a partir de la ecuación generalizada Hoek y Brown, para un intervalo de esfuerzo principal menor definido por:  $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_3^{\max}$ , como se ilustra en la Figura 2.2. El proceso de ajuste supone equilibrar las áreas por encima y por debajo de la curva de Mohr-Coulomb. Esto da lugar a las siguientes ecuaciones para el ángulo de fricción  $\phi'$  y la resistencia cohesiva  $c'$ :



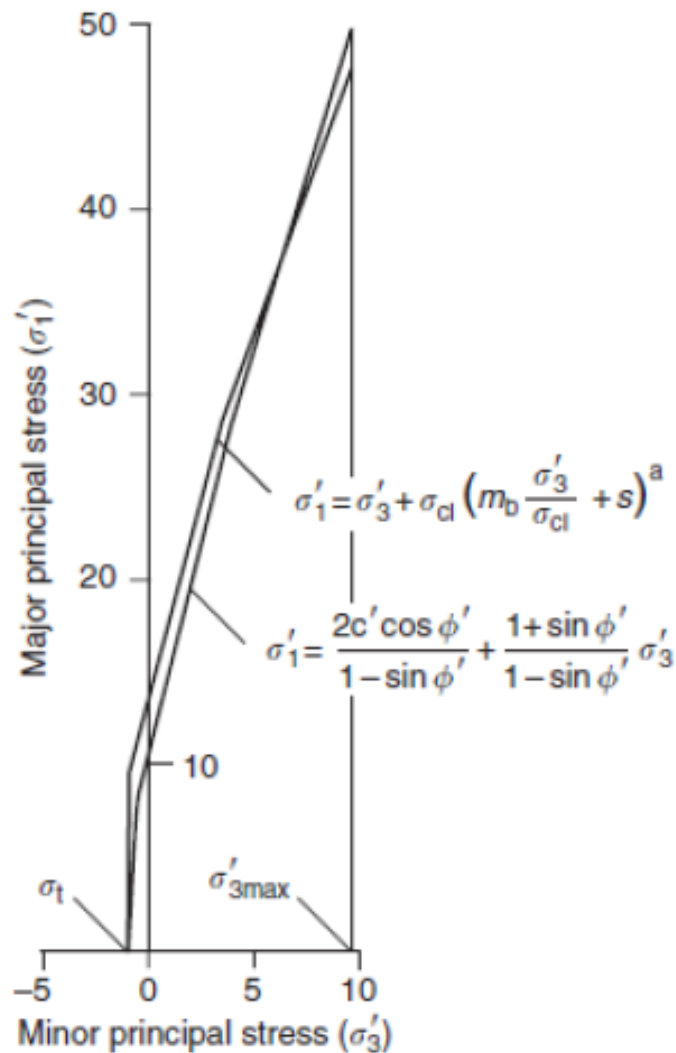


Figura 2.2. Relaciones entre esfuerzos principales mayores y menores, para el criterio de Hoek-Brown y equivalente Mohr-Coulomb.  
Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

### **Resistencia del Macizo Rocosó**

La resistencia a compresión uniaxial del macizo rocoso  $\sigma_c$ . La rotura se inicia en el contorno de una excavación cuando los esfuerzos introducidos en dicho contorno exceden el valor  $\sigma_c$ . La rotura se propaga desde este punto inicial formando un campo de esfuerzos biaxial en rotura y eventualmente se estabiliza cuando la relación de esfuerzos de resistencia local, por el criterio generalizado Hoek y Brown, resulta mayor la combinación de esfuerzos inducidos  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ . Muchos modelos numéricos pueden seguir este proceso de propagación de rotura, siendo muy importante este nivel de análisis detallado cuando se trata de

determinarla estabilidad de excavaciones en roca y cuando se diseñan sistemas de sostenimiento para estas excavaciones (Hoek, Carranza y Corkum, 2002).

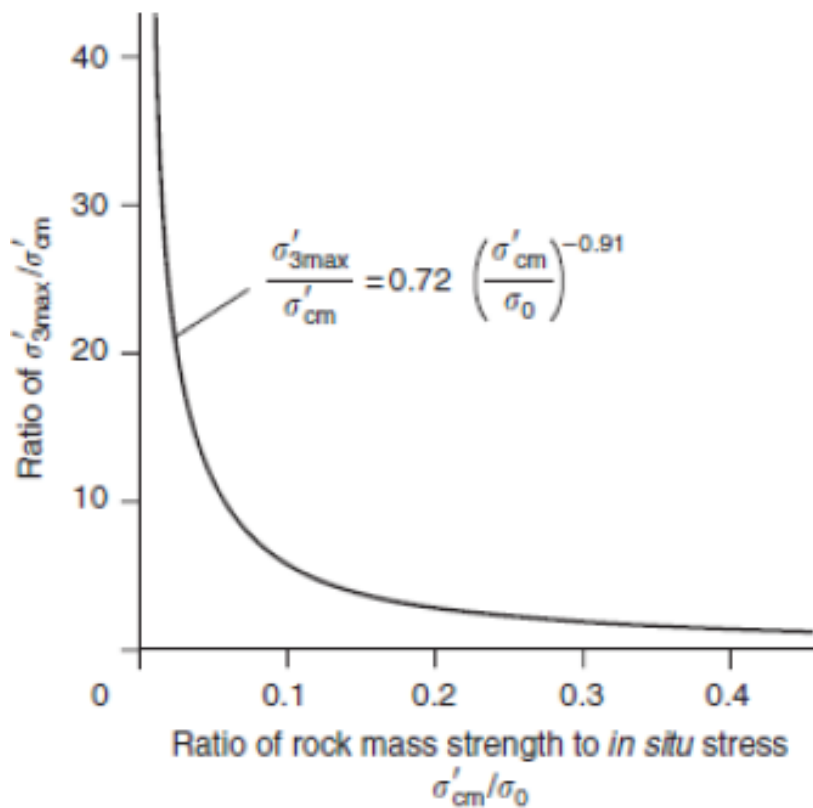


Figura 2.3. Relación para el cálculo de  $\sigma'_{3max}$  para los parámetros equivalentes de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown para taludes.  
Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

### **Determinación $\sigma'_{3max}$**

La determinación del valor apropiado de  $\sigma'_{3max}$ , depende de cada situación específica. Para el caso de taludes, el factor de seguridad calculado y 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  $\sigma'_{3max}$  da curvas características equivalentes (Wyllie y Mah, 2004).

### **2.2.3 Linealización del Criterio Hoek-Brown para el Análisis de Estabilidad General de Taludes en Roca**

El criterio de Hoek-Brown se considera muy adecuado para los macizos rocosos pues reduce la resistencia a tracción específicamente en macizo rocosos malos, y la resistencia no crece tanto en el estado de confinamiento como sucede con el de Mohr-Coulomb. En el campo del diseño de taludes ha tenido escaso desarrollo, solamente iniciado por algunos autores en los últimos años, a partir de programas de cálculo tenso-deformacional (Puell, Arenillas y De La Puente, 2004).

#### ***Método de la Tangente***

Método desarrollado por J. W. Bray y descrito en Hoek (1983), determina la resistencia al corte del terreno para un determinado estado tensional según la correspondiente envolvente de Mohr-Coulomb, tangente a la envolvente de Hoek y Brown. En a practica este método es difícil de aplicar porque los programas de cálculo suelen caracterizar el terreno con valores:  $c$  y  $\phi$ , que se mantienen constantes para el mismo tipo de terreno, en lugar de hacerlos depender del valor de la tensión normal en cada punto (Puell, Arenillas y De La Puente, 2004).

El método de la tangente proporciona la resistencia al corte del terreno para un determinado estado tensional mediante la correspondiente envolvente de Mohr-Coulomb, tangente a la envolvente de rotura de Hoek y Brown. Es un método difícil de aplicar, debido a que los programas de cálculo suelen caracterizar el terreno mediante un ángulo de fricción y una cohesión constantes, en vez de hacerlo para una pareja de valores que varían en función de la tensión normal en cada punto (ETSECCPB, 2009)

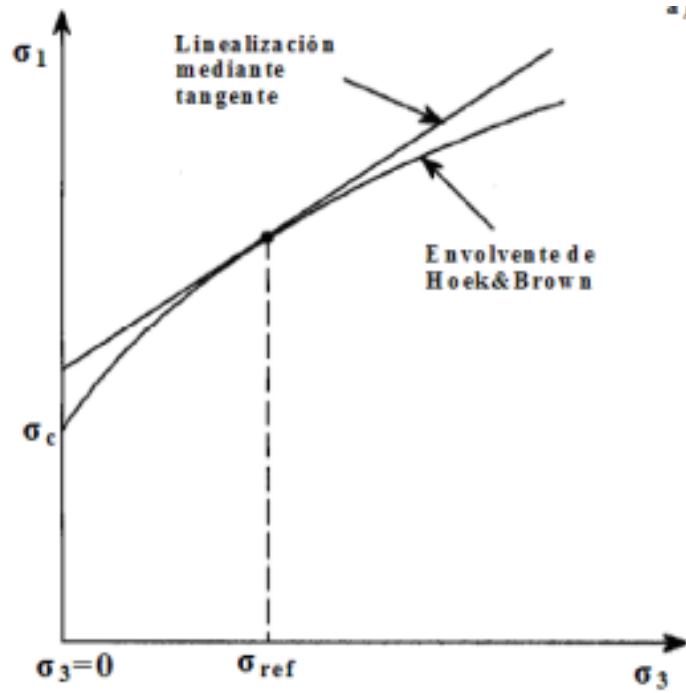


Figura 2.4. Representación gráfica de linealización del criterio rotura de Hoek y Brown mediante el método de la tangente.  
Fuente: Puell, Arenillas y De La Puente, 2004.

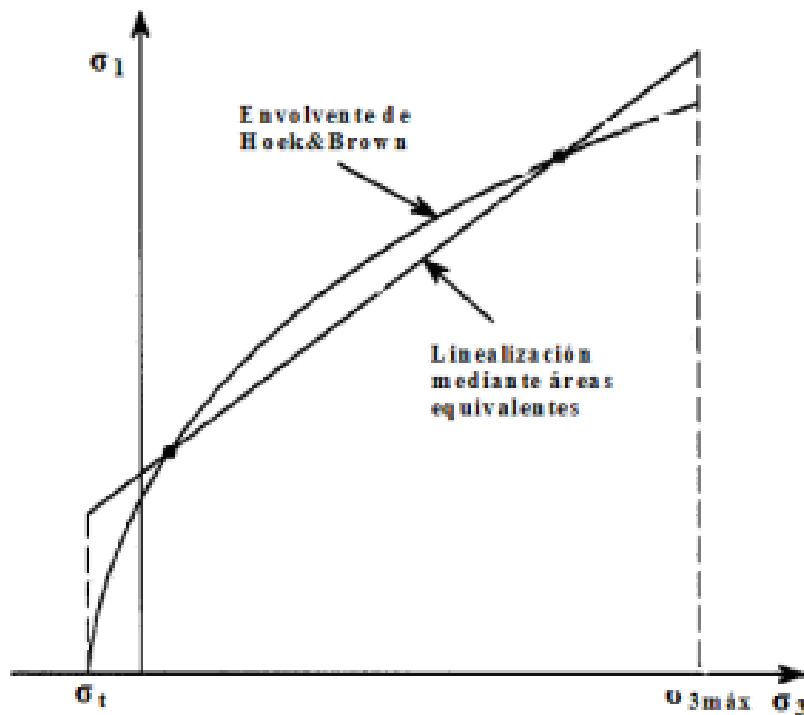


Figura 2.5. Representación gráfica de linealización del criterio de Hoek y Brown mediante el método de la equivalencia de áreas.  
Fuente: Puell, Arenillas y De La Puente, 2004.

## ***Método de la Equivalencia de Áreas***

Recientemente los autores Hoek, Carranza y Corkum, (2002) proponen encajar una recta que equilibre las áreas que quedan entre la envolvente curva de Hoek y Brown y la linealización Mohr-Coulomb, para un determinado rango de tensiones. Esto lo resuelve para un rango de tensiones  $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_3^{\max}$ , siendo:  $\sigma_1$  la resistencia a la tracción y  $\sigma_3^{\max}$  la presión de confinamiento máxima (Puell, Arenillas y De La Puente, 2004).

### **2.2.4 Identificación de Tipos de Inestabilidad en Taludes Rocosos**

Las rupturas en taludes están asociados a diferentes estructuras geológicas siendo importante para el diseñador del talud que pueda reconocer los problemas potenciales de estabilidad durante las etapas iniciales del proyecto. Algunos de los patrones estructurales que deben identificarse al examinar los diagramas de polos. La Figura 2.6, muestra los cuatro tipos de rupturas a considerar y los diagramas de polos típicos de las condiciones geológicas que pueden conducir a tales roturas. Tenga en cuenta que, al evaluar la estabilidad, la cara de corte del talud debe incluirse en el gráfico estereográfico, ya que el deslizamiento solo puede ocurrir como resultado del movimiento hacia la cara libre creada por el corte. La importancia de distinguir entre estos cuatro tipos de roturas en taludes es que existe un tipo específico de análisis de estabilidad para cada uno, como se muestra a continuación, y es esencial que se utilice el método de análisis correcto en el diseño (Wyllie y Mah, 2004). Constituido por roturas:

**Ruptura Planar:** Se produce siguiendo una discontinuidad con dirección aproximadamente igual a la del talud pero que buza menos que este, quedando descalzado por lo tanto un prisma de roca. Requiriendo superficies laterales de despegue. **Ruptura en cuña:** Se produce siguiendo dos planos de discontinuidad, de manera que el buzamiento de la línea de intersección de ambos tenga un buzamiento inferior al ángulo del talud, descalzando un tetraedro o cuña de roca que podrá eventualmente deslizarse. **Ruptura por vuelco:** Se produce cuando tiene una familia muy persistente y poco espaciada que tengan un rumbo paralelo al talud. **Ruptura circular:** Tiene lugar en macizos rocosos de mala calidad,

meteorizados o en suelos. Produciéndose, siguiendo trayectoria circular (Ramírez y Alejano, 2004).

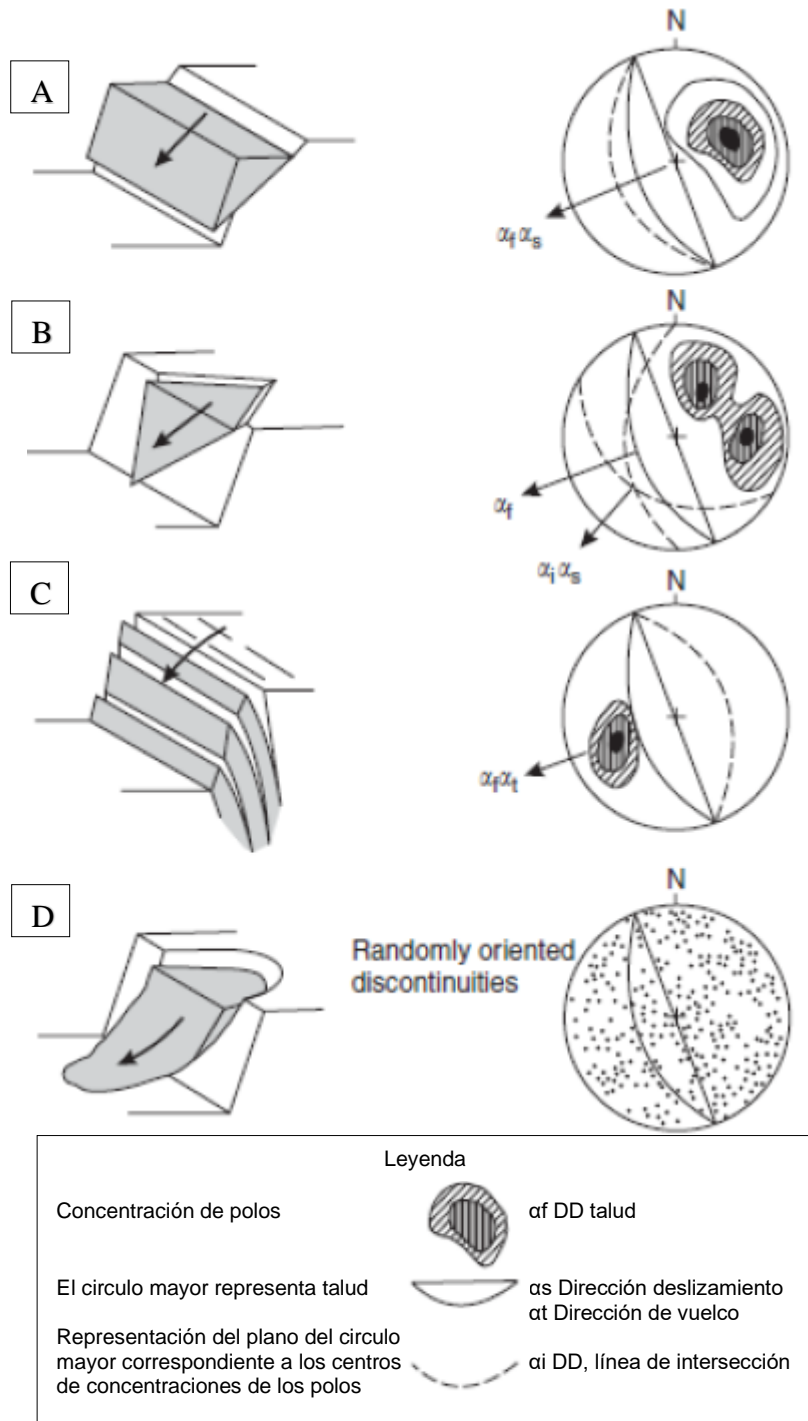


Figura 2.6. Principales tipos de rupturas de bloques en taludes y condiciones geológicas estructurales que causar rupturas: (a) Ruptura planar (b) Ruptura por cuña (d) Ruptura circular.

Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

**Clasificación Geomecánica:** Descripción sistemática de la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de naturaleza subjetiva y objetiva, expresado en cantidades, denominado índice de clasificación (Berrocal, 2015).

**Dirección del Buzamiento:** Es la dirección de la máxima pendiente hacia abajo y está en ángulo recto con la dirección, siendo expresada como uno de los ocho puntos de la brújula: N, NE, E, SE, S, SW, W y NW (Lisle y Lesión, 2002).

**Fuerzas Superficiales:** son aquellas que actúan a través de superficies de contacto entre las partes adyacentes de un cuerpo de roca. La magnitud de una fuerza superficial depende del área de superficie a considerar, aunque no actúe a través de un límite visible de un material. Así, las fuerzas que se ejercen a través de cualquier plano dentro de un grano de roca, o dentro de una placa litosférica, se consideran fuerzas superficiales (Padilla, 2021).

**Método de Cálculo en Deformación:** Su aplicación práctica es complejo y se debe estudiar aplicando el método: Elementos finitos y numéricos (Herrera, 2000).

**Ladera:** Término descriptivo usado en geomorfología para designar los terrenos inclinados de una cadena montañosa, o par las pendientes de cualquier tipo de elevación de terreno (Dávila, 2011).

**Talud:** Cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería (Batista et al., 2012).

**Zona de Falla:** Se trata de una estructura frágil compuesta por innumerables planos de falla, sub-paralelos a marcadamente oblicuos entre sí, interconectados y estrechamente espaciados. En algunos sectores la zona de falla puede tener zonas de brecha o harina de falla (Lillo y Oyarzun, 2013).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 UBICACIÓN**

Las operaciones mineras no metálicas de extracción de roca caliza de la empresa Calera MV S.R.L; se ubica en el caserío Chilifruta, centro poblado Apan Bajo, distrito, provincia Hualgayoc al norte de Cajamarca; en la cadena montañosa occidental del Perú. Regionalmente delimitado por la cuenca Marañón, evacuando sus aguas a la quebrada Chilca de la microcuenca del río Arascorgue. Geográficamente corresponde al cuadrángulo de Chota (14-f), con coordenadas: SISTEMA UTM DATUM WGS-84 ZONA 17S. Sin embargo, las operaciones extractivas de roca caliza constituyen el petitorio minero Colquirrumi N° 19-C., conformando un área 8,681.89 m<sup>2</sup>.

#### **3.2 ACCESIBILIDAD**

El punto de partida se llevó a cabo desde la ciudad de Cajamarca, con referencia la plaza de armas con orientación NW, por el Jr. Amalia Puga, luego cambiando a orientación NE por el Jr. Santa Rosa, posteriormente cambiando a orientación NNW, siendo el Jr. Angamos, cambiando de nombre Jr. Hermano Miguel Carducci, en condiciones de viales: Buenas a regulares, llegando al paradero de combis a Bambamarca tomando orientación NW (Paralelo al río Mashcon), siguiendo la carretera: Asfalta y afirmada, por tramos llegando al centro poblado Empalme, cambiando bruscamente a orientación NE llegando al distrito Hualgayoc, siguiendo la misma orientación llegando al centro poblado Apan Bajo, luego cambiando a trocha carrozable bruscamente a orientación ESE llegando al caserío Chilifruta, luego cambiando a orientación N llegando finalmente a la empresa Calera MV S.R.L.





Figura 3.1. Tajo de explotación de la empresa minera Calera MV S.R.L.; coordenadas: E769980.42 y N9255484.71.

Cuadro 3.1. Cronograma de ruta - zona de investigación: Ida y regreso.

| Tramo                 |            | Estado de Vía | Carretera | Transporte | Movilidad | Recorrido       |             |
|-----------------------|------------|---------------|-----------|------------|-----------|-----------------|-------------|
| De                    | A          |               |           |            |           | Distancia (Km.) | Tiempo (h.) |
| Paradero a Bambamarca | Empalme    | Regular       | Asfaltada | Terrestre  | Camioneta | 68+000          | 01:43       |
| Empalme               | Hualgayoc  | Regular       | Asfaltada | Terrestre  | Camioneta | 19+400          | 00:33       |
| Hualgayoc             | Apan Bajo  | Regular       | Asfaltada | Terrestre  | Camioneta | 12+600          | 00:17       |
| Apan Bajo             | Chilifruta | Mala          | Afirmada  | Terrestre  | Camioneta | 03+500          | 00:08       |
| Total                 |            |               |           |            |           | 100+500         | 02:41       |

Cuadro 3.2. Coordenadas de terreno y petitorio minero.

| Vértice | Este (m.)  | Norte (m.)   |
|---------|------------|--------------|
| 1       | 769,934.93 | 9'255,529.92 |
| 2       | 769,946.00 | 9'255,548.20 |
| 3       | 769,977.16 | 9'255,611.11 |
| 4       | 769,984.06 | 9'255,620.91 |
| 5       | 769,995.08 | 9'255,634.28 |
| 6       | 769,987.36 | 9'255,620.57 |
| 7       | 769,984.17 | 9'255,610.93 |
| 8       | 769,983.58 | 9'255,583.15 |
| 9       | 769,982.91 | 9'255,551.50 |
| 10      | 769,979.37 | 9'255,539.02 |
| 11      | 769,992.33 | 9'255,538.02 |
| 12      | 770,013.03 | 9'255,535.04 |
| 13      | 770,015.02 | 9'255,523.12 |
| 14      | 769,989.67 | 9'255,521.85 |
| 15      | 769,998.93 | 9'255,512.42 |
| 16      | 770,031.09 | 9'255,489.37 |
| 17      | 770,006.80 | 9'255,460.13 |
| 18      | 769,935.54 | 9'255,407.42 |
| 19      | 769,957.69 | 9'255,438.76 |
| 20      | 769,943.13 | 9'255,474.24 |

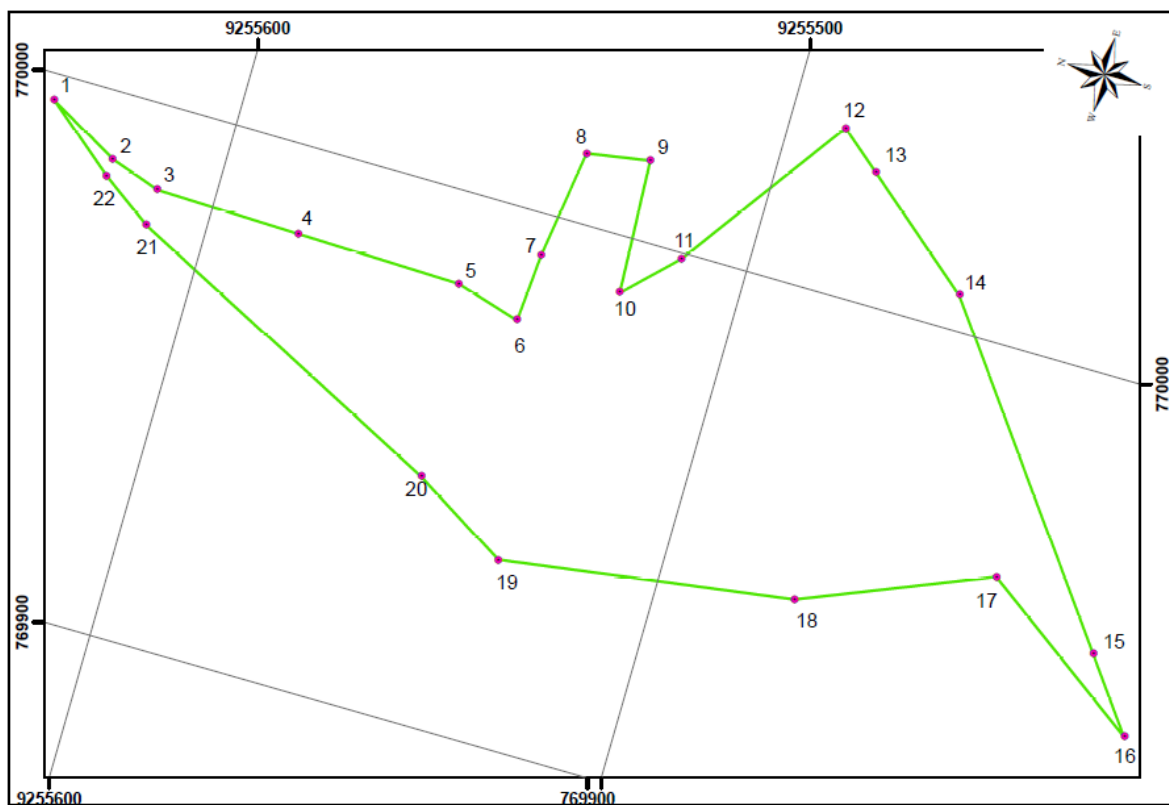


Figura 3.2. Delimitación del terreno superficial.



Figura 3.3. Ruta de movilidad desde el punto de salida (Cajamarca) a punto de llegada (Apan Bajo).  
Fuente: Google Maps, 2023.



Figura 3.4. Cruce centro poblado Apan Bajo e ingreso caserío Chilifruta. Operaciones mineras de la empresa Calera MV S.R.L.  
Fuente: Google Maps, 2023.

### 3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

El proyecto presenta un clima: Templado a frío, con temperatura promedio: Mínima y máxima, variando durante todo el año; presentando con temperatura mínima: 7°C y 13°C en las partes más altas del río Arascorgue, presentando enfriamiento durante las noches claras manifestándose por: Heladas y lloviznas; en cambio las temperaturas máximas fluctúan entre: 13°C y 21°C en caserío Frutillo (Bambamarca). Presentando cobertura vegetal arbustiva escasa y afloramientos rocosos; ubicándose en el piso altitudinal quechua entre 2,300 msnm. a 3500 msnm.; en la zona de vida bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), ofreciendo para el establecimiento humano, con terrenos de poco declive, concentrada a la producción: Papa, hortalizas y maíz. Aquí, se encuentra la mayor parte de áreas dedicadas a la actividad ganadera Delimitada en el cultivo: Papa (*Solanum tuberosum*) haba (*Vicia faba*), trigo (*Triticum sativum*), cebada (*Hordeum sativum*) y choclo (*Lupinus spp*); existiendo praderas de pastos naturales con especies: *Calamagrostis antoniana*, *Paspalum tuberosum*, y *Calamagrostis antoniana* y *Agrostis toluensis*. La estación: Bambamarca, tipo convencional-meteorológica del SENAMHI; ubicada en el departamento: Cajamarca, provincia: Hualgayoc y distrito: Bambamarca; con código: 100015, Latitud: 6°40'35.58''S, Longitud: 78°31'06.01''W y Cota: 2495 msnm.

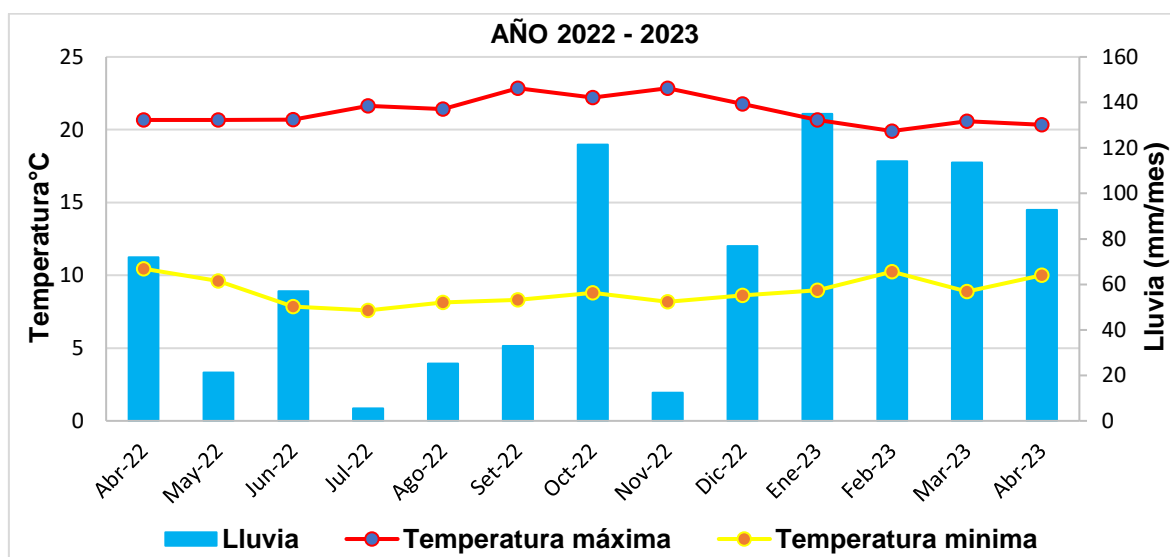


Figura 3.5. Variograma estadístico de meteorología en función de Temperatura (Máxima y mínima) y precipitación, desde año: 2022-2023.

Fuente: SENAMHI, 2022-2023.

### 3.4 HIDROLOGÍA

Hidrológicamente el drenaje principal pertenece a la intercuenca Alto Marañón IV, siendo delimitado por el río Arascorgue, ubicado en la zona montañosa dentro de la Cordillera Occidental del distrito Hualgayoc (naciente), en la microcuenca del río Arascorgue, con orientación NNE-SWW. Específicamente está ubicado en el centro poblado La Tauna, con cotas que oscilan entre: 3,200 msnm. hacia el NNE-SWW (distrito de Hualgayoc como naciente) y 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 Arascorgue confluyendo con la quebrada El Tragadero (Tiene como naciente en el centro poblado 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, cambiando de orientación SW-NE bruscamente, con longitud de 23.60 Km., desembocando sus aguas al río Marañón (Nace en el SW del departamento de Huánuco en la Provincia de Lauricocha) a los 1,050 msnm. con orientación SSE-NNW, recorriendo aproximadamente 253.28 Km. interceptando con el río Chinchipe a los 390 msnm. con orientación NE-SW, siendo el principal afluente del río Amazonas, desembocando en el Océano Atlántico.

Están delimitadas por: Quebrada El Tragadero y río Arascorgue, con geofomas de modelamiento superficial en forma: U y V, la sección transversal de cada vertiente por su topomorfometría. Localmente las instalaciones de desbroce roca, se encuentran delimitadas microcuencas: Norte (I) y sur (II), conformando áreas de superposición: 8,318.30 m<sup>2</sup>. (I) y 363.59 m<sup>2</sup>. (II). Sin embargo, el río Arascorgue se ubicada al S de las instalaciones mineras a distancia de 990 m. y la quebrada El Tragadero se ubica al N a distancia longitudinal de 410 m.

La precipitación anual es 559.40 mm/año, con tiempo de concentración promedio de agua en la zona norte 54.70 min, siendo conformada por depósitos cuaternarios: Deluviales y Eluviales-Deluviales; y zonas pantanosas, constituyendo áreas de humedad constante durante el año.

Cuadro 3.3. Altitud media de la microcuenca – Precipitación máxima 24 horas.

| 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 | 34.70  | 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   | 1.30   | 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 |
| 2021 | 61.20  | 73.20  | 15.10  | 31.20 | 49.50  | 15.30 | 2.90  | 41.10 | 30.60  | 182.10 | 137.30 | 117.80 | 182.10 |
| 2022 | 58.20  | 146.40 | 189.10 | 71.90 | 21.20  | 57.00 | 5.50  | 25.20 | 32.90  | 121.50 | 12.40  | 76.90  | 189.10 |

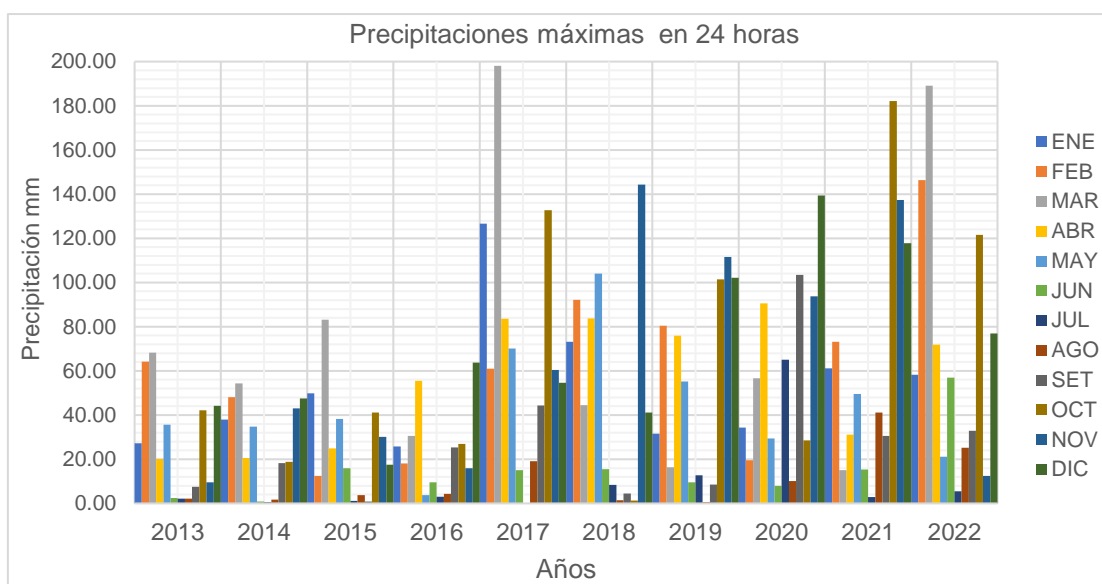


Figura 3.6. Variograma estadístico de la meteorología en función de la precipitación, desde año: 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022.  
Fuente: SENAMHI, 2013-2022.

Sin embargo, la zona sur presenta retención de agua 42.60 min, siendo conformado en casi toda su totalidad por afloramiento rocosos, obtenidas por el balance hídrico mediante las teorías: Kirpich, Temes, Bransby y Hathaway; acotando que las unidades geomorfológicas con la litología se relacionan con la alta retención de agua que supera 30 min. por ambas microcuencas siendo zonas alta concentración de agua que abastecen a las partes bajas de la zona de estudio.

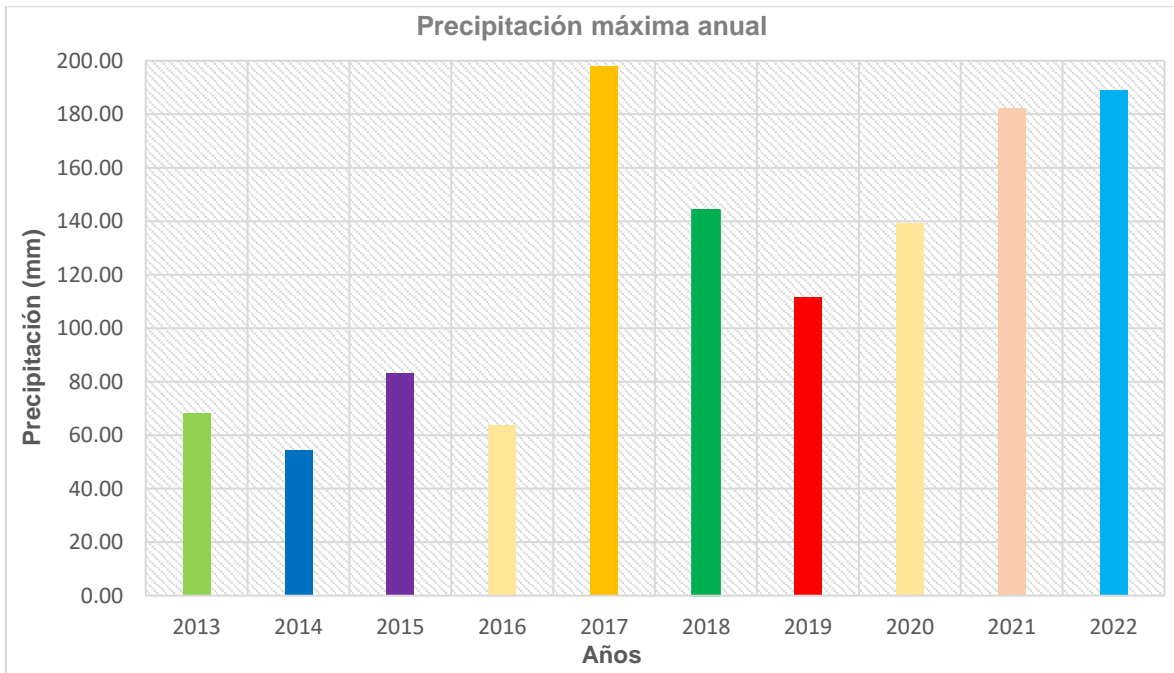


Figura 3.7. Histograma estadístico en función de la precipitación anual.  
Fuente: SENAMHI, 2013-2022.



Figura 3.8. Vertiente de la quebrada La Peña delimitada por el basamento rocoso de la Formación Cajamarca y Depósitos Deluviales; Coordenadas: E770001.85 y N9255484.32.



Cuadro 3.4. Parámetros hidrológicos relacionados con las microcuencas del área superficial de la empresa CALERA MV S.R.L.

| Nombre de cuenca | C    | Área (Km <sup>2</sup> .) | Long. cauce principal (Km.) | Cota mayor (msnm.) | Cota menor (msnm.) | Pendiente (m/m) | Tc (min.) | I (mm/hora) | Caudal (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------|------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------|-------------|----------------------------|
| MC-1             | 0.30 | 4.36                     | 3.37                        | 3,270.00           | 2,890.00           | 0.11            | 54.72     | 0.97        | 0.35                       |
| MC-2             | 0.30 | 2.46                     | 2.54                        | 3,050.00           | 2,690.00           | 0.14            | 42.60     | 0.74        | 0.27                       |

### 3.5 HIDROGEOLOGÍA

Hidrogeológicamente el terreno superficial está destinado para actividades de operaciones mineras, siendo emplazado en un acuitardo sedimentario, conformado por rocas calcáreas de color gris azuladas de la Formación Cajamarca, con orientación (Az/Bz): N60°/21°SE, definiendo la orientación del sentido de flujo por la secuencia estratigráfica. Actualmente el tajo no presenta la influencia de líneas de flujo de aguas subterráneas que afecten a la roca por permeabilidad: Primaria y secundaria, y también la inestabilidad del tajo de explotación. Sin embargo, se observa disolución de carbonatos formando hace millones de años formado unidades geomorfológicas kársticas como: Lenares, pozos, dolinas, etc.; en consecuencia, los pozos kársticos están rellenos por Depósitos Deluviales de color: Rojo a anaranjado. Sin embargo, cuando se descubren los depósitos cuaternarios de forman fangos que afectan el desbroce de roca.

### 3.6 GEOLOGÍA REGIONAL

La Cordillera Occidental constituye la divisoria de aguas, cuya parte más alta es una superficie ondulada a 4,000 msnm., disectada profundamente por ríos de corto recorrido y poco caudal, que desembocan al Océano Pacífico. Los ríos de la Cuenca Amazónica ubicados en la superficie interandina corren casi perpendiculares a los anteriores y parecen tener un control estructural. Los depósitos glaciarios son escasos. El Complejo del Marañón, hacia el Este, y la Formación Olmos en la costa, ambos de edad Precambriana, constituyen el basamento metamórfico sobre los cuales yacen discordantemente rocas filíticas y tobáceas de la Formación Salas de posible edad Ordoviciana. Sobre éstas

descansan las Capas Rojas del Grupo Mitu del Permiano Superior. El lapso Triásico-Jurásico inferior está constituido por las calizas de la Formación La Leche, en la Faja Costanera, y el Grupo Pucará, en el área del Marañón, formaciones que están asociadas a derrames y piroclásticos andesíticos y dacíticos de la Formación Oyotún, cuya edad parece llegar hasta el Jurásico Superior. Durante el Neocomiano-Aptiano se depositaron lutitas, areniscas y algunas calizas que se agrupan en las Formaciones Tinajones hacia la costa y en las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat, al sur, en los cuadrángulos de Chota y Celendín. La Formación Goyllarisquizga constituye las facies de plataforma equivalente a las formaciones anteriores. El Albiano está representado por una secuencia calcárea que reúne a las Formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo y parte de Pulluicana, hacia el este. La Formación Crisnejas con mayor proporción de clastos, equivale al Albiano medio en los Andes Septentrionales del Perú (BENAVIDES, 1956). Un paquete de calizas y margas en el parte superior constituido por los Grupos Pulluicana, Quilquiñán (lutitas) y por las Formaciones Cajamarca y Celendín, comprendidas entre el Albiano superior y el Santoniano, señala la culminación de la sedimentación marina del Cretáceo en esta área. El levantamiento del Cretáceo terminal dio origen a la formación de los depósitos continentales de la Formación Chota que yace en discordancia erosional sobre la Formación Celendín. La actividad volcánica ha sido intensa durante el Terciario y está representada por andesitas y dacitas del Volcánico Llama, el cual está cubierto discordantemente por el Volcánico Porculla, compuesto por dacitas y andesitas que infrayacen en igual relación a las tobas ácidas de la Formación Huambos del Terciario superior (Wilson, 1984).

Se han reconocido cuatro provincias estructurales: "Provincia Pacasmayo", compuesta por bloques levantados por rocas precambrianas y paleozoicas, ubicada hacia la costa; "Provincia Chimú", constituida por una faja plegada de rocas mesozoicas, con un rumbo general WNW-ESE, que se extiende desde Chepén hasta Trujillo; "Provincia Cutervo" representada por una faja plegada y fallada con rumbo NO-SE, que se encuentra en el sector oriental, la misma que está constituida mayormente por rocas mesozoicas; "Provincia Santa Cruz", parte central del área de estudio donde la actividad tectónica es escasa. Por lo menos, se conocen dos fases de deformación en el Paleozoico temprano y una en el Paleozoico superior

de rumbo NNE-SSW, asociadas a estructuras de igual rumbo en rocas jurásicas. Una fase de deformación a fines del Cretáceo ocasionó el plegamiento de la cuenca Chimú, cuyas estructuras parecen estar controladas por la geometría de la cuenca. Antes del Volcánico Llama, ocurrió una deformación con estructuras NW-SE que afectó a la provincia Pacasmayo. Las estructuras principales de la parte oriental se deben a una fase del Terciario antes del Volcánico Porculla. Posteriormente ocurrieron eventos menores que culminaron con el levantamiento general de los Andes durante el Terciario Superior-Cuaternario (Wilson, 1984).

Rocas intrusivas graníticas de edad Permiana cortan al Complejo del Marañón en stocks y cuerpos batolíticos, tal como se observa en la localidad de Balsas. En el flanco oeste de la Cordillera Occidental afloran plutones pertenecientes al Batolito de la Costa, cuya litología va del gabro al granito. Su edad está comprendida en el lapso Cretáceo superior-Terciario inferior. Algunos intrusivos menores de composición: Andesítica y dacítica afloran irregularmente, en muchos casos, la mineralización polimetálica de la zona se halla asociada a estos intrusivos. Los depósitos metálicos se agrupan en una franja cuprífera asociada al Batolito de la Costa y una provincia polimetálica en la Cordillera Occidental. Además, existen depósitos no metálicos distribuidos irregularmente que incluyen baritina, caliza, yeso, carbón, arcillas, etc. (Wilson, 1984).

### **3.7 GEOLOGÍA LOCAL**

Regionalmente la facie sedimentaria de la Cordillera Occidental Peruana, inicia con unidades rocosas: Mesozoicas (Jurásico Superior - Formación Chicama y Cretácico Inferior - Grupo Goyllarisquizga) hasta Cenozoicas (Secuencias volcánicas del Paleógeno – Grupo Calipuy, Neógeno - Volcánico Tantahuatay y Cuaternario recientes - Holoceno) e intrusivos de granodiorita y subvolcánicos dacíticos y andesíticos, constituyendo la prolongación septentrional de la cordillerana de los cuerpos intrusivos al SW de Hualgayoc; ligados al tectonismo regional desde: Proterozoico hasta la actualidad. Sin embargo, las deformaciones actuales han iniciado en el Cretáceo Tardío y continúan durante el Cenozoico, correspondientes al Ciclo Andino deformacional intercalándose con periodos de estabilidad, produciéndose acumulación de sedimentos y superficies de erosión,

para posteriormente producirse periodos volcánicos (Grupo Calipuy) y magmáticos (Intrusiones dacíticas), finalizando con periodos erosivos de glaciación y posteriormente retrabajo fluvial, originado las características actuales de la zona de investigación.

Por consiguiente, las operaciones mineras fueron emplazadas en los basamentos rocosos de la Formación Cajamarca; con edad Turoniana: 89.80 Ma. a 93.90 Ma., con orientación (Az/Bz): N60°/21°SE, en el flanco Izquierdo del sinclinal con orientación SW-NE, constituido por estratos de calizas gris azuladas de espesor: 0.50 m. a 2.30 m., delimitada por rocas de calidad: Buena a muy buena, formando bloques: Tabulares a Cúbicos. Sin embargo, las unidades geomorfológicas se distinguen por: Terrazas, lomadas, laderas y escarpas, definiendo el modelamiento superficial de zona de estudio; y también geoformas kársticas como: Lenares, pozos, dolinas, etc.; evidenciándose estas unidades cuando se genera secciones de corte de avance por la perforación y voladura, habiendo formado pozos kársticos por la disolución de carbonatos rellenos por Depósitos Deluviales de color: Rojo a anaranjado. Observándose en algunos casos rocas calcáreas descubiertas por Depósitos Deluviales Holocénicos, de altura: 5.00 m. a 7.00 m. y ancho 0.50 m. a 0.65 m., formando columnas deposicionales de coloraciones rojizas a anaranjadas.

### **3.7.1 Cretáceo Superior**

#### ***Formación Cajamarca***

Está conformada por estratos de caliza gris azulada de espesor: 0.50 m. a 2.30 m., geomorfológicamente forman farallones verticales calcáreos en los afloramientos rocosos. Sin embargo, su espesor aumenta conforme se va profundizando su extracción de la caliza, al mismo tiempo se encuentra estratos más resistentes y alterados, para su desbroce de roca. Por lo contrario, la empresa actualmente extrae roca de muy buena calidad y mayor porcentaje de pureza superando en algunos sectores el 93% de carbonato de calcio. Realizando los cartografiados de campo muestran que orientación (Az/Bz): N60°/21°SE y peso específico 27.50 KN/m<sup>3</sup>. Evidenciándose en la cara libre del tajo estructuras

sedimentarias estilolíticas de contacto irregular entre los contactos de juntas de diaclasas, presentando entre las superficies materiales arcillosos a óxidos, disponiéndose paralelos a las líneas de estratificación.

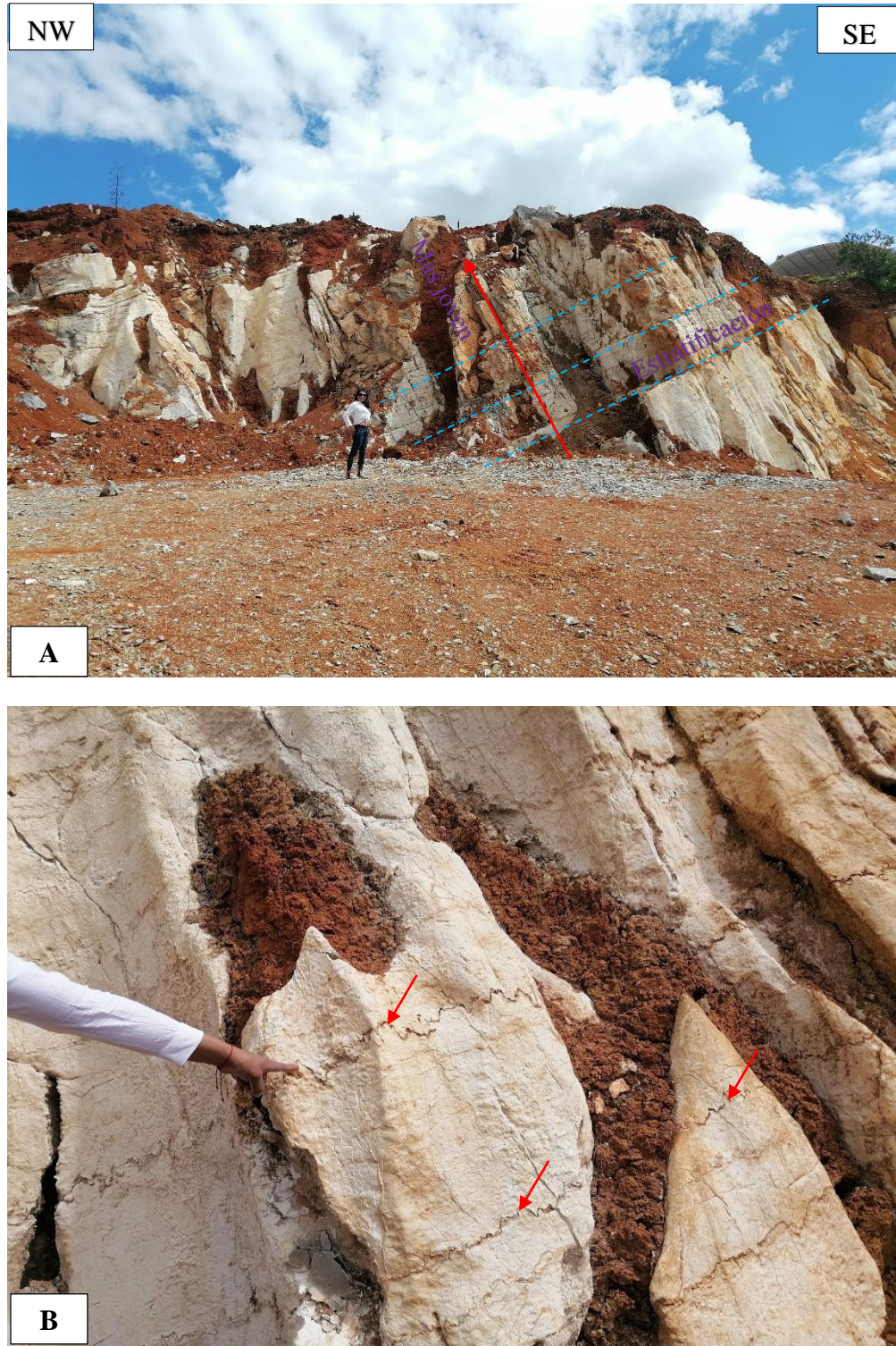


Figura 3.9. A. Afloramientos de roca caliza – Formación Cajamarca, Tajo de explotación; coordenadas: E769989.55 y N9255474.13; y B. Estilolitos entre los contactos estratigráficos de las rocas calcáreas; coordenadas: E769979.89 y N9255477.57.

### 3.7.2 Cuaternario – Holoceno

#### *Depósitos Deluviales*

Se encuentran ubicados en lomadas y laderas, formando terrazas aluviales compuestos por: grava (03%), arena (10%), limo (17%) y arcilla (70%), caracterizándose por contener en su composición materiales arcillo limoso de color anaranjado a marrón, con altura: 5.00 m. a 7.00 m. y ancho 0.50 m. a 0.65 m.; con matriz englobante de: Arena, limo y arcillas, distribuidos desde: 1.0 mm. a 0.001 mm. acumulándose por acción gravitatoria en las partes: Medias y bajas, formando por el paso del tiempo: Terrazas, lomadas y laderas; caracterizándose por formar conos aluviales de material fino. Habiéndose formado por: Alteración, fracturamiento, desintegración insitu y acción de la gravedad; del macizo rocoso, formando acumulación de Depósitos Cuaternarios, en la sima de las geoformas kársticas, constituyendo chimeneas verticales por la disolución de carbonatos, formando paredes completamente lisas y alteradas de color blanquecino.



Figura 3.10. Depósitos Deluviales de color anaranjado a marrón, cubriendo al basamento rocoso, con espesor: 0.60 m. a 0.80 m., en su superficie y cimas kársticas; coordenadas: E769969.97 y N9255477.97.

### ***Eluvial-Deluvial***

Se caracteriza por contener en su litología depositacional: Grava (20%), arena (25%), limo (30) y arcilla (25%), compuesto por gravas angulosas a subangulosas: 0.07 m. a 0.04 m., con matriz cementante limosa arcillosa calcárea conformando una matriz rígida, con cementación moderada, con compacidad muy densa de origen residual. Presentando coloraciones: Amarillentas, rojizas, anaranjadas; constituyendo laderas inestables, conformando laderas inestables actualmente, formando deslizamientos circulares de pie.



Figura 3.11. Depósitos: Eluviales-Deluviales y Antrópico, ubicada en la parte baja y limítrofe del tajo, conformando por composición litológica cuaternaria la zona de investigación; con coordenadas: E769989.81 y N9255488.68.

### ***Antrópico***

Son generados actualmente por los mineros artesanales desde la parte alta de la cota: 3,000 a 2,984 msnm. acumulados discriminadamente en las laderas del cerro La Victoria, compuestos por fragmentación: Gruesa a fina, por la sobre extracción de mineral no metálico del tajo de explotación, compuestas por.

Fragmentos de: Rocas, arenas, limos y arcillas. Siendo acumuladas progresivamente, en algunos casos en las vertientes y laderas inestables por ser materiales sueltos, que combinados con la escorrentía superficial están ocasionando: Deslizamientos, reptaciones, etc. por ser imprevisibles a la vista humana generando zonas de riesgos geológicos como: Huacos o grandes avenidas de deslizamiento, frente a eventos fluviales.

### 3.8 UNIDADES MORFOGENÉTICAS

La morfotopometría regional de la zona de investigación está relacionada con el alineamiento: W-E y SW-NE; de cadenas montañosas, relacionadas con los cerros: Tororco y Terreria, delimitas por las vertientes: **Río Arascorgue** (Ubicada al Sur, formando relieves erosionables en forma de valles en V, siendo el perfil transversal típicos de cursos altos del río con fuertes pendientes las vertientes.; siendo el resultado de procesos: Endógenos (tectónicos), exógenos (erosivos) y geodinámicos; constituyendo laderas de montaña moderadamente empinadas en rocas del Cretáceo Superior, siendo claramente controlada por la resistencia de las rocas, formando: Laderas pronunciadas constituidas por presentar pendientes > 25°, en cambio los depósitos cuaternarios se localizan en las partes bajas conformando: Terrazas y lomadas; configurando superficies suaves a onduladas, están directamente relacionadas con procesos: Erosionables, origen, edad, geometría y relieve rocoso) y **El Tragadero** (Se ubica al Norte formando secciones en forma de U, por presentar unidades de pendientes: 0° - 7° (Planicies) y 7°-25° (Lomadas), en la superficie presentando superficies de terreno: Plano y ondulado, originando valles jóvenes. Sin embargo, se evidencian también mesetas ubicadas al NE, compuestas por Depósitos Deluviales, de color rojo a anaranjado delimitas por depresiones en su perímetro formando, siendo zonas muy erosionables. Sin embargo, también se observa: Pico, hombrera y collado, constituyendo áreas de erosión constante; y la segunda lo conforma superficies semiplanas a onduladas con pendientes suaves a onduladas, conformando: Terrazas escalonadas y llanuras, aluviales en el valle juvenil, ubicándose en las partes: Intermedias y bajas, de las laderas). Por consiguiente, la cantera - Calera MV S.R.L. está ubicada en el alineamiento de cadenas montañosas: Empinadas a redondeadas, definidas por unidades geomorfológicas locales como: Planicies, lomadas, laderas y escarpas;



propuestas la clasificación por Rodríguez 2016 (Tesis de maestría) de acuerdo con la composición litológica del área de investigación.

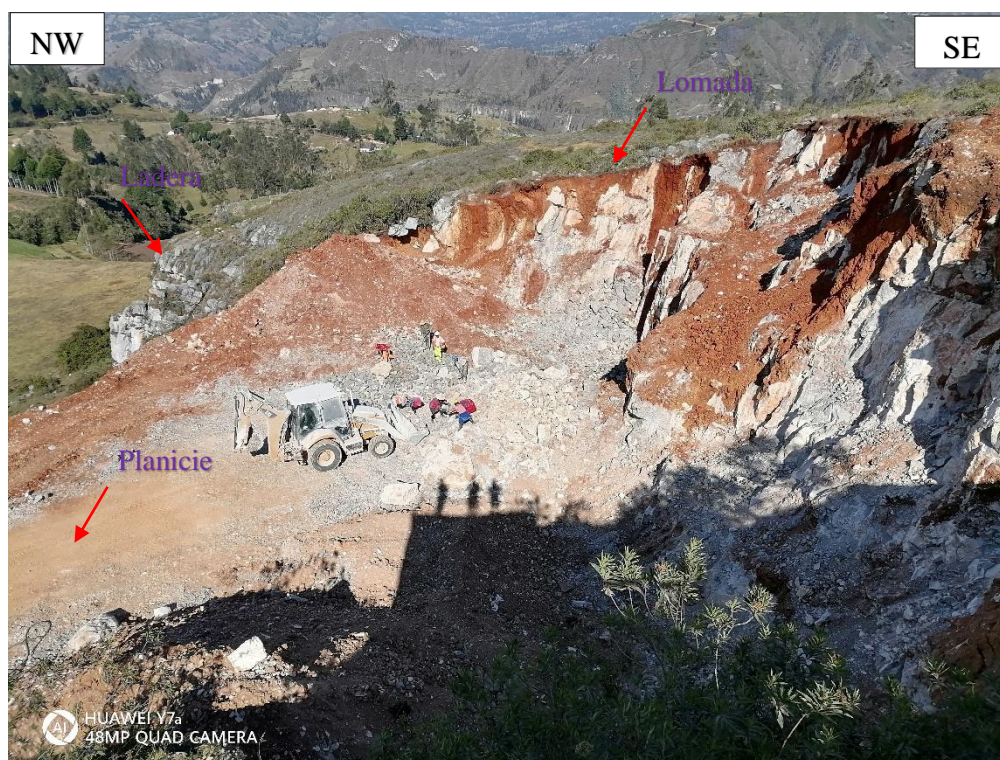


Figura 3.12. Unidades geomorfológicas ubicadas en el tajo de explotación, constituidas por: Depósitos cuaternarios (Grosor: 0.60 m. a 0.80 m.) y afloramientos rocosos de roca caliza gris azulada; coordenadas: E769989.81 y N9255488.68.

Cuadro 3.5. Equivalencias de las unidades morfogenética de la zona de estudio.

| Unidad geomorfológica | Área (m <sup>2</sup> .) | % Área |
|-----------------------|-------------------------|--------|
| Planicie              | 00.00                   | 00.00  |
| Lomada                | 5,532.55                | 63.72  |
| Ladera                | 3,149.33                | 36.28  |
| Escarpa               | 00.00                   | 00.00  |
| Montaña               | 00.00                   | 00.00  |
| Total                 | 8,681.88                | 100.00 |

Las Lomadas: Presentan pendientes oscilantes de 7° - 14°, ocupando un área de 5,532.55 m<sup>2</sup>. (63.72%); predominando en la parte: Media y superior; del área de investigación, con alineamientos: S, W y N. Constituyendo superficies: Planas, onduladas a subredondeadas, siendo utilizadas por las instalaciones mineras constituyendo áreas de beneficio y acceso a las operaciones mineras. Presentando composiciones litológicas compuestas por: Depósito: **Deluvial** (Se

caracteriza por presentar: Bolonería (00%), grava (05%), arena (10%), limo (15%) y arcilla (70%), caracterizándose por contener en su composición materiales arcillo limoso, con altura: 5.00 m. a 7.00 m. y ancho 0.50 m. a 0.65 m.; con matriz englobante de: Arena, limo y arcillas, distribuidos desde: 1.0 mm. a 0.001 mm. acumulándose por acción gravitatoria en las partes: Medias y bajas) y **Eluviales-Deluviales** (caracterizada por contener en su litología depositacional: Grava (20%), arena (25%), limo (30) y arcilla (25%), compuesto por gravas angulosas a subangulosas: 0.07 m. a 0.04 m., con matriz cementante limosa arcillosa calcárea conformando una matriz rígida, con cementación moderada, con compacidad muy densa de origen residual. Presentando coloraciones: Amarillentas, rojizas, anaranjadas; constituyendo laderas inestables, conformando laderas inestables actualmente, formando deslizamientos circulares de pie); y la Formación Cajamarca ubicada en la parte Inferior o S de la zona de estudio conformada por pendientes: Onduladas a moderadas, litológicamente predomina afloramientos de rocas calcáreas de color gris azulado con orientación Az = N60° y Bz = 21°SE, presentando espesor: 0.50 m. a 2.20 m.; en algunos casos cubiertos por Depósitos Deluviales. Evidenciándose en muchos casos zonas muy denudadas y expuestas a gentes externos de meteorización geológica por su alta meteorización física y química observándose muy bajo o escasa cobertura cuaternaria relacionados con zonas de acumulación residual.

Laderas: Ocupan un área 3,149.33 m<sup>2</sup>. (36.28%), ubicada la zona este, conformada por pendientes: 14° a 25°. Litológicamente conformada por Depósitos Antrópicos constituyendo zonas inestables compuestas por fragmentos gravosos a arcillosos, de matriz angulosa distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente, englobando una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en la superficie de la zona de estudio. Sin embargo, la zona SE presenta por basamentos rocosos muy resistentes formando fallarones empinados inaccesibles, utilizados por los poblados para pastoreo de caprinos y ovinos. Constituyendo el 36.28% esta unidas geomorfológica. Geodinámicamente presenta deslizamiento rotaciones: Simples y múltiples, desde la cota: 3,000 a 2,984 msnm. por ser materiales de acumulación de minería no metálica afectando las zonas bajas de la zona de investigación, ocasionando asentamientos progresivos formando una depresión de acumulación de depósitos cuaternarios, combinados

con la escorrentía del agua forman: Flujo de lodos y deslizamiento por flujo, por estar conformados por detritos saturados plásticos.



Figura 3.13. A. Disolución carbonatada, de dimensiones: 0.50 m. x 0.60 m. x 0.45 m.; coordenadas: E769976.32 y 9255461.03; y B. Lenares en la superficie de la roca, separado por tabiques de forma aguda.

Cuadro 3.6. Unidades Morfogenéticas relacionadas por eventos litológicos.

| Tipo de relieve      | Geometría | Litología                        | Origen                      | Edad de la litología   |                     |                        |       |
|----------------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------|
|                      |           |                                  |                             | Periodo                | Época               | Edad                   | %     |
| Unidad morfogenética | Pendiente | Asociada a su composición        | Asociado al evento          | Periodo                | Época               | Edad                   | %     |
| Planicies            | 0° - 7°   | -                                | -                           | -                      | -                   | -                      | 00.00 |
| Lomadas              | 7° - 14°  | Dep.: Antrópico y Deluviales     | Acumulación y meteorización | Cuaternario            | Holoceno            | Versiliano             | 63.72 |
| Laderas              | 14° - 25° | Dep.: Deluviales y Fm. Cajamarca | Meteorización y erosión     | Cuaternario – Cretáceo | Holoceno - Superior | Versiliano - Turoniano | 36.28 |
| Escarpas             | 25° - 50° | -                                | -                           | -                      | -                   | -                      | 00.00 |
| Montaña              | 50° - 90° | -                                | -                           | -                      | -                   | -                      | 00.00 |
| Total                |           |                                  |                             |                        |                     |                        | 100   |

### 3.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La geología estructural de la zona investigación presenta sistemas de plegamientos simétricos: Sinclinales y anticlinales, de orientación tectónica SSW-NNE, con eje WNW-ESE, variando su Bz = 15° a 22°SW-NE; ubicándose en la Formación Cajamarca, delimitada por fallas inversas de orientación Az = N155° presentando 6.30 Km. distanciamiento. Ocasionando acumulaciones tensionales del Cretácico: Inferior y Superior, disipando los esfuerzos de las secuencias estratigráficas por medio de fallas: Inversas y normales, regionales ubicados al SW de la CALERA MV S.R.L., por medio de fallamientos emplazadas en la cantera de extracción de roca caliza de orientación NW-SE. Por consiguiente, se evidencia franjas plegadas de orientación NW-SE, siendo fallados por ambos flancos, alcanzando el desarrollo máximo en el valle del alto marañón. Sin embargo, los pliegues de esta provincia son apretados, hallando estructuras anchas que tienen la geometría de domos y cuencas, relacionándose con la cuenca de Chota limitada por la orientación SW y NE. Por lo contrario, las fallas inversas y pliegues concéntricos son debido a las secuencias gruesas: Calcáreas y areniscosas, del basamento. Sin embargo, presenta geoestructuras menores definidas por cuatro discontinuidades persistentes definidas por (Az/Bz): 215°N/21°NW, 121°N/56°SW, 330°N/64°NE y 60°N/23°SE y 1 ocasional por: (Az/Bz): 265°N/52°NW; formando frentes de explotación verticales estables generando caídas de rocas por

diaclasamientos inclinados a horizontales por la sobre excavación del frente de explotación por la intersección de diaclasas.

### 3.10 SISMICIDAD

La cantera de explotación de roca caliza de la empresa CALERA MV S.R.L., presenta afloramientos rocosos de calidad: Buena a muy buena, obteniendo coeficientes de valores espectrales: Horizontal y vertical, en las tres estaciones geomecánicas, aplicando la Norma Técnica E.30 Diseño Sismorresistente. Según la magnitud: Richter (Presenta < 1.0, equivalente de la energía TNT de 170 gr.) y Mercalli (II – Leve), demostrando valores muy bajos menores a 1.0; mediante la utilización por la ocurrencia de voladura en el tajo de explotación, aplicando en el perfil de roca calcárea determinando factores de seguridad en función: Grado de fracturamiento, litología y estabilidad del tajo de explotación de la cantera. Sin embargo, las instalaciones mineras se ubican en la zona  $Z3 = 0.35g$ , con periodos de retorno de 50 años en roca dura ( $S_0$ ) de acuerdo con el cartografiado geológico de campo; considerando ondas de corte > 1,500 m/s de gran importancia para el diseño geomecánico mediante el modelo matemático. De acuerdo con el factor de amplificación sísmica (C), se ubica entre:  $T < TP$  y  $TP < T < TL$ , no logrando ser  $\geq 0.11$ , en relación de fuerza cortante en la base de la columna de roca. Por consiguiente, el Cuadro 3.7 reporta el coeficiente de aceleración espectral, conformado por sísmico horizontal desde los rangos: 0.225 a 0.421 y sísmica vertical desde: 0.427 a 0.800.

Cuadro 3.7. Coeficiente de aceleración espectral: Horizontal y vertical, respecto a cada estación geomecánica de la CALERA MV S.R.L.

|    | E-1   | E-2   | E-3   |
|----|-------|-------|-------|
| Kh | 0.421 | 0.281 | 0.225 |
| Kv | 0.800 | 0.533 | 0.427 |

### 3.11 GEOMECANICA

El afloramiento rocoso del tajo de explotación presenta constantes evaluaciones para obtener: Grado de blocosidad, escombros de roca, estabilidad

del tajo y producción de roca calcárea; basada en los criterios geomecánicos: RQD, RMR y GSI; obteniendo la calidad del macizo rocoso, mediante información: Cualitativa y cuantitativa. Sin embargo, se utilizó criterios empíricos de roca: Hoek-Brown y Morh-Coulomb, obteniendo las constantes elásticas del macizo rocoso; y modelos numéricos como: Rocdata y Dips, reportando la probabilidad de ruptura (0% a 100%) del basamento rocoso. Sin embargo, el comportamiento del tajo de explotación está relacionado con las variables: Litológicas, geoestructurales, sísmicas, hidrológicos e hidrogeológicos, para proponer el nuevo frente de diseño de explotación de la empresa CALERA MV S.R.L.

Cuadro 3.8. Resultados de cuantificación: Cuantitativa y cualitativa, por estaciones geomecánicas utilizando criterios empíricos.

| Criterios Empíricos  |                                       |              | E-1                 | E-2       | E-3       |
|----------------------|---------------------------------------|--------------|---------------------|-----------|-----------|
|                      |                                       |              | $\sigma_{ci}$ (MPa) |           |           |
| RQD (%)              | Puntaje                               | Cuantitativo | 81.39               | 85.57     | 78.36     |
|                      |                                       | Cualitativo  | Buena               | Buena     | Buena     |
| RMR                  | Puntaje                               | Cuantitativo | 68.00               | 79.00     | 83.00     |
|                      |                                       | Cualitativo  | Buena               | Buena     | Buena     |
| GSI                  | Puntaje                               | Cuantitativo | 63                  | 74        | 78        |
|                      |                                       | Cualitativo  | Buena               | Buena     | Buena     |
| Constantes Elásticas | <b>mi</b>                             |              | 11                  | 11        | 12        |
|                      | <b>D</b>                              |              | 0.70                | 0.70      | 0.70      |
|                      | <b>MR</b>                             |              | 1,000               | 1,000     | 800       |
|                      | <b>Ei (MPa)</b>                       |              | 95,000              | 110,000   | 100,000   |
|                      | <b>mb</b>                             |              | 1.44                | 2.64      | 3.58      |
|                      | <b>s</b>                              |              | 0.0047              | 0.02      | 0.04      |
|                      | <b>a</b>                              |              | 0.501               | 0.507     | 0.503     |
|                      | <b>c (MPa)</b>                        |              | 4.62                | 7.06      | 9.16      |
|                      | <b><math>\phi^\circ</math></b>        |              | 29.22               | 34.12     | 36.66     |
|                      | <b><math>\sigma_t</math> (MPa)</b>    |              | -0.31               | -0.96     | -1.44     |
|                      | <b><math>\sigma_{cu}</math> (MPa)</b> |              | 6.43                | 16.65     | 25.33     |
|                      | <b>Em (MPa)</b>                       |              | 22,639.08           | 43,590.00 | 45,169.38 |

### 3.11.1 ESTACIÓN E-1

Litológicamente corresponde a la Formación Cajamarca, la cual está formado por estratos de rocas calizas gris azuladas de espesor: 0.30 m a 1.50 m.,

delimitada por material arcilloso de color amarillo de espesor: 0.10 mm. a 0.30 mm. Sin embargo, el modelo estructural está definido por tres geoestructuras menores delimitada por la persistencia del afloramiento rocoso, siendo muy poco espaciadas e impactando la estabilidad del tajo de explotación según su orientación espacial del tajo. Geomecánicamente del cartografiado geológico-geotécnico muestra  $\sigma_{ci} = 95$  MPa, formando bloques de tabulares a cúbicos, utilizando el método de cálculo lineal del  $RQD_{76}$  a partir de frecuencias de discontinuidades  $ND = 31$  y longitud  $L = 1.70$  m., obteniendo  $RQD = 81.39\%$  de buena calidad; El  $RMR_{89}$  se obtuvo a partir de la suma:  $\sigma_{ci}$ ,  $RQD$ , las propiedades de las juntas y factor de orientación de juntas, obteniendo  $RMR = 68$  de calidad buena y  $GSI$  (Hoek y Marinos, 2000) = 63.

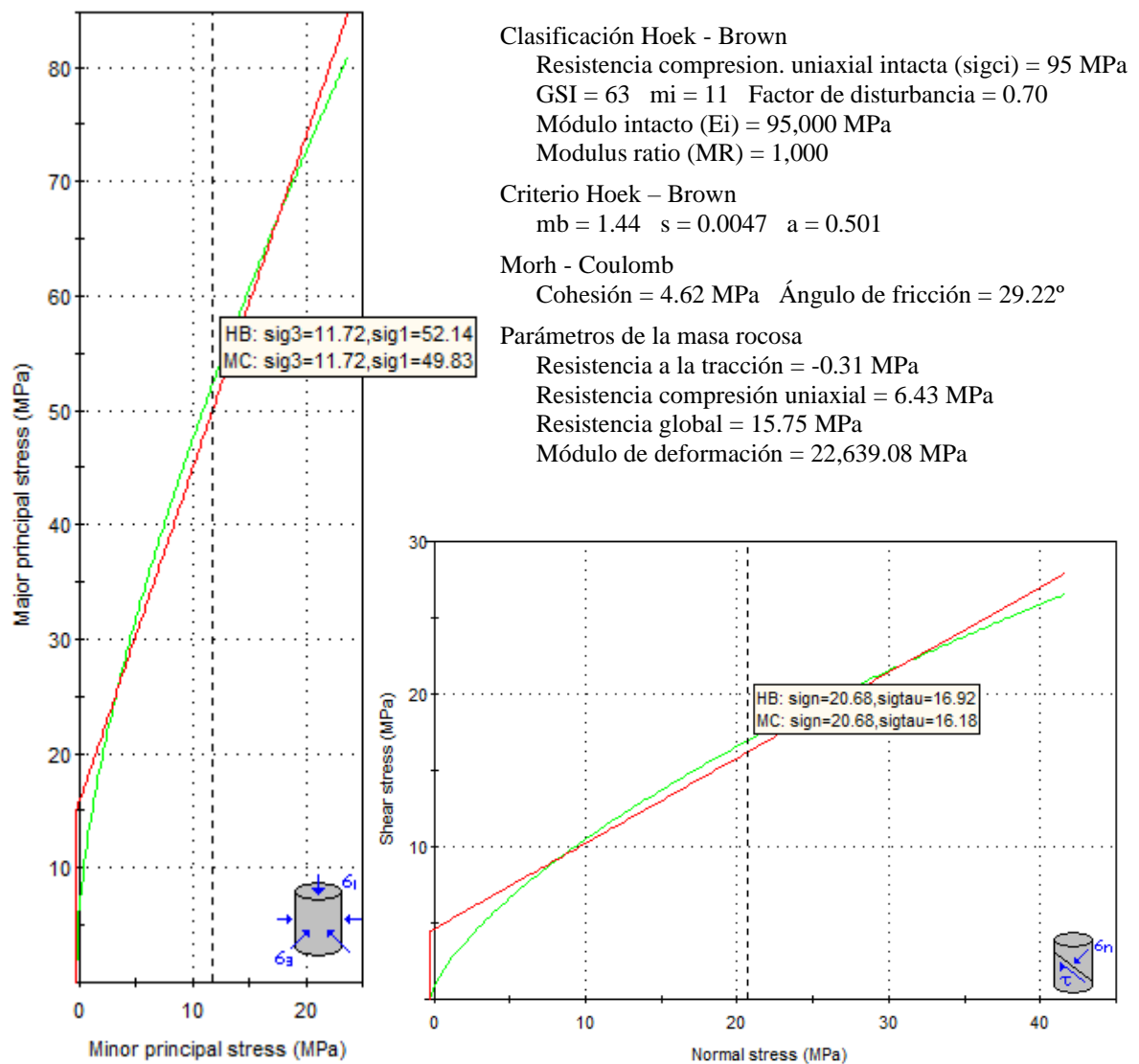


Figura 3.14. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geotécnica E-1.

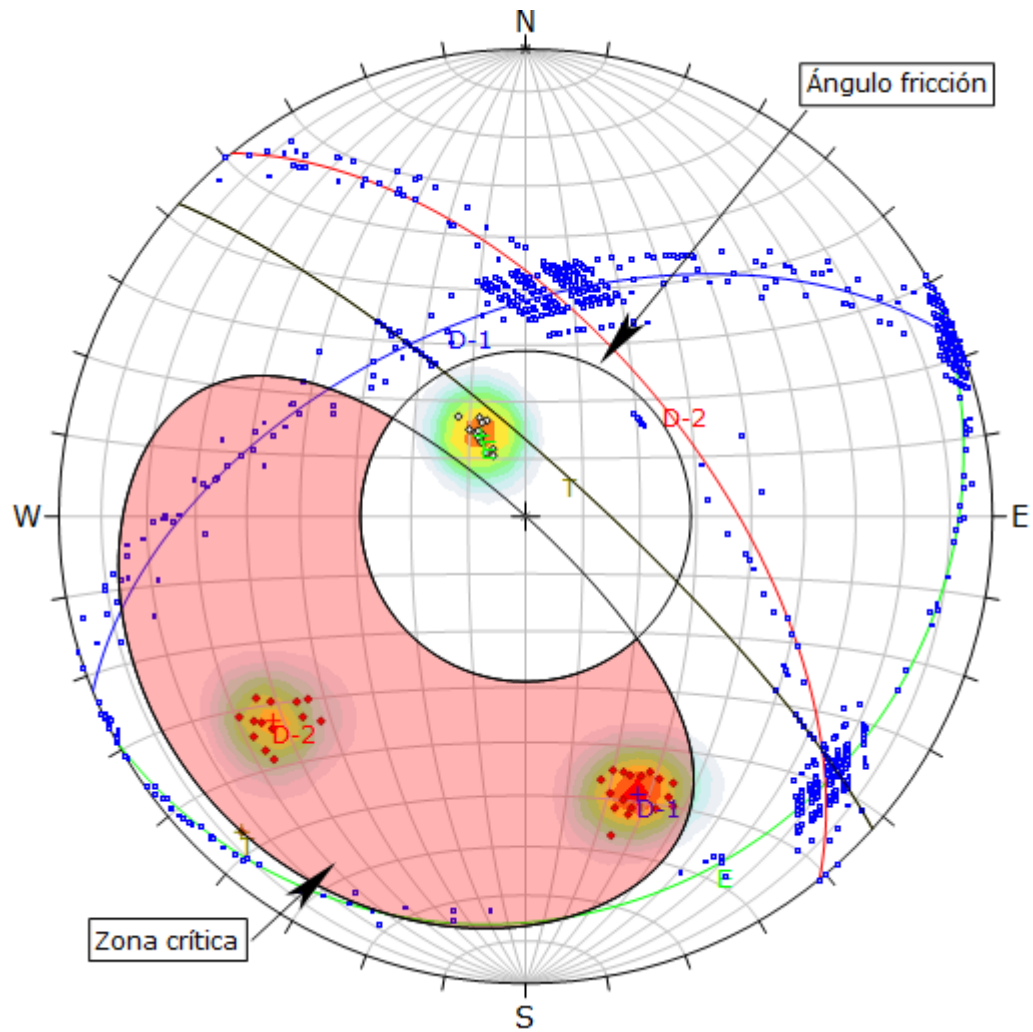


Figura 3.15. Probabilidad de ruptura planar 71.11%, englobando al polo de las familias: D-2 y E; a favor del talud. Estación geotécnica E-1.

| Symbol                | Feature                |                  |               |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇                     | Polo vectors           |                  |               |
| ◆                     | Critical vectors       |                  |               |
| ■                     | Intersection           |                  |               |
| Color                 | Density concentrations |                  |               |
|                       | 0.00 - 3.30            |                  |               |
|                       | 3.30 - 6.60            |                  |               |
|                       | 6.60 - 9.90            |                  |               |
|                       | 9.90 - 13.20           |                  |               |
|                       | 13.20 - 16.50          |                  |               |
|                       | 16.50 - 19.80          |                  |               |
|                       | 19.80 - 23.10          |                  |               |
|                       | 23.10 - 26.40          |                  |               |
|                       | 26.40 - 29.70          |                  |               |
|                       | 29.70 - 33.00          |                  |               |
| Maximun density       |                        | 32.46%           |               |
| Contour data          |                        | Polo vectors     |               |
| Contour distribution  |                        | Fisher           |               |
| Counting circle size  |                        | 1.00%            |               |
| Kinematic analysis    |                        | Planar siliding  |               |
| Slope dip             |                        | 80°              |               |
| Slope Dip direction   |                        | 42°              |               |
| Friction angle        |                        | 29°              |               |
|                       | Critical               | Total            | %             |
| Planar siliding (All) | 32                     | 45               | 71.11%        |
|                       | Color                  | Dip              | Dip direction |
| User planes           |                        |                  |               |
| 1                     | ■                      | 16°              | 151°          |
| 2                     | ■                      | 54°              | 338°          |
| 3                     | ■                      | 59°              | 51°           |
| 4                     | ■                      | 80°              | 42°           |
| Plot Mode             |                        | Pole vectors     |               |
| Vector count          |                        | 45 (45 entries)  |               |
| Intersection mode     |                        | Grid data planes |               |
| Intersections count   |                        | 989              |               |
| Hemisphere            |                        | Lower            |               |
| Projection            |                        | Equal area       |               |



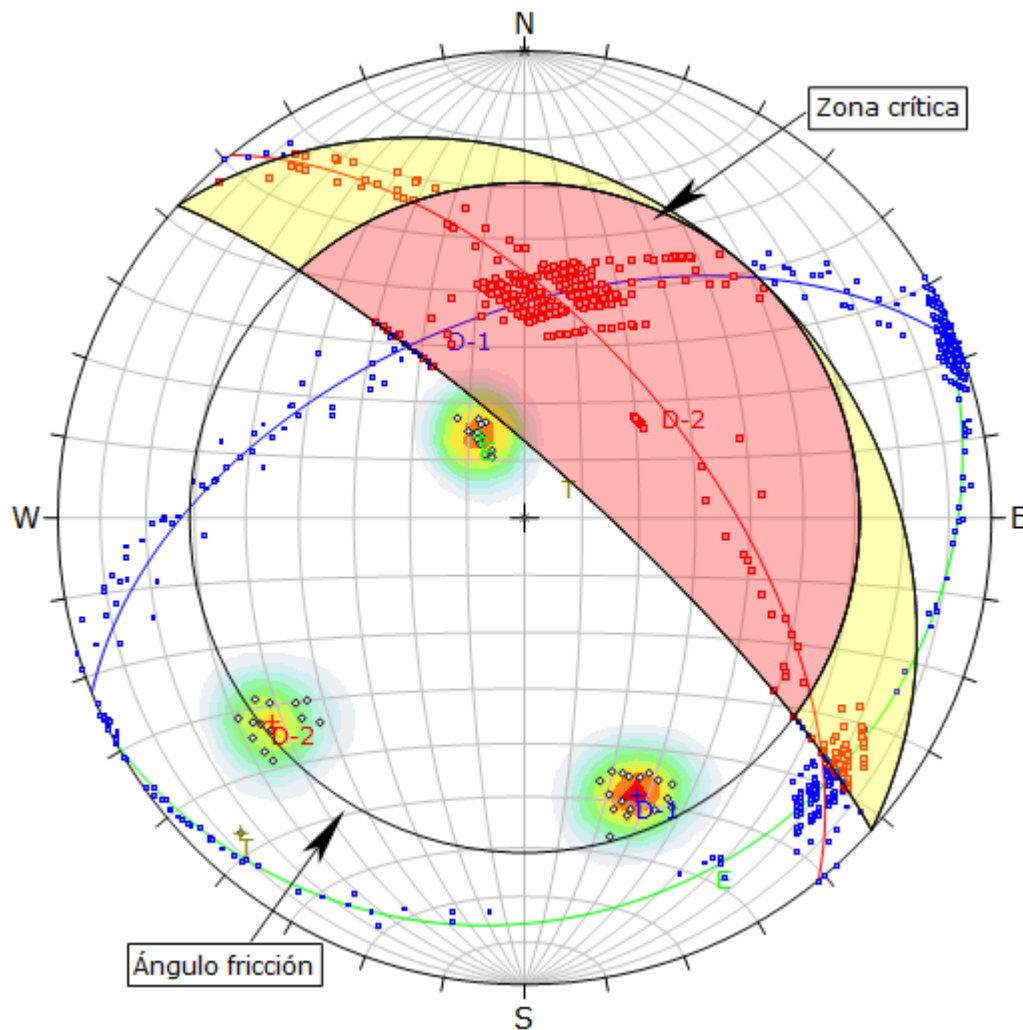


Figura 3.16. Probabilidad de ruptura en cuña con 44.39%, englobando a la intersección de las familias: E y D-2; en orientación indirecta. Estación geotécnica E-1.

| Symbol               | Feature                |                  |               |
|----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇                    | Polo vectors           |                  |               |
| ■                    | Critical intersection  |                  |               |
| ■                    | Intersection           |                  |               |
| Color                | Density concentrations |                  |               |
|                      | 0.00 - 3.30            |                  |               |
|                      | 3.30 - 6.60            |                  |               |
|                      | 6.60 - 9.90            |                  |               |
|                      | 9.90 - 13.20           |                  |               |
|                      | 13.20 - 16.50          |                  |               |
|                      | 16.50 - 19.80          |                  |               |
|                      | 19.80 - 23.10          |                  |               |
|                      | 23.10 - 26.40          |                  |               |
|                      | 26.40 - 29.70          |                  |               |
|                      | 29.70 - 33.00          |                  |               |
| Maximun density      |                        | 32.46%           |               |
| Contour data         |                        | Polo vectors     |               |
| Contour distribution |                        | Fisher           |               |
| Counting circle size |                        | 1.00%            |               |
| Kinematic analysis   |                        | Wedge sliding    |               |
| Slope dip            |                        | 80°              |               |
| Slope Dip direction  |                        | 42°              |               |
| Friction angle       |                        | 29°              |               |
|                      | Critical               | Total            | %             |
| Wedge sliding        | 439                    | 989              | 44.39%        |
|                      | Color                  | Dip              | Dip direction |
| User planes          |                        |                  |               |
| 1                    | ■                      | 16°              | 151°          |
| 2                    | ■                      | 54°              | 338°          |
| 3                    | ■                      | 59°              | 51°           |
| 4                    | ■                      | 80°              | 42°           |
| Plot Mode            |                        | Pole vectors     |               |
| Vector count         |                        | 45 (45 entries)  |               |
| Intersection mode    |                        | Grid data planes |               |
| Intersections count  |                        | 989              |               |
| Hemisphere           |                        | Lower            |               |
| Projection           |                        | Equal area       |               |

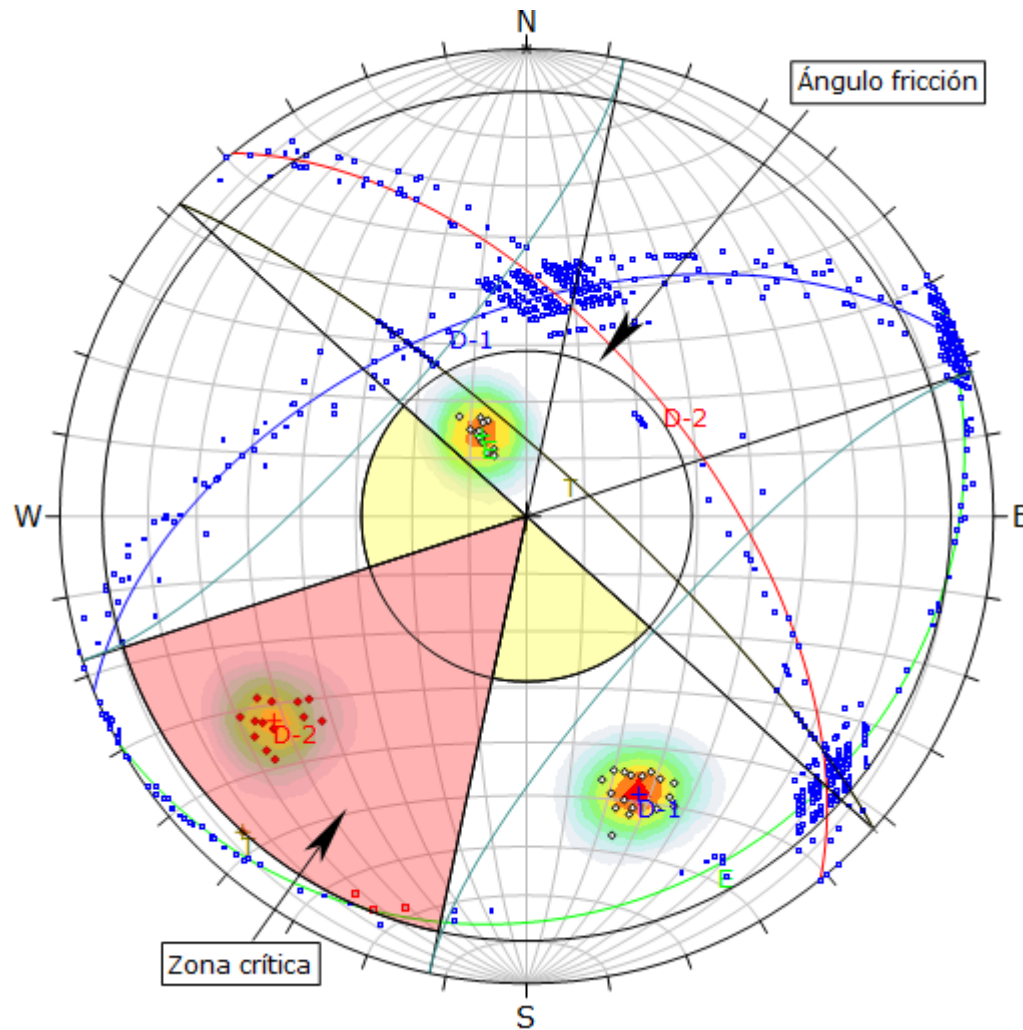


Figura 3.17. Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 33.33%, englobando al polo de la familia: D-2; a favor del talud. Estación geotécnica E-1.

| Symbol                          | Feature                |       |               |       |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|-------|
| ◇                               | Polo vectors           |       |               |       |
| ◆                               | Critical vectors       |       |               |       |
| ■                               | Critical intersection  |       |               |       |
| ■                               | Intersection           |       |               |       |
| Color                           | Density concentrations |       |               |       |
|                                 | 0.00 - 3.30            |       |               |       |
|                                 | 3.30 - 6.60            |       |               |       |
|                                 | 6.60 - 9.90            |       |               |       |
|                                 | 9.90 - 13.20           |       |               |       |
|                                 | 13.20 - 16.50          |       |               |       |
|                                 | 16.50 - 19.80          |       |               |       |
|                                 | 19.80 - 23.10          |       |               |       |
|                                 | 23.10 - 26.40          |       |               |       |
|                                 | 26.40 - 29.70          |       |               |       |
|                                 | 29.70 - 33.00          |       |               |       |
| Maximum density                 | 32.46%                 |       |               |       |
| Contour data                    | Polo vectors           |       |               |       |
| Contour distribution            | Fisher                 |       |               |       |
| Counting circle size            | 1.00%                  |       |               |       |
| Kinematic analysis              | Direct toppling        |       |               |       |
| Slope dip                       | 80°                    |       |               |       |
| Slope Dip direction             | 42°                    |       |               |       |
| Friction angle                  | 29°                    |       |               |       |
| Lateral milits                  | 30°                    |       |               |       |
|                                 | Critical               | Total | %             |       |
| Direct toppling (Intersection)  | 3                      | 989   | 0.30%         |       |
| Oblique toppling (Intersection) | 0                      | 989   | 0.00%         |       |
| Base plane (All)                | 15                     | 45    | 33.33%        |       |
|                                 | Color                  | Dip   | Dip direction | Label |
| User planes                     |                        |       |               |       |
| 1                               | ■                      | 16°   | 151°          | E     |
| 2                               | ■                      | 54°   | 338°          | D-1   |
| 3                               | ■                      | 59°   | 51°           | D-2   |
| 4                               | ■                      | 80°   | 42°           | T     |
| Plot Mode                       | Pole vectors           |       |               |       |
| Vector count                    | 45 (45 entries)        |       |               |       |
| Intersection mode               | Grid data planes       |       |               |       |
| Intersections count             | 989                    |       |               |       |
| Hemisphere                      | Lower                  |       |               |       |
| Projection                      | Equal area             |       |               |       |

### 3.11.2 ESTACIÓN E-2

El modelo geológico define secuencias estratigráficas de roca caliza gris azulada de espesor: 0.40 m a 2.30 m., de la Formación Cajamarca. Sin embargo, el modelo estructural presenta tres geoestructuras delimitada por: Persistencia y espaciado; definiendo el tajo de explotación, respecto al avance de labores mineras (Formando: Cuñas y bloques). Geomecánicamente el macizo rocoso tiene  $\sigma_{ci} = 110$  MPa, formando bloques tabulares. Aplicando el método lineal se obtuvo RQD = 85.57% de buena calidad; el  $RMR_{89} = 79$  y  $GSI = 74$ , de buena calidad.

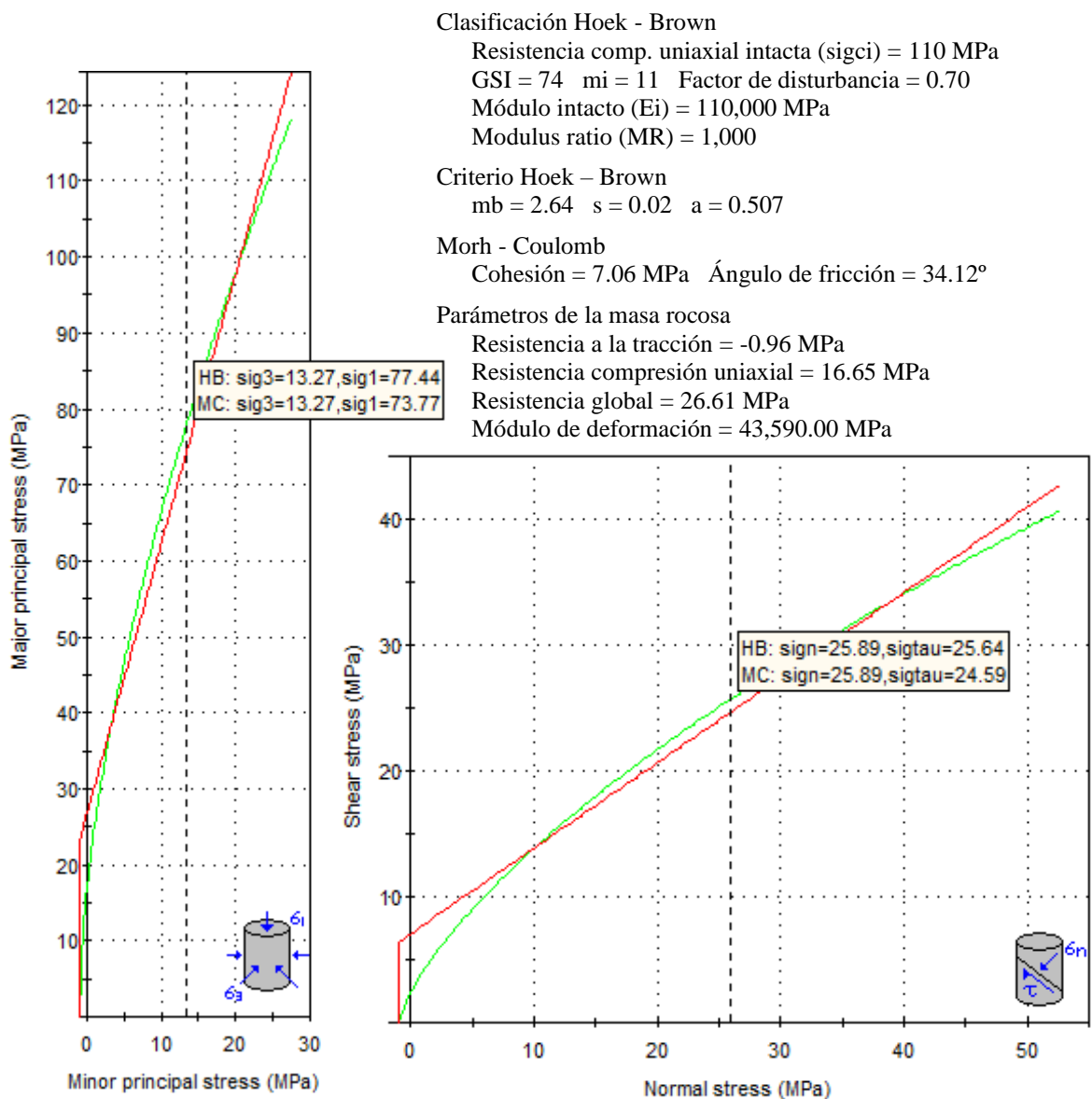


Figura 3.18. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geotécnica E-2.

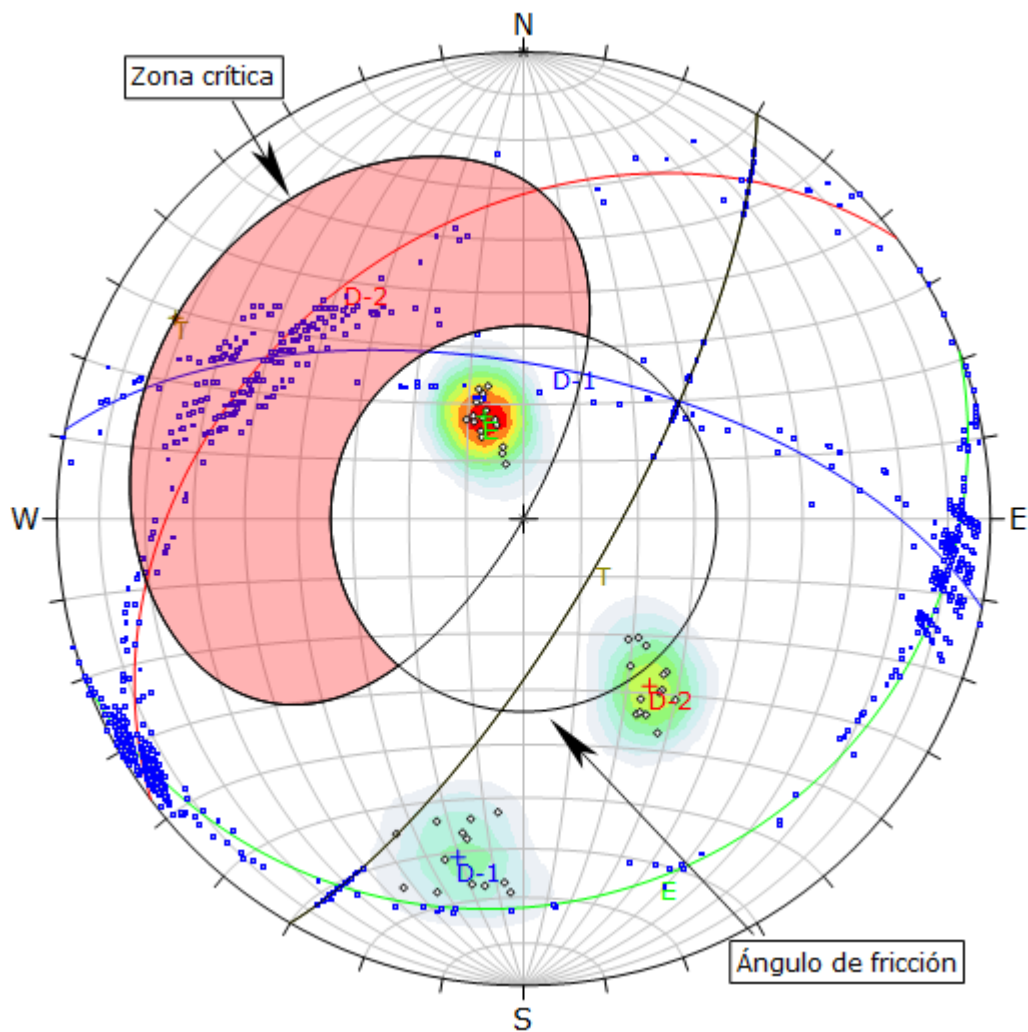


Figura 3.19. Probabilidad de ruptura planar 2.22%, no englobando al polo de la familia: E; a favor del talud. Estación geotécnica E-2.

| Symbol                | Feature                |                  |               |       |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------------|-------|
| ◇                     | Polo vectors           |                  |               |       |
| ◆                     | Critical vectors       |                  |               |       |
| ■                     | Intersection           |                  |               |       |
| Color                 | Density concentrations |                  |               |       |
|                       | 0.00 - 3.40            |                  |               |       |
|                       | 3.40 - 6.80            |                  |               |       |
|                       | 6.80 - 10.20           |                  |               |       |
|                       | 10.20 - 13.60          |                  |               |       |
|                       | 13.60 - 17.00          |                  |               |       |
|                       | 17.00 - 20.40          |                  |               |       |
|                       | 20.40 - 23.80          |                  |               |       |
|                       | 23.80 - 27.20          |                  |               |       |
|                       | 27.20 - 30.60          |                  |               |       |
|                       | 30.60 - 34.00          |                  |               |       |
| Maximun density       |                        | 33.95%           |               |       |
| Contour data          |                        | Polo vectors     |               |       |
| Contour distribution  |                        | Fisher           |               |       |
| Counting circle size  |                        | 1.00%            |               |       |
| Kinematic analysis    |                        | Planar siliding  |               |       |
| Slope dip             |                        | 75°              |               |       |
| Slope Dip direction   |                        | 120°             |               |       |
| Friction angle        |                        | 34°              |               |       |
|                       | Critical               | Total            | %             |       |
| Planar siliding (All) | 1                      | 45               | 2.22%         |       |
|                       | Color                  | Dip              | Dip direction | Label |
| User planes           |                        |                  |               |       |
| 1                     | ■                      | 19°              | 159°          | E     |
| 2                     | ■                      | 63°              | 11°           | D-1   |
| 3                     | ■                      | 37°              | 323°          | D-2   |
| 4                     | ■                      | 75°              | 120°          | T     |
| Plot Mode             |                        | Pole vectors     |               |       |
| Vector count          |                        | 45 (45 entries)  |               |       |
| Intersection mode     |                        | Grid data planes |               |       |
| Intersections count   |                        | 989              |               |       |
| Hemisphere            |                        | Lower            |               |       |
| Projection            |                        | Equal area       |               |       |

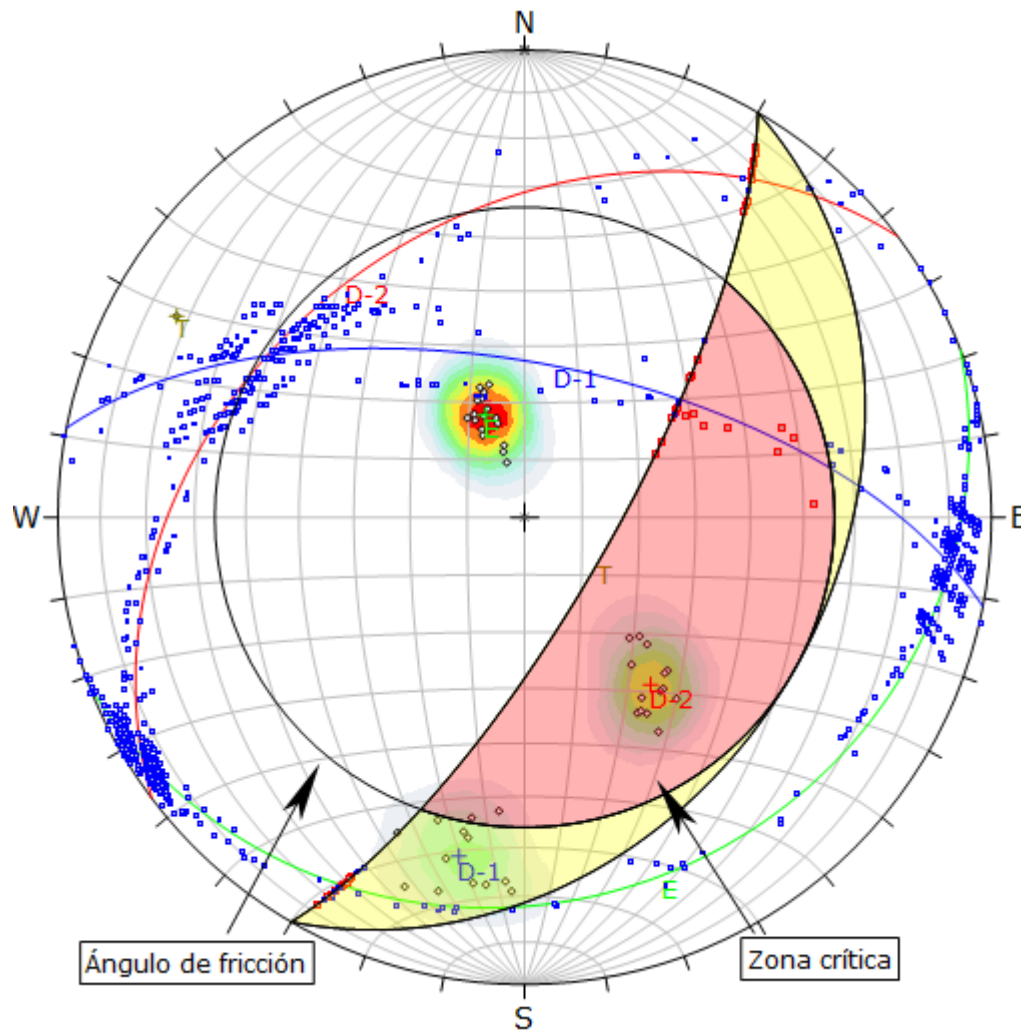


Figura 3.20. Probabilidad de ruptura en cuña con 3.74%, englobando a la intersección de las familias: D-1 y E; en orientación indirecta. Estación geotécnica E-2.

| Symbol               | Feature                |                  |               |
|----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇                    | Polo vectors           |                  |               |
| ■                    | Critical intersection  |                  |               |
| ■                    | Intersection           |                  |               |
| Color                | Density concentrations |                  |               |
|                      | 0.00 - 3.40            |                  |               |
|                      | 3.40 - 6.80            |                  |               |
|                      | 6.80 - 10.20           |                  |               |
|                      | 10.20 - 13.60          |                  |               |
|                      | 13.60 - 17.00          |                  |               |
|                      | 17.00 - 20.40          |                  |               |
|                      | 20.40 - 23.80          |                  |               |
|                      | 23.80 - 27.20          |                  |               |
|                      | 27.20 - 30.60          |                  |               |
|                      | 30.60 - 34.00          |                  |               |
| Maximun density      |                        | 33.95%           |               |
| Contour data         |                        | Polo vectors     |               |
| Contour distribution |                        | Fisher           |               |
| Counting circle size |                        | 1.00%            |               |
| Kinematic analysis   |                        | Wedge sliding    |               |
| Slope dip            |                        | 75°              |               |
| Slope Dip direction  |                        | 120°             |               |
| Friction angle       |                        | 34°              |               |
|                      | Critical               | Total            | %             |
| Wedge sliding        | 37                     | 990              | 3.74%         |
|                      | Color                  | Dip              | Dip direction |
| User planes          |                        |                  |               |
| 1                    | ■                      | 19°              | 159°          |
| 2                    | ■                      | 63°              | 11°           |
| 3                    | ■                      | 37°              | 323°          |
| 4                    | ■                      | 75°              | 120°          |
| Plot Mode            |                        | Pole vectors     |               |
| Vector count         |                        | 45 (45 entries)  |               |
| Intersection mode    |                        | Grid data planes |               |
| Intersections count  |                        | 990              |               |
| Hemisphere           |                        | Lower            |               |
| Projection           |                        | Equal area       |               |

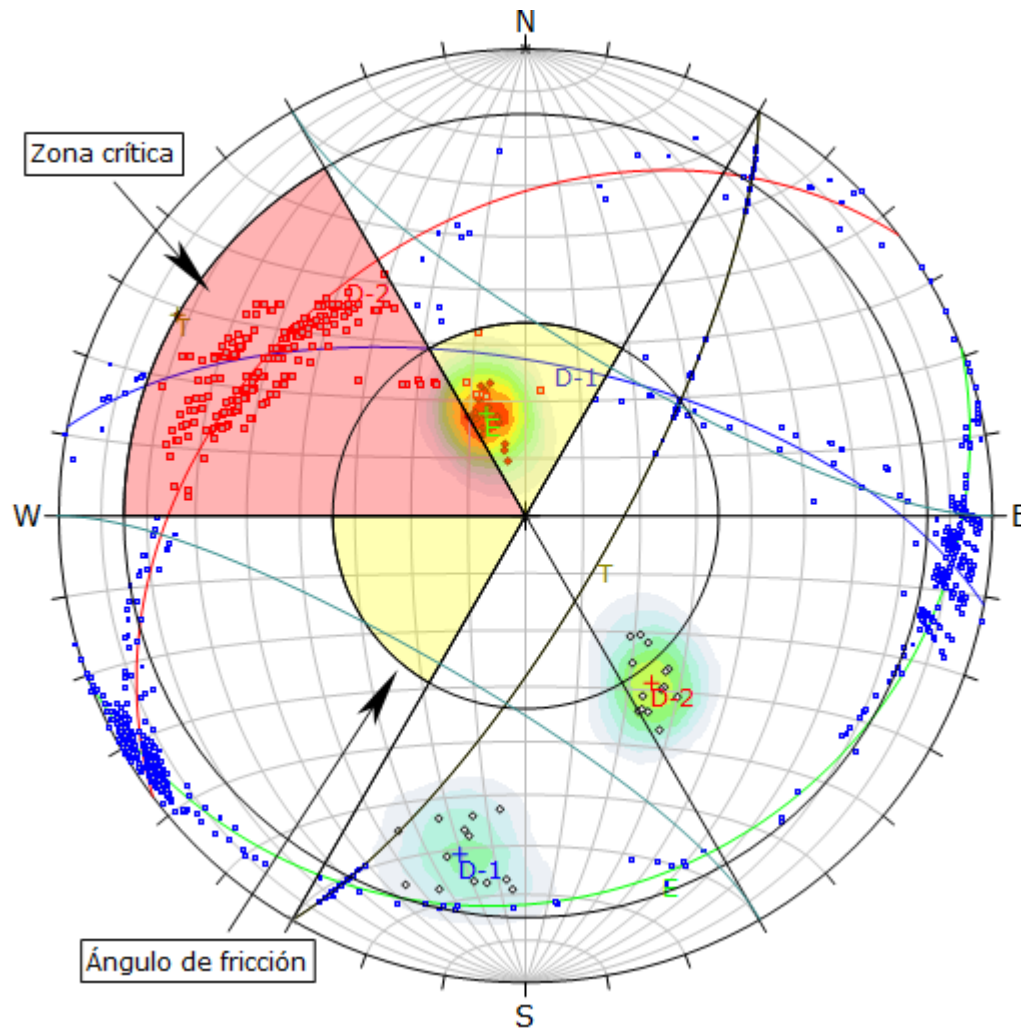


Figura 3.21. Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 40.00%, englobando al polo de la familia: E; a favor del talud. Estación geotécnica E-2.

| Symbol                          | Feature                |       |               |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|
| ◇                               | Polo vectors           |       |               |
| ◆                               | Critical vectors       |       |               |
| ■                               | Critical intersection  |       |               |
| ■                               | Intersection           |       |               |
| Color                           | Density concentrations |       |               |
|                                 | 0.00 - 3.40            |       |               |
|                                 | 3.40 - 6.80            |       |               |
|                                 | 6.80 - 10.20           |       |               |
|                                 | 10.20 - 13.60          |       |               |
|                                 | 13.60 - 17.00          |       |               |
|                                 | 17.00 - 20.40          |       |               |
|                                 | 20.40 - 23.80          |       |               |
|                                 | 23.80 - 27.20          |       |               |
|                                 | 27.20 - 30.60          |       |               |
|                                 | 30.60 - 34.00          |       |               |
| Maximum density                 | 33.95%                 |       |               |
| Contour data                    | Polo vectors           |       |               |
| Contour distribution            | Fisher                 |       |               |
| Counting circle size            | 1.00%                  |       |               |
| Kinematic analysis              | Direct toppling        |       |               |
| Slope dip                       | 75°                    |       |               |
| Slope Dip direction             | 120°                   |       |               |
| Friction angle                  | 34°                    |       |               |
| Lateral milits                  | 30°                    |       |               |
|                                 | Critical               | Total | %             |
| Direct toppling (Intersection)  | 227                    | 990   | 22.93%        |
| Oblique toppling (Intersection) | 6                      | 990   | 0.61%         |
| Base plane (All)                | 18                     | 45    | 40.00%        |
|                                 | Color                  | Dip   | Dip direction |
| User planes                     |                        |       |               |
| 1                               | ■                      | 19°   | 159° E        |
| 2                               | ■                      | 63°   | 11° D-1       |
| 3                               | ■                      | 37°   | 323° D-2      |
| 4                               | ■                      | 75°   | 120° T        |
| Plot Mode                       | Pole vectors           |       |               |
| Vector count                    | 45 (45 entries)        |       |               |
| Intersection mode               | Grid data planes       |       |               |
| Intersections count             | 990                    |       |               |
| Hemisphere                      | Lower                  |       |               |
| Projection                      | Equal area             |       |               |

### 3.11.3 ESTACIÓN E-3

Presenta secuencias estratigráficas de la Formación Cajamarca, gris azulada de espesor: 0.60 m a 1.80 m.. El modelo estructural presenta tres geoestructuras; definiendo el tajo de explotación, respecto al avance de labores mineras, formando: Cuñas y bloques tabulares: Horizontales y sub-verticales. Geomecánicamente el macizo rocoso tiene  $\sigma_{ci} = 125$  MPa (R5), RQD = 78.36%,  $RMR_{89} = 83$  y GSI = 78, buena calidad; aplicando criterios (lineal y no lineales). Generando rupturas que superan 25% de probabilidad de ruptura.

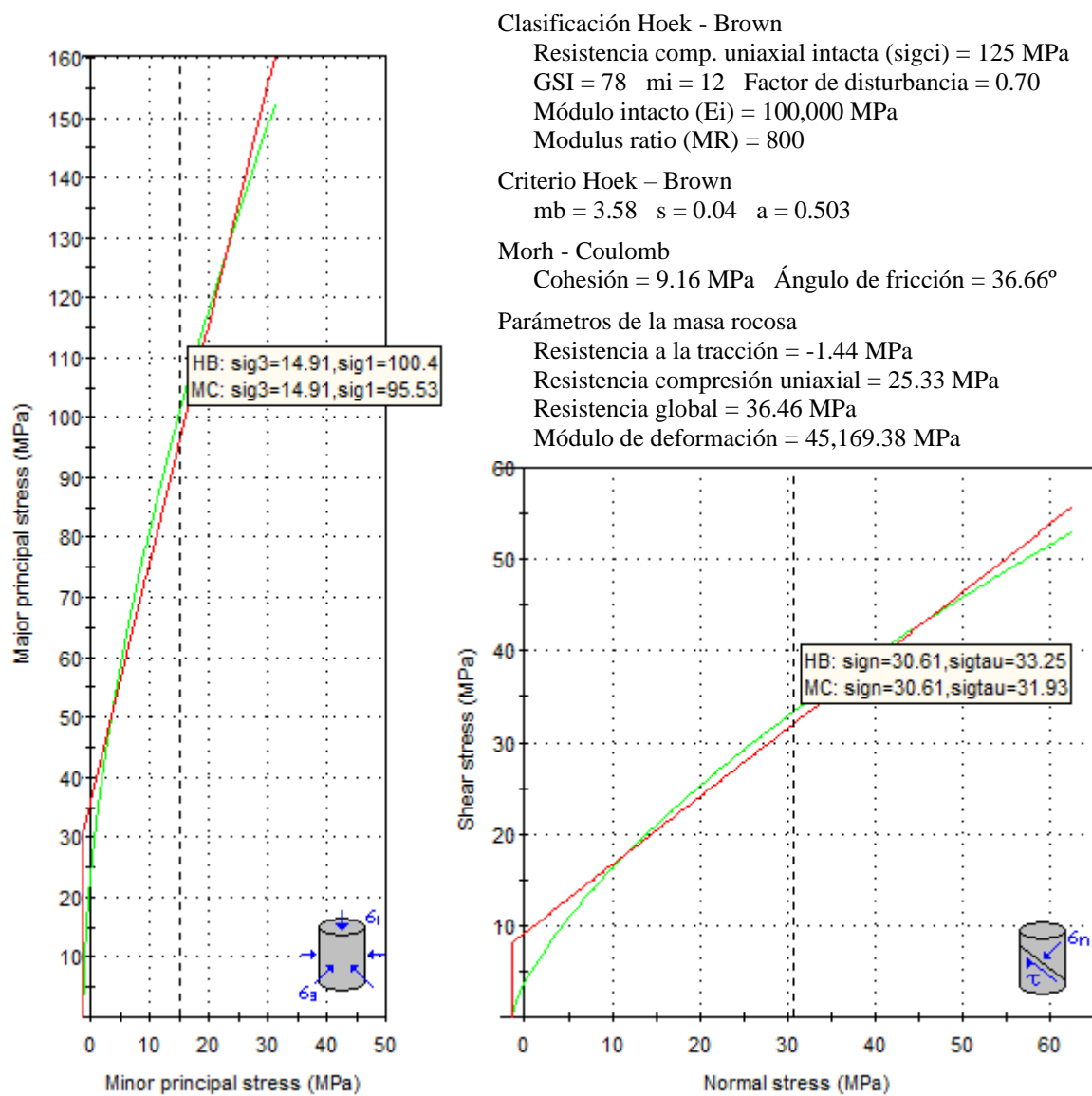


Figura 3.22. Relación de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); mediante el método de equivalencia de áreas. Estación geotécnica E-3.

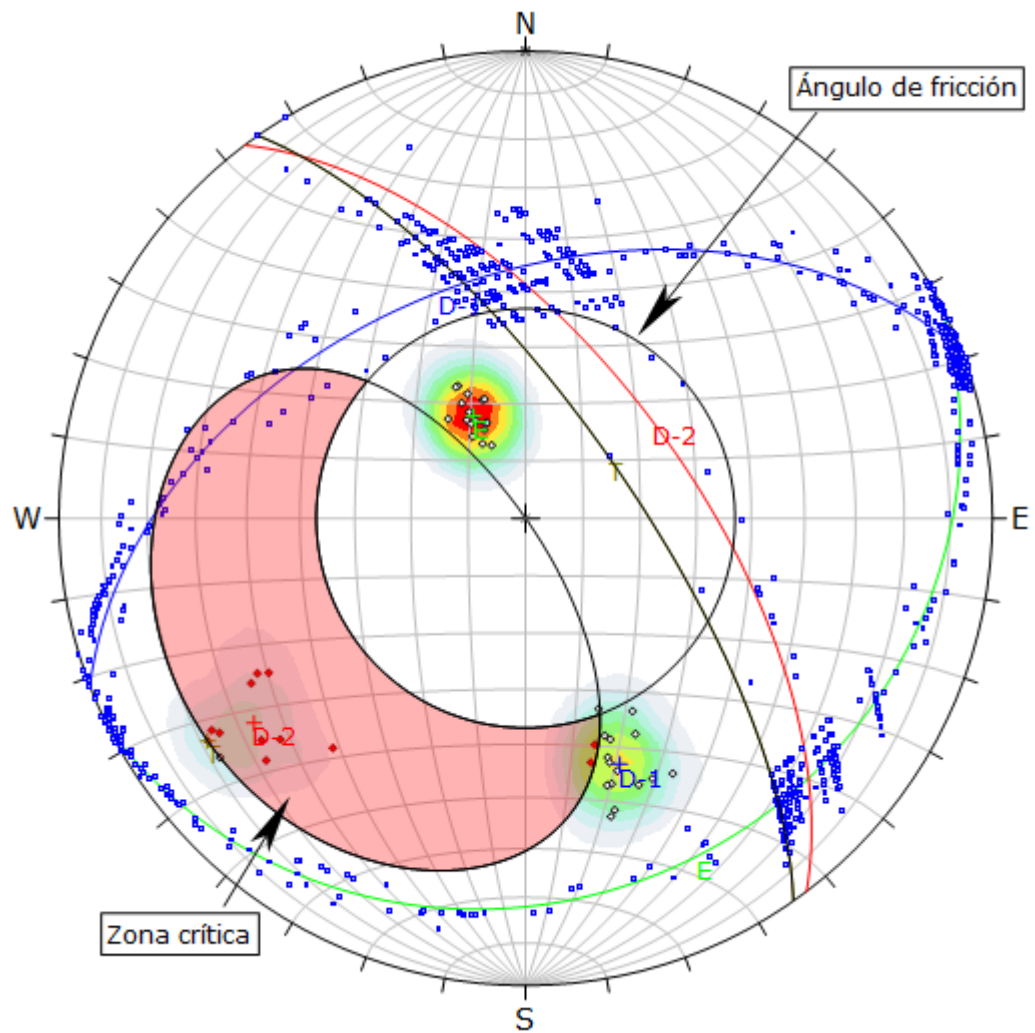


Figura 3.23. Probabilidad de ruptura planar 26.67%, englobando al polo de la familia: D-2; a favor del talud. Estación geotécnica E-3.

| 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       |                        | 34.46%           |               |
| Contour data          |                        | Polo vectors     |               |
| Contour distribution  |                        | Fisher           |               |
| Counting circle size  |                        | 1.00%            |               |
| Kinematic analysis    |                        | Planar siliding  |               |
| Slope dip             |                        | 72°              |               |
| Slope Dip direction   |                        | 55°              |               |
| Friction angle        |                        | 37°              |               |
|                       | Critical               | Total            | %             |
| Planar siliding (All) | 12                     | 45               | 26.67%        |
|                       | Color                  | Dip              | Dip direction |
| User planes           |                        |                  |               |
| 1                     | ■                      | 20°              | 153°          |
| 2                     | ■                      | 47°              | 339°          |
| 3                     | ■                      | 62°              | 53°           |
| 4                     | ■                      | 72°              | 55°           |
| Plot Mode             |                        | Pole vectors     |               |
| Vector count          |                        | 45 (45 entries)  |               |
| Intersection mode     |                        | Grid data planes |               |
| Intersections count   |                        | 990              |               |
| Hemisphere            |                        | Lower            |               |
| Projection            |                        | Equal area       |               |



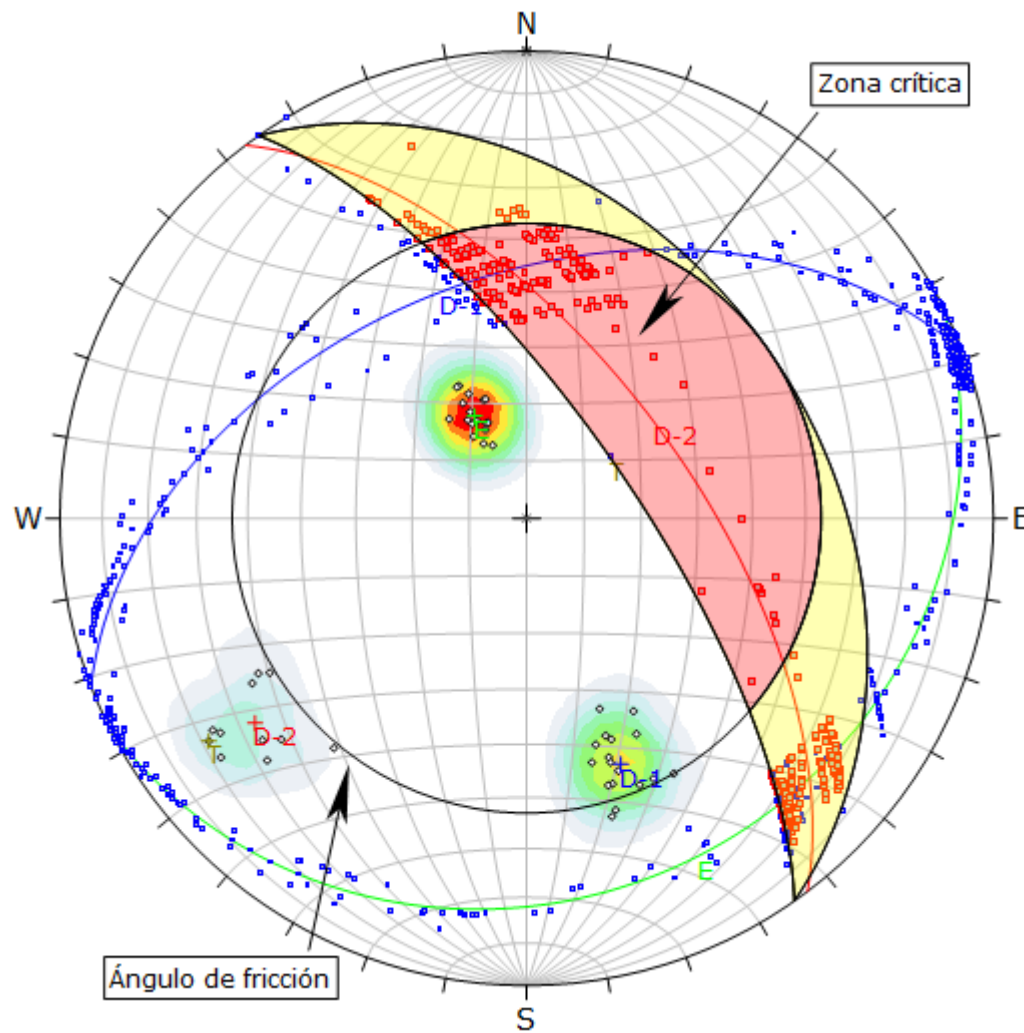


Figura 3.24. Probabilidad de ruptura en cuña con 34.95%, englobando a la intersección de las familias: D-1 y D-2; en orientación indirecta. Estación geotécnica E-3.

| 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      |                        | 34.46%           |               |        |
| Contour data         |                        | Polo vectors     |               |        |
| Contour distribution |                        | Fisher           |               |        |
| Counting circle size |                        | 1.00%            |               |        |
| Kinematic analysis   |                        | Wedge sliding    |               |        |
| Slope dip            |                        | 72°              |               |        |
| Slope Dip direction  |                        | 55°              |               |        |
| Friction angle       |                        | 37°              |               |        |
|                      |                        | Critical         | Total         | %      |
| Wedge sliding        |                        | 346              | 990           | 34.95% |
|                      | Color                  | Dip              | Dip direction | Label  |
| User planes          |                        |                  |               |        |
| 1                    | ■                      | 20°              | 153°          | E      |
| 2                    | ■                      | 47°              | 339°          | D-1    |
| 3                    | ■                      | 62°              | 53°           | D-2    |
| 4                    | ■                      | 72°              | 55°           | T      |
| Plot Mode            |                        | Pole vectors     |               |        |
| Vector count         |                        | 45 (45 entries)  |               |        |
| Intersection mode    |                        | Grid data planes |               |        |
| Intersections count  |                        | 990              |               |        |
| Hemisphere           |                        | Lower            |               |        |
| Projection           |                        | Equal area       |               |        |

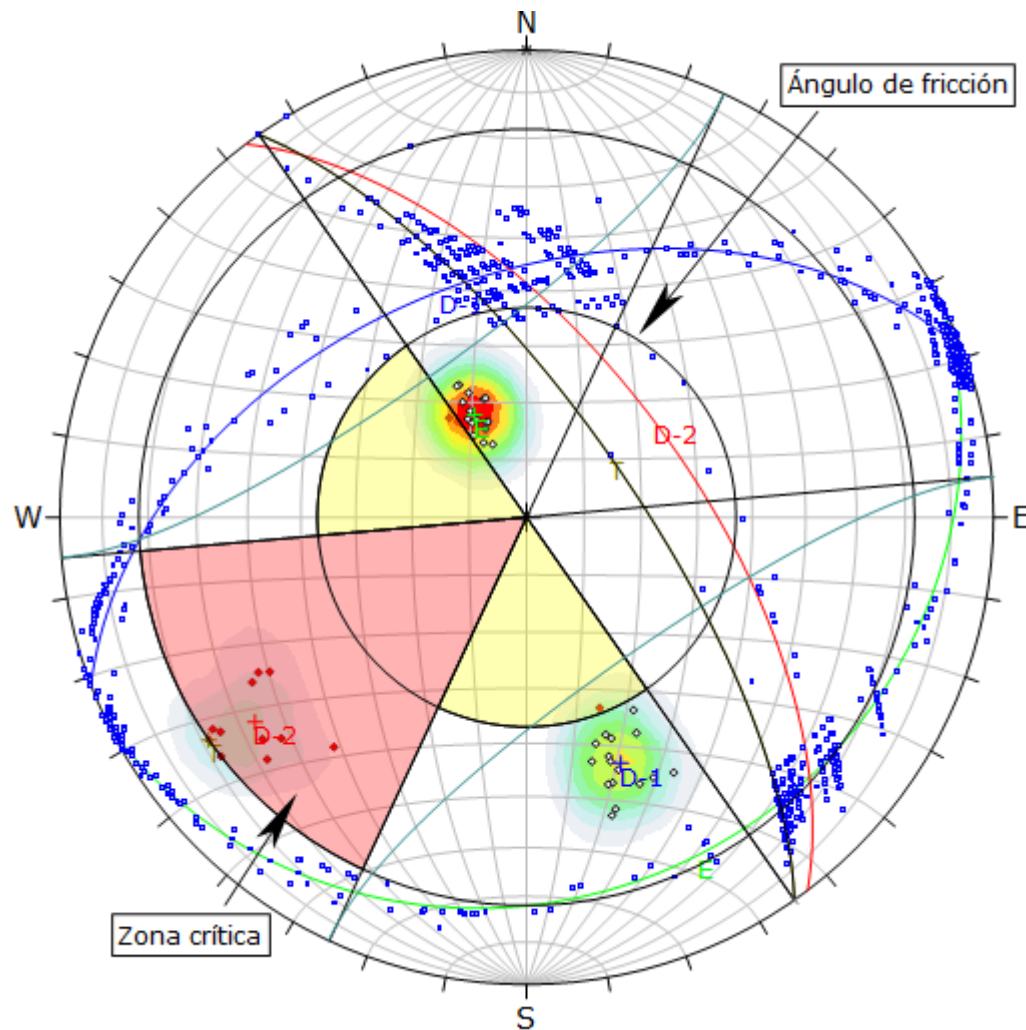


Figura 3.25. Probabilidad de ruptura por vuelco en base deslizante 28.89%, englobando al polo de la familia: D-2; a favor del talud. Estación geotécnica E-3.

| Symbol                          | Feature                |       |               |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|
| ◇                               | Polo vectors           |       |               |
| ◆                               | Critical 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          |       |               |
| Maximum density                 | 34.46%                 |       |               |
| Contour data                    | Polo vectors           |       |               |
| Contour distribution            | Fisher                 |       |               |
| Counting circle size            | 1.00%                  |       |               |
| Kinematic analysis              | Direct toppling        |       |               |
| Slope dip                       | 72°                    |       |               |
| Slope Dip direction             | 55°                    |       |               |
| Friction angle                  | 37°                    |       |               |
| Lateral milits                  | 30°                    |       |               |
|                                 | Critical               | Total | %             |
| Direct toppling (Intersection)  | 0                      | 990   | 0.00%         |
| Oblique toppling (Intersection) | 0                      | 990   | 0.00%         |
| Base plane (All)                | 13                     | 45    | 28.89%        |
|                                 | Color                  | Dip   | Dip direction |
| User planes                     |                        |       |               |
| 1                               | ■                      | 20°   | 153° E        |
| 2                               | ■                      | 47°   | 339° D-1      |
| 3                               | ■                      | 62°   | 53° D-2       |
| 4                               | ■                      | 72°   | 55° 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 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La metodología de investigación utilizada en el estudio geomecánico de producción de roca caliza fragmentada está definida por: Perforación, voladura y cuarteado manual de la roca de 8'' a 10'', por la CALERA MV S.R.L., siendo definida por metodologías y técnicas de carácter científico, aportando con información: Veraz, creíble, real y de aporte científico; desde: Permisos de la empresa, toma de información, procesamiento y redacción de la tesis; fortaleciendo el conocimiento intelectual y profesional, en el enfoque geomecánico de afloramientos rocosos, mediante el desarrollo de variables: Independientes (Litología, geomorfología, geoestructuras y precipitación) y dependientes (Inestabilidad geomecánica); siendo los indicadores para aumentar la optimización de la producción de roca caliza en la planta de producción, consiguiendo de esta manera una adecuada metodología de avance de los frentes de extracción.

#### **3.12.1 Tipo, Nivel, Diseño y Método De Investigación**

No experimental: Conformada por la ocurrencia de fenómenos naturales en su entorno natural en el comportamiento del basamento rocoso, describiendo lo que ocurren en el tajo de explotación para optimizar la producción de roca caliza. Sin embargo, la buena calidad de roca caliza y orientación del tajo está ocasionando bajo grado de fracturamiento en la optimización de extracción de roca caliza; generando sobre utilización de explosivos y mano de obra para obtener la roca fragmentada.

Correlacional: Está basada en la vinculación de: Conceptos, variables o características entre sí, como: Litología, geomorfología, geoestructuras y precipitación e inestabilidad geomecánica, fundamentando en el análisis e interpretación del tajo de explotación con el basamento rocoso. Los explicativos busca encontrar cuales son las razones o causas que provocan los fenómenos que ocurren en el tajo de extracción de roca calcárea.

Método deductivo: Está basada en hechos y reglas, por: Patrones y tendencias, adquiridas del macizo rocoso mediante observaciones de

discontinuidades, adquiriendo información: Cualitativa y cuantitativa, para obtener conclusiones rigurosas y válidas, por las causas que generaría la optimización de producción de roca. Partiendo del objetivo general a particular; fundamentada en la metodología de investigación, mediante ciencias formales como: Matemática y lógica, observando el comportamiento del tajo de explotación.

Inductivo: Está basada en el desarrollo de objetivos específicos: Cartografiado geológico, caracterización geomecánica, probabilidad de ruptura y mejoramiento del sistema de explotación; para la optimización calcárea de la empresa CALERA MV S.R.L., así aportando de manera concreta el mejoramiento del tajo de explotación; partiendo de una serie de observaciones individuales permitiendo la producción de leyes y conclusiones generales; partiendo de lo particular a general

Descriptivo: Fundamentada con la finalidad: Definir, clasificar, catalogar o caracterizar el objeto de estudio. Presentando información: Cualitativa o cuantitativa, basada en la utilización del lenguaje verbal, mediante: Observaciones, cuadros geomecánicos, toma de información y comparaciones para validar las condiciones existentes. Mostrando la calidad de información fundamentadas por: Criterios geomecánicos y diseño geométrico del tajo; sustentados por el carácter científico de la tesis.

Interpretativo: Será basada en la obtención de información y procesamiento, mediante valores: Cuantitativo (Probabilidad de ruptura de la roca, precipitación y orientación de juntas) y cualitativos (Descriptivo del afloramiento); fundamentadas en la calidad de roca y diseño del tajo de explotación. Sin embargo, la interpretación dará el enfoque del comportamiento geomecánico del basamento rocoso.

### **3.12.2 Población**

El tajo de explotación de la empresa CALERA MV S.R.L., está conformado por estratos de roca caliza de la Formación Cajamarca; para la optimización de

extracción por: Perforación, voladura y cuarteado manualmente la roca calcárea, con área superficial 3,940.00 m<sup>2</sup>.

### **3.12.3 Muestra**

Está relacionada con estaciones geomecánicas ubicadas en el tajo de explotación de roca caliza, obteniendo muestras representativas de: Calidad de roca y diseño geométrico del tajo de explotación. Teniendo en consideración las variables a analizar.

### **3.12.4 Unidad De Análisis**

Lo conforman variables de carácter científico como: Litología, unidades geomorfológicas, geoestructuras, precipitación e inestabilidad geomecánica; que darán el fundamento científico para definir el diseño de optimización y producción de roca; acompañados de parámetros geotécnicos.

### **3.12.5 Técnicas de Recolección de Datos**

**Primera etapa - Recopilación de información:** Constituida por la búsqueda de información fundamentada por: Papers, artículos científicos, videos, ponencias, seminarios, libros, tesis, etc. Sin embargo, también se utilizó servidores como: Google Maps, Geocatmin, SASPlanet, AutoCad, ArcGis y Global Mapper; para fundamentar y fortalecer, el conocimiento enmarcado en el tema de investigación para: Redacción y edición, de la tesis del tajo de explotación de la empresa CALERA MV S.R.L., mediante información: Cualitativa y cuantitativa.

**Segunda etapa - Campo:** Está conformada por planificaciones progresivas para obtener información real de la zona de investigación constituidas por 6 salidas de campo en diferentes tiempos a las operaciones mineras del tajo. Siendo la información de carácter: Cualitativa y cuantitativa, plasmadas en formatos: Geológicos, goestructurales y geomecánico; en función de las variables. Sin embargo, la información paso por: seleccionamiento y agrupamiento, para su procesamiento adecuado.

**Tercera etapa – Gabinete:** Conformado por: Seleccionamiento, agrupamiento y procesamiento, de acuerdo con la toma de información de campo por las variables; constituidas por tres fases: **Primera fase:** Está definida por la información de campo mediante: Códigos, agrupaciones y tabulaciones; sirviendo de base para el análisis, en el entorno geológico-geomecánico. **Segunda fase:** Lo delimita el análisis e interpretación de resultados y **Tercera fase:** Lo fundamenta la redacción de la tesis de investigación mediante el contenido resultados finales de la investigación. Sin embargo, se utilizó programas numéricos como: RocData, Dips, AutoCad y ArcGis; para brindar información real de la investigación.

**Cuarta etapa - Análisis e interpretación:** Será mostrado mediante: Cuadros y figuras, que muestren de manera concisa y precisa, lo que ocurre en el tajo de explotación de la empresa CALERA MV S.R.L., fundamentado mediante la hipótesis planteada, definiendo así el diseño óptimo de explotación del tajo, para la extracción de roca caliza, mediante métodos: Empíricos y numéricos; plasmándose mediante planos: Imágen satelital, geológico regional, geológico local – estructural, hidrológico, etc.

### **3.12.6 Equipos, Materiales y Soporte Computacional**

Sin embargo, los equipos, materiales y soporte computacional, fueron de gran importancia para la recolección de información de campo y gabinete, cumpliendo con todas las etapas planteadas, mediante información: Cualitativa y cuantitativa, en la elaboración de la tesis.

Equipos: Lo conforman: Brújula Brunton (Serie: 5631915000), GPS Garmin (Serie: 2DV186166 - Garmin), cámara fotográfica (Serie: 8322513), lupa (Serie: Achromatiz 20x - Iwamoto), picota (Modelo: E3-23LP 22 onz - Estwing), protactor (C-Thru / Westcott), rayador (SKU 15-075), wincha (SKU: 133632 - Kamasa), Peine de Barton, Martillo Schmidt (Marca: Controls, modelo: 45-D0561) y flexómetro (Stanley – SKU: 120250).

Materiales: Registro geológico-geotécnico, portapapeles, ácido clorhídrico, planos, imagen satelital, libreta de campo, lapiceros, borrador y colores.



Figura 3.26. Equipo e instrumentos, para la obtención de información del tajo de explotación de la empresa CALERA MV S.R.L.

Soporte computacional: SASPlanet V22, AutoCad 2020, Global Mapper 15, ArcGis 10.8 y RocData V4.



Figura 3.27. Programas numéricos para el procesamiento y presentación de información, del tajo de explotación.

### 3.12.7 Operacionalización de Variables

Cuadro 3.9. Operacionalización de las variables.

| Variables                 |                       | Definición   | Indicador   | Parámetro          |
|---------------------------|-----------------------|--|-------------|--------------------|
| Dependientes              | Independientes        |  |             |                    |
| Inestabilidad geomecánica | Litología             | Parte de la geología que estudia los tipos rocas, que comprenden las estructuras geológicas                                | Resistencia | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                           |                       |  | Potencia    | m.                 |
|                           | Unidades morfogénicas | Está conformado por: Planicies, lomadas, laderas y escarpas; que definen el modelamiento superficial de corteza terrestre. | Área        | m <sup>2</sup> .   |
|                           |                       |  | Pendiente   | °                  |
|                           |                       |  | Altitud     | msnm.              |
|                           | Geoestructuras        | Estudia las deformaciones de la corteza terrestre relacionadas con el tiempo geológico.                                    | Junta       | m.                 |
|                           |                       |  | Falla       | m.                 |
|                           | Precipitación         | Humedad que se origina en las nubes y llega a la superficie terrestre.   | Intensidad  | mm/h               |
| Escorrentía               |                       |  | cm.         |                    |

### 3.12.8 Matriz de Consistencia



Cuadro 3.10. Matriz de consistencia.

| Formulación del problema   | Objetivos   | Hipótesis  | Variables             |                           |
|--|---|--|-----------------------|---------------------------|
| <p><i>Planteamiento del Problema</i></p> <p>La empresa Calera MV S.R.L. se ubica en el caserío Chilifruta, centro poblado de Apan bajo, distrito, provincia de Hualgayoc al norte de Cajamarca, dedicada a la extracción y procesamiento de roca caliza de la Formación Cajamarca; compuesta por estratos de roca calcárea competente desde 0.40 a 2.00 m. de espesor. El frente de extracción tiene orientación W-E, con estratos de forma tabular con pendientes abruptas y escarpadas, ocasionando sobre dimensionado en los costos de extracción, debido a la inestabilidad geomecánica para el avance de explotación, teniendo fuerte incidencia con las variables: Inestabilidad geomecánica, litología, geomorfología, geoestructuras y precipitación; condicionando la disminución de la resistencia en las discontinuidades debido a cambios de la cohesión y ángulo de fricción. Por consiguiente, se debe cambiar la dirección de los frentes de explotación aplicando los parámetros geomecánicos para mejorar las condiciones de estabilidad.</p> <p><b>Formulación del Problema</b></p> <p>¿Cuál será el comportamiento de inestabilidad geomecánica del nuevo diseño de bancos del actual tajo de explotación minera de La Empresa CALERA MV S.R.L debido a la extracción de las calizas?</p> | General   | <p>El tajo de extracción de calizas por la empresa Calera MV S.R.L., está relacionada con rocas caliza de la Formación Cajamarca, donde encontramos geoestructuras y geoformas donde se desarrollan los bancos de explotación, los cuales actualmente se encuentran inestables, siendo necesario cambiar la dirección del tajo, para lograr la estabilidad geomecánica durante la explotación.</p> | Independientes        | Dependiente               |
|  | Específicos   |  | Litología             | Inestabilidad geomecánica |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Cartografiar la unidad litológica del macizo rocoso.</li> <li>❖ Determinar la caracterización geomecánica.</li> <li>❖ Definir mediante la aplicación del software Dips las probabilidades de ruptura de roca.</li> <li>❖ Diseñar el nuevo sistema de explotación en bancos con estabilidad geomecánica.</li> </ul> |  | Unidades morfogénicas |                           |
|  |   |  | Geoestructuras        |                           |
| Precipitación  |   |  |                       |                           |

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Geológicamente corresponde a la facie sedimentaria de la Cordillera Occidental Peruana, con unidades rocosas: Mesozoicas - Cretácico Superior hasta Cenozoicas – Holoceno. Sin embargo, las operaciones mineras de la empresa Calera MV S.R.L, se dedica a la extracción de roca caliza emplazada en afloramientos rocosos de la Formación Cajamarca; de la edad Turoniana (89.80 Ma. a 93.90 Ma.) presentando orientación (Az/Bz): N60°/21°SE y peso específico 27.50 KN/m<sup>3</sup>., constituido por estratos de calizas gris azuladas de espesor: 0.50 m. a 2.30 m., delimitada por rocas de calidad: Buena a muy buena, formando bloques: Tabulares a cúbicos, extrayendo roca calcárea con porcentaje de pureza que supera el 93% de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). Por consiguiente, se evidencio Depósitos: Deluviales (Constituido por: Grava 03%, arena 10%, limo 17% y arcilla 70%, caracterizándose por contener materiales arcillo limoso de color anaranjado a marrón, con altura: 5.00 m. a 7.00 m. y ancho 0.50 m. a 0.65 m.; con matriz englobante: Arena, limo y arcillas, acumulándose por acción gravitatoria en las partes: Medias y bajas, formando por el paso del tiempo: Terrazas y lomadas, cubriendo y llenando las simas kársticas, constituyendo chimeneas verticales por la disolución de carbonatos, formando paredes completamente lisas y alteradas de color blanquecino), Eluvial-Deluvial (Compuesto por gravas angulosas a subangulosas: 0.07 m. a 0.04 m., con matriz cementante limosa arcillosa calcárea conformando una matriz rígida, con cementación moderada, con compacidad muy densa de color: Amarillenta, rojiza a anaranjada; ubicándose en ladera inestables) y Antrópicos (Está compuesto por fragmentación: Gruesa a fina, por la sobre extracción de mineral no metálico del tajo de explotación, compuestas por: Rocas, arenas, limos y arcillas. Siendo acumuladas en: vertientes y laderas. Ocasionalmente

zonas inestables por la escorrentía superficial como: Deslizamientos, reptaciones, etc.; siendo zonas de riesgos geológicos).

La geomorfología regional está relacionada con el alineamiento: W-E y SW-NE; de cadenas montañosas, relacionadas con los cerros: Tororco y Terreria, delimitas por las vertientes: **Río Arascorgue** (Se ubica al S, formando relieves en forma de V con fuertes pendientes; siendo el resultado de procesos: Endógenos, exógenos y geodinámicos; constituyendo laderas con pendientes  $> 25^\circ$ , ubicándose en el Cretáceo Superior, siendo claramente controlada por la resistencia de las rocas, sin embargo está cubierta por depósitos cuaternarios formando: Terrazas y lomadas; configurando geoformas: Suaves a onduladas) y **El Tragadero** (Se ubica al N con superficie en forma de U, presentando: Planicies ( $0^\circ - 7^\circ$ ) y Lomadas ( $7^\circ - 25^\circ$ ), con superficie: Plana a ondulada, originando valles jóvenes.

Sin embargo, la morfotopometría de la empresa Calera MV S.R.L., está conformada por: Lomadas (Presentan pendientes de  $7^\circ - 14^\circ$ , con área 5,532.55 m<sup>2</sup>. (63.72%); conformando la parte: Media y superior; con alineamientos: S, W y N. Constituyendo superficies: Planas, onduladas a subredondeadas, constituyendo el área de beneficio y acceso a las operaciones mineras, evidenciándose Depósitos: Deluviales y Eluviales-Deluviales, sin embargo están compuesto por matriz cementante limoso arcillosa calcárea conformando una matriz rígida, con cementación moderada, con compacidad muy densa de origen residual de color amarillento, rojizos a anaranjado; constituyendo laderas inestables, formando deslizamientos circulares de pie) y Laderas (Ocupa un área 3,149.33 m<sup>2</sup>. (36.28%), ubicada en la zona E, con pendientes:  $14^\circ$  a  $25^\circ$ , compuesta por: Depósito Antrópico (Compuesta por fragmentos gravo a arcillosos, de matriz angulosa distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente, englobando una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en la superficie) y Formación Cajamarca (Se ubica al S conformada por pendientes: Onduladas a moderadas, predominando afloramientos de rocas calcáreas de color gris azulado, sin embargo, la zona SE presenta por basamentos rocosos muy resistentes formando fallarones empinados inaccesibles). El tajo de explotación presenta geoformas kársticas (Lenares, simas, dolinas, etc.) evidenciándose en las secciones de corte del tajo generados por la perforación y voladura, habiendo formado simas kársticas por la

disolución de carbonatos de altura: 5.00 m. a 7.00 m. y ancho 0.50 m. a 0.65 m., siendo rellenados por Depósitos Deluviales de color: Rojizo a anaranjado.

La hidrología pertenece a la intercuenca Alto Marañón IV, delimitada por el río Arascorgue, ubicado en la zona montañosa dentro de la Cordillera Occidental del distrito Hualgayoc (naciente), en la microcuenca del río Arascorgue, con orientación NNE-SWW. Se ubica en el centro poblado La Tauna, con cotas: 3,200 msnm. hacia el NNE-SWW (Distrito de Hualgayoc como naciente) y 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 Arascorgue confluyendo con la quebrada El Tragadero (Tiene como naciente en el centro poblado 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, cambiando de orientación SW-NE bruscamente, con longitud de 23.60 Km., desembocando sus aguas al río Marañón (Se origina al SW del departamento Huánuco en la Provincia Lauricocha) a los 1,050 msnm. con orientación SSE-NNW, recorriendo aproximadamente 253.28 Km. interceptando con el río Chinchipe a los 390 msnm. con orientación NE-SW, siendo el principal afluente del río Amazonas, desembocando en el Océano Atlántico.

Sin embargo, fue delimitada por los drenajes: Quebrada El Tragadero y río Arascorgue, con geformas de modelamiento superficial en forma: U y V, por su topomorfometría; ubicándose el río Arascorgue al S a distancia de 990 m. y quebrada El Tragadero al N a distancia de 410 m. Sin embargo, los datos de la estación convencional-meteorológica Bambamarca se realizó desde el año: 2013 a 2022, obteniendo  $P_{p\max} = 189.10$  mm.,  $P_{p\min} = 54.30$  mm.,  $P_{p\text{anual}} = 559.39$  mm. y  $P_{p\text{ media anual}} = 46.62$  mm.; Por consiguiente, la delimitación de microcuencas fue definido por dos áreas: MC-I: 8,318.30 m<sup>2</sup>. y MC-II: 363.59 m<sup>2</sup>, obteniendo tiempo de concentración promedio > 40 min. y caudal > 0.25 m<sup>3</sup>/s; relacionándose con Depósitos: Deluviales, Eluviales-Deluviales y Lacustres, de alta recepción de agua constituyendo áreas de humedad constante durante el año; en cambio el basamento rocoso presenta baja recepción de agua.

Las geoestructuras están definidas por estructuras: Mayores (Los sinclinales y anticlinales, con orientación SSW-NNE, con eje WNW-ESE, varían con  $Bz = 15^\circ$  a  $22^\circ$  SW-NE; ubicándose el eje en la Formación Cajamarca, sin embargo, la acumulación tensional del Cretácico: Inferior y Superior, disipó los esfuerzos de la secuencia estratigráfica por medio de fallas: Inversas y normales, regionales ubicados al SW de la CALERA MV S.R.L., por medio de fallamientos emplazadas en la cantera de extracción de roca caliza de orientación NW-SE, por medio de fallas inversas de orientación  $Az = N155^\circ$  a 6.30 Km. distancia) y menores (Está constituido por cuatro discontinuidades (Az/Bz):  $215^\circ N/21^\circ NW$ ,  $121^\circ N/56^\circ SW$ ,  $330^\circ N/64^\circ NE$  y  $60^\circ N/23^\circ SE$  y 1 ocasional por: (Az/Bz):  $265^\circ N/52^\circ NW$ ; formando frentes de explotación verticales estables generando caídas de rocas por diaclasamientos inclinados a horizontales por la sobre excavación del frente de explotación por la intersección de diaclasas).

Cuadro 4.1. Resultados de probabilidad de ruptura por software Dips - tajo empresa Calera MV S.R.L.

| Estación | Probabilidad de ruptura |         |       |           |           |         |                 |       | Condición inestabilidad |
|----------|-------------------------|---------|-------|-----------|-----------|---------|-----------------|-------|-------------------------|
|          | Planar                  |         | Cuña  |           | Vuelco    |         |                 | Junta |                         |
|          | %                       | Junta   | %     | Junta     | Dirección | Oblicuo | Base deslizante |       |                         |
| E-1      | 71.11                   | D-2 y E | 44.39 | D-2 y E   | 00.30     | 00.00   | 33.33           | D-2   | Baja                    |
| E-2      | 2.22                    | E       | 3.74  | D-1 y E   | 22.93     | 00.61   | 40.00           | E     | Moderada                |
| E-3      | 26.67                   | D-2     | 34.95 | D-1 y D-2 | 00.00     | 00.00   | 28.89           | D-2   | Alta                    |

Cuadro 4.2. Análisis cinemático por diagrama: Pi y beta, por software Dips - tajo empresa Calera MV S.R.L.

| Estación   | Ruptura | Probabilidad de falla (%) | Numero de juntas |       | Inestabilidad de junta |
|------------|---------|---------------------------|------------------|-------|------------------------|
|            |         |                           | Críticas         | Total |                        |
| <b>E-1</b> | Planar  | 71.11                     | 32               | 45    | D-2 y E                |
|            | Cuña    | 44.39                     | 439              | 989   | D-2 y E                |
|            | Vuelco  | 33.33                     | 3                | 989   | D-2                    |
| <b>E-2</b> | Planar  | 2.22                      | 1                | 45    | E                      |
|            | Cuña    | 3.74                      | 37               | 990   | D-1 y E                |
|            | Vuelco  | 40                        | 227              | 990   | E                      |
| <b>E-3</b> | Planar  | 26.67                     | 12               | 45    | D-2                    |
|            | Cuña    | 34.95                     | 346              | 990   | D-1 y D-2              |
|            | Vuelco  | 28.89                     | 13               | 990   | D-2                    |

Por consiguiente, se aplicó el modelo numérico para el análisis cinemático mediante juntas, se obtuvo rupturas: Planares, cuñas y vuelco, variando la probabilidad de ruptura en cada estación geomecánica, obteniendo en la estación: E-1 (Valores > 30% siendo las más inestables: Planar y cuña), E-2 (Valores > 40% siendo el más inestable vuelco) y E-3 (Valores > 25% siendo las más inestables: Planar, cuña y vuelco); por lo contrario, cambiando la orientación del talud en orientación D/DD (65°/115°) de corte iniciando por la parte baja del tajo, se obtuvo probabilidades de ruptura por vuelco en la base 43.90%, incrementando el grado de fragmentación de la roca.

El tajo de explotación presenta afloramientos rocosos de calidad: Buena a muy buena, obteniendo coeficientes de valores espectrales: Horizontal (0.225 a 0.421) y vertical (0.427 a 0.800), clasificándolos en la magnitud: Richter (< 1.0, equivalente de la energía TNT de 170 gr.) y Mercalli (II – Leve), relacionado por la utilización de voladura en el tajo de explotación, categorizándolo en función: Grado de fracturamiento, litología y tajo de explotación; ubicándose en la zona  $Z_3 = 0.35g$ , suelo S0-Roca dura, con el factor de amplificación sísmica (C), se ubica entre:  $T < TP$  y  $TP < T < TL$ , no logrando ser  $\geq 0.11$ , en relación de fuerza cortante en la base de la columna de roca.

El cartografiado geomecánico se basó en tres estaciones, obteniendo valores representativos del tajo del basamento rocoso de roca calcárea, por medio del modelo geológico clasificándolo como rocas de buena calidad (RQD,  $RMR_{89}$  y GSI), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial ( $\sigma_{ci}$ ) (95 MPa a 125 MPa), en función: Grado de fracturamiento, alteración, rugosidad, persistencia, espaciado, abertura, relleno y agua; por lo contrario aplicando el modelo matemático se obtuvo las constantes elásticas de la roca por medio de programa numérico RocData (Criterios: Hoek - Brown y Mohr – Coulomb), como:  $m_i$  (11 a 12),  $D$  (0.70), MR (800 a 1,000),  $E_i$  (95,000 MPa a 110,000 MPa),  $m_b$  (1.44 a 3.58),  $s$  (0.0047 a 0.004),  $a$  (0.501 a 0.507),  $c$  (4.62 MPa a 9.16 MPa),  $\phi$  (29.22° a 36.66°) y  $E_m$  (22,639.08 MPa a 45,169.38 MPa); mediante el método de equivalencia de áreas, con presión de confinamiento 0.15 MPa a 1.26 MPa.

## 4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El tajo de explotación de la empresa Calera MV S.R.L., dedicada a la explotación de roca por bancos de explotación pertenecientes a la Formación Cajamarca, está delimitada por cuatro discontinuidades (Az/Bz): 215°N/21°NW, 121°N/56°SW, 330°N/64°NE y 60°N/23°SE; se obtuvo valores de ruptura del tajo con valores fluctuantes desde: 25% a 40% con un frente de explotación con orientación del talud en orientación D/DD (72°/55°); sin embargo cambiando la orientación del talud en orientación D/DD (65°/115°) aumento la probabilidades de ruptura por vuelco en la base 43.90% y minimizando el grado de fracturamiento de rupturas: Planares y cuñas; siendo indispensable para minimizar la utilización de explosivos en el tajo de explotación, correlacionado las geoestructuras que conforman el tajo de explotación. Por consiguiente, los bancos se encuentran emplazados en lomadas, generando secciones por estar constituidas por roca fija de corte: 10:1, escarpadas con Bz = 70° a 80°SE.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado geológico del tajo de explotación está emplazado en afloramientos rocosos de la Formación Cajamarca; de la edad Turoniana (89.80 Ma. a 93.90 Ma.) de orientación (Az/Bz): N60°/21°SE, constituido por estratos de calizas gris azuladas de espesor: 0.50 m. a 2.30 m., con porcentaje de pureza > 93% de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>); evidenciándose en algunos sectores recubrimientos con Depósitos: Deluviales (Conformado por materiales arcillo limoso de color anaranjado a marrón) y Eluvial-Deluvial (Compuesto por gravas angulosas a subangulosas: 0.07 m. a 0.04 m., con matriz cementante limosa arcillosa calcárea conformando una matriz rígida, con cementación moderada, con compacidad muy densa de color: Amarillenta, rojiza a anaranjada) y Antrópicos (Presenta fragmentación: Gruesa a fina, compuestas por: Rocas, arenas, limos y arcillas).

El cartografiado geomecánico lo clasificó en rocas de buena calidad con estimación de resistencia a compresión uniaxial ( $\sigma_{ci}$ ) (95 MPa a 125 MPa), aplicando el modelo matemático se obtuvo las constantes elásticas por el Criterio: Hoek - Brown y Mohr – Coulomb:  $m_i$  (11 a 12),  $D$  (0.70), MR (800 a 1,000),  $E_i$  (95,000 MPa a 110,000 MPa),  $m_b$  (1.44 a 3.58),  $s$  (0.0047 a 0.004),  $a$  (0.501 a 0.507),  $c$  (4.62 MPa a 9.16 MPa),  $\phi$  (29.22° a 36.66°) y  $E_m$  (22,639.08 MPa a 45,169.38 MPa); con presión de confinamiento 0.15 MPa a 1.26 MPa.

El modelo numérico Dips definió el análisis cinemático por rupturas: Planares, cuñas y vuelco, variando la probabilidad de ruptura en cada estación geomecánica: E-1 (Valores > 30% siendo las más inestables: Planar y cuña), E-2 (Valores > 40% siendo el más inestable vuelco) y E-3 (Valores > 25% siendo las



más inestables: Planar, cuña y vuelco); por lo contrario, cambiando la orientación del talud en orientación D/DD ( $65^{\circ}/115^{\circ}$ ) de corte iniciando por la parte baja del tajo, se obtuvo probabilidades de ruptura por vuelco en la base 43.90%, incrementando el grado de fragmentación de la roca.

El sistema de explotación del yacimiento es a cielo abierto por sistema de banqueo con: altura de banco = 5.50 m., quebradura = 1.47 m., ancho rampa = 11.00 m., ancho berma = 5.60 m., ángulo de banco =  $75^{\circ}$  y ángulo final de banco =  $38^{\circ}$ ; definidos por los taladros de perforación.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Realizar cartografiados geológicos-geomecánicos a escala 1/250, para precisar el cambio litológico del área de investigación.

Realizar ensayos: Triaxiales y módulos, para obtener los parámetros de la matriz rocosa de cada estación geomecánica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avila, C.; y Tobo, R. 2014. *Diseño del método de explotación a cielo abierto para la mina el diamante, dentro del contrato en virtud de aporte N° 00904-15 en el municipio de Tibasosa, Vereda La Carrera departamento de Boyacá (Tesis de pregrado)*. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Recuperado de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3176473>
- Batista, J. Blanco, G.; y Nevado, J. 2012. *Propuesta de un Manuel para la evaluación de taludes. Guayana – Venezuela*. Recuperado de <http://catalogo-gy.ucab.edu.ve/documentos/tesis/aab3868.pdf>
- Benavides, V. 1956. *Cretaceous Systemems in Northern Peru*. Amer. Mus. Nat. Hist. Bull., Vol. 108 art. 4, pp. 353-494.
- Benavides, V. 1956. *Geología de la región de Cajamarca*. Bol. Soc. Geol. Perú, Tomo 30, pp. 49-79. Lima-Perú.
- Berrocal, M. 2015. *Estabilidad de Excavaciones Subterráneas*. Lima - Perú: Ventura Graf.
- Bieniawski, Z. 1976. *Rock mass clasificación in rock engineering. In exploration for rock engineering* (ed ZT Bieniawski), VOL. 1 pp. 97-106. Balkema, Cape Town.
- Bieniawski, Z. 1989. *Clasificación de masa rocosa ingenieril*. New York- Universidad del Estado de Pensilvania: Edición: Jhon Wiley & Sons. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=pejDUvjwPdMC&oi=fnd&pg=PR11&dq=engineering+rock+mass+classifications+bieniawski+1989+pdf&ots=4TmcQz1YTt&sig=3z82jx-PjZrt-BSmTu8WRiprA5Q#v=onepage&q&f=false>

- Dávila, V. 2011. *Diccionario geológico*. INGEMMET. Lima – Perú: Arth Grouting S.A.C.
- Deere, D., Hendron, A., Patton, F.; y Cording, E. 1967. Diseño de superficies y superficies del entorno de excavación en roca. 8vo. Simposium de mecánica de rocas en procedimientos. Fracturamiento y reforzamiento en roca (ed. C Fairhurst), págs. 237 - 302. New York – Estados Unidos: AIME.
- Deere, D.; y Deere, W. 1988. *The rock quality designation (RQD) index in practice*. In rock clasificación systems for engineering purposes (Ed. L Kirkaldie), pp. 91-101. ASTM STP 984, American society for testing and materials, Ann Arbor, Michigan.
- ETSECCPB, 2009. *Criterios de rotura y clasificaciones geomecánicas*. Universidad Politécnica de Cataluña - La Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Barcelona – España.
- Fernández, V. 2021. *Factibilidad de un plan de minado en la cantera Chinchin del centro poblado Otuzco, distrito de Baños del Inca (Tesis de pregrado)*. Universidad Continental. Recuperado de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10413#:~:text=Se%20concluye%20que%20es%20factible,importancia%20para%20la%20industria%20minera%2C>
- Gavilanes, H.; y Andrade, B. 2004. *Introducción a la ingeniería de túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánicos de macizos rocosos*. Quito – Ecuador: Asociación de ingenieros de minas del Ecuador.
- González, L. 2002. *Ingeniería Geológica*. Madrid – España: Prentice Hall.
- Gutiérrez, K. 2019. *Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicados en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S.A.A. (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado de <https://1library.co/document/z1gk5rez-analisis-evaluacion-metodos-explotacion-convencional-plataformas-aplicado-empresa.html>
- Herrera, F. 2000. *Análisis de estabilidad de taludes: Master en ingeniería geológica*. Madrid – España: GEOTÉCNIA 2000.

- Hoek, E.; y Brown, E. 1997. *Practical estimates of rock mass strength*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 34, págs. 1165-1186.
- Hoek, E., Carranza, T.; y Corkum, B. 2002. *El criterio de rotura de Hoek – Brown – Edición 2002*. London: Consulting Engineer & University of Minnesota & RocScience Inc. Recuperado de [https://www.rocscience.com/documents/pdfs/library/RL\\_3.pdf](https://www.rocscience.com/documents/pdfs/library/RL_3.pdf)
- Hoek, E.; y Brown, E. 1988. *The Hoek-Brown failure criterion — a 1988 update*. Proc. 15 th Canadian Rock Mech. Symp. (Ed. J.C. Curran), 31–38. Toronto, Dept. Civil Engineering, University of Toronto.
- Hoek, E., Wood, D.; y Shah, S. 1992. *A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses*. Proc. Rock Characterization, Symp. Int. Soc. Rock Mech Eurock' 92, (ed. J.A. Hudson), 209–214. London, Brit. Geotech. Soc.
- Jaimes, F., Navarro, J.; y Santos, A. 2013. *Mapa geológico del cuadrángulo de Chota, escala 1/50,000 hoja 15-f cuadrante-I*. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Recuperado de <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Medina, M. 2014. *Estudio geomecánico de estabilidad de taludes del Tajo Chapi Sulfuros (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de San Agustín. Recuperado de <https://1library.co/document/q05261xy-estudio-geomecanico-estabilidad-taludes-tajo-chapi-sulfuros.html>
- Montoya, F. 2018. *Expediente técnico del proyecto minero No Metálico – Agustín De La Cruz Vásquez*. Ministerio de energía y minas.
- Lillo, J.; y Oyarzun, R. 2013. *Geología estructural aplicada a la minería y exploración minera: Principios básicos*. Móstoles – España: Ediciones GEMM – Aula2punto.net. Recuperado de [www.aulados.net/GEMM/GEMM.html](http://www.aulados.net/GEMM/GEMM.html)
- Lisle, R.; y Lesión, P. 2002. *Técnicas de proyección estereográfica para geólogos e ingenieros civiles, 2da. edición*.
- Osinergmin. 2017. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas*. Magdalena del Mar – Lima - Perú: Edición INVERSIONES IAKOB S.A.C.

- Padilla, R. 2021. *Geología estructural: Métodos modernos*. México: Universidad Nacional autónoma de México
- Paredes, G. 2019. *Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera el arbolito – Juliaca (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11799>
- Ministerio de vivienda. 2019. *Norma técnica E.30 – Diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones*. 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](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf)
- Piérola, D. 2017. *Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión distrito de Baños del Inca – Cajamarca 2015 (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de <https://1library.co/document/yev6dj1z-optimizacion-minado-cantera-caliza-union-distrito-banos-cajamarca.html>
- Puell, F., Arenillas, M.; y De La Puente, P. 2004. *La linealización del criterio de hoek-brown en el análisis de la estabilidad de taludes en roca*. Dialnet: Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, ISSN 0034-8619, N°. 3446, 2004. págs. 37-44. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=937330>
- Ramírez, P.; y Alejano, L. 2004. *Fundamentos de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Recuperado de [https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA\\_DE\\_ROCAS\\_1.pdf](https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf)
- Rodríguez, J. 2019. *Estudio geotécnico para tajo, proyecto Coroccohuayco - Cuzco – Perú (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Universidad del Perú, Decana de América. Recuperado de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10418>
- Rodríguez, R. 2016. *Método de investigación geológico - geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamiento zona Ronquillo – Corisorgona (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Universidad del Perú, Decana de América.

- Senamhi. 2022. *Datos hidrometeorológicos en Cajamarca: Estación San Bambamarca*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>
- Terán, D. 2022. *Evaluación geotécnica y diseño del tajo Esmael de la Empresa Cal plus, concesión Colquirrumi 49-C. Distrito, provincia de Hualgayoc – Cajamarca (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Vallejo, C. 2011. *Aplicaciones del Índice GSI para el Mapeo Geomecánico y la definición del Sosténimiento de labores Mineras subterráneas*. XI Congreso Peruano de Geología. Lima – Perú.
- 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. Recuperado de <https://www.google.com/search?q=Viabilidad+de+la+extracci%C3%B3n+de+carbones+a+cielo+abierto&oq=Viabilidad+de+la+extracci%C3%B3n+de+carbones+a+cielo+abierto&aqs=chrome..69i57.454j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- 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**

**ANEXOS A**  
**AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA**



**ANEXOS B**  
**ESTACIONES GEOMECÁNICAS**

Cuadro 5.1. Registro geológico-geotécnico. Estación geotécnica E-1.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO |                            |            |              | COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA |   |                               |   |                      |  |                 |             |           |      |              |                |              |               |            |                                    |                              | BENIAWSKY RMR (1989)<br>Superficie |  |   |
|-------------------------------|----------------------------|------------|--------------|---|---|-------------------------------|---|----------------------|--|-----------------|-------------|-----------|------|--------------|----------------|--------------|---------------|------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|---|
| E-1                           |                            |            |              | TAJO DE EXPLOTACIÓN - CALERA MV S.R.L.  |   |                               |   |                      |  |                 |             |           |      |              |                |              |               |            |                                    |                              |                                    |  |   |
| CÓDIGO                        | Vilmer Cesar López Arévalo |            |              |   |   |                               |   |                      |  |                 |             |           |      |              |                |              |               |            |                                    |                              |                                    |  |   |
| RESPONSABLE                   | WGS 84 ZONA 17S            |            |              |   |   |                               |   |                      |  |                 |             |           |      |              |                |              |               |            |                                    |                              |                                    |  |   |
| SISTEMA                       | EJECUTADO POR              |            |              | FECHA   |   |                               |   |                      |  |                 |             |           |      |              |                |              |               |            |                                    |                              |                                    |  |   |
|                               |                            |            |              | 8/06/2023   |   |                               |   |                      |  |                 |             |           |      |              |                |              |               |            |                                    |                              |                                    |  |   |
| DIS. Nro                      | DATA GPS                   |            |              | MACIZO ROCOSO   |   |                               |   |                      | PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS                         |                 |             |           |      |              |                |              |               |            |                                    |                              |                                    |  |   |
|                               | ESTE (m.)                  | NORTE (m.) | COTA (msnm.) | LITOLOGÍA FORMAC.   | TIPOS   |                               |   | RESIST. COMP. UNIAJ. | RQD TRAMO  |                 | ORIENTACIÓN |           |      | ESPACIADO(m) |                | PERSIST. (m) | ABERTURA (mm) | RUGOS.     | RELLENO                            |                              | ALTERAC. METEOR.                   | AGUA                                     | CALIDAD DE INFORMACIÓN  |
|                               |                            |            |              |   | METEORIZACIÓN   | GRADO FRACT.                  | GSJ   |                      | E=Estratificada<br>D=Diaclasa  | ND              | 22          | DIRECCIÓN |      |              | 1=>2           | 1=<1         | 1= Nada       | 1=Muy Rug. | 1=Arcilloso                        | 1=Ninguna                    | 1=Inalterada                       | 1=Seco                                   | 1=Lec. Real   |
|                               |                            |            |              |   | 1=Fresco<br>2=Lev. Met.<br>3=Mod<br>4=Alt. Met.<br>5=Compl. | 1=Alto<br>2=Mediano<br>3=Bajo | 1=Bloq-Regul.<br>2=Bloq-Irreg.<br>3=Bloq-Capas<br>4=Fract-Intens<br>Agregar MB,B,M,P,MP |                      | Fn=F.Normal<br>Fi=F.Inversa<br>Fd=F.Directa<br>SE=Microfalla<br>C=Contacto | σ <sub>ci</sub> | L           | 2.80      | 7.86 | 3 Golp.      | γ <sub>p</sub> | Z/R          | DIP           | DD         | 3=0.6-0.2<br>4=0.2-0.06<br>5=<0.06 | 3= 3-10<br>4= 10-20<br>5=>20 | 3= 0.1-1<br>4= 1-5<br>5=>5         | 3=Lig. Rug.<br>4=Ondulad.-lis<br>5=Suave | 3=Calcita<br>4=Óxidos<br>5=Roca Tritur.<br>6=Bx<br>7=Panizo<br>8=Veta<br>9=Epsanita<br>10=Aragonita<br>11=Pirrolusita |
|                               |                            |            |              |   |   |                               |   |                      |  |                 |             |           |      |              |                |              |               |            |                                    |                              |                                    |  |   |
| 1                             | 770003.00                  | 9255485.00 | 2992.00      | Ks-Ca   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R5 ( MPa)  | 81.39           | 65          | 19        | 155  | 3            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 2                             |                            |            |              | Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando blocosidades tabulares.                     | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 56          | 21        | 146  | 4            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 3                             |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 68          | 18        | 158  | 4            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 4                             |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 59          | 16        | 149  | 3            | 1              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 5                             |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 62          | 12        | 152  | 4            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 6                             |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 65          | 18        | 155  | 3            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 7                             |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 59          | 15        | 149  | 3            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 8                             |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 59          | 17        | 149  | 3            | 1              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 9                             |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 64          | 13        | 154  | 3            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 2                                  | 1  |   |
| 10                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 62          | 16        | 152  | 4            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 11                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 58          | 13        | 148  | 3            | 1              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 12                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 57          | 18        | 147  | 3            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 13                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | E                    | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 61          | 17        | 151  | 3            | 2              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 14                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 255         | 60        | 345  | 1            | 4              | 5            | 2             | 3          | 2                                  | 1                            | 1                                  | 1  |   |
| 15                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 246         | 58        | 336  | 3            | 4              | 5            | 3             | 3          | 2                                  | 1                            | 1                                  | 1  |   |
| 16                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 251         | 54        | 341  | 2            | 4              | 5            | 2             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 17                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 248         | 50        | 338  | 2            | 4              | 5            | 2             | 3          | 2                                  | 2                            | 1                                  | 1  |   |
| 18                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 243         | 57        | 333  | 1            | 4              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 19                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 253         | 52        | 343  | 2            | 4              | 5            | 2             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 20                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 241         | 55        | 331  | 1            | 4              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 21                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 250         | 56        | 340  | 2            | 4              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 22                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 249         | 49        | 339  | 2            | 4              | 5            | 2             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 23                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 244         | 51        | 334  | 3            | 4              | 5            | 3             | 3          | 2                                  | 1                            | 1                                  | 1  |   |
| 24                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 251         | 48        | 341  | 1            | 4              | 5            | 2             | 1          | 5                                  | 5                            | 2                                  | 1  |   |
| 25                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 253         | 55        | 343  | 1            | 4              | 5            | 2             | 3          | 2                                  | 1                            | 1                                  | 1  |   |
| 26                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 251         | 57        | 341  | 2            | 4              | 5            | 2             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 27                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 243         | 53        | 333  | 1            | 4              | 5            | 2             | 3          | 2                                  | 2                            | 1                                  | 1  |   |
| 28                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 254         | 49        | 344  | 3            | 4              | 5            | 2             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 29                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 246         | 51        | 336  | 3            | 4              | 5            | 2             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 30                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-1               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 243         | 59        | 333  | 3            | 4              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 31                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 325         | 64        | 55   | 2            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 32                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 322         | 61        | 52   | 4            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 33                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 320         | 60        | 50   | 3            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 34                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 318         | 64        | 48   | 3            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 35                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 315         | 52        | 45   | 2            | 1              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 36                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 321         | 64        | 51   | 3            | 2              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 37                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 320         | 51        | 50   | 2            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 38                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 318         | 54        | 48   | 2            | 2              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 39                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 323         | 62        | 53   | 2            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 40                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 321         | 53        | 51   | 3            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 2                                  | 1  |   |
| 41                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 326         | 59        | 56   | 3            | 2              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 42                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 320         | 60        | 50   | 2            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
| 43                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 316         | 64        | 46   | 2            | 1              | 5            | 3             | -          | -                                  | -                            | -                                  | 1  |   |
| 44                            |                            |            |              |   | 1   | 3                             | 1   | Disc-2               | R4 (95 MPa)  | 81.39           | 324         | 57        | 54   | 2            | 1              | 5            | 3             | 1          | 5                                  | 5                            | 1                                  | 1  |   |
|                               |                            |            |              |   |   |                               |   | Talud                |  |                 | 312         | 80        | 42   |              |                |              |               |            |                                    |                              |                                    |  |   |

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodríguez - 2017

Cuadro 5.1. Registro geológico-geotécnico. Estación geotécnica E-2.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO |                            |   |  | COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA |                |              |             |                               |  |                 |                |             |            |            |              |      |              |               |        |         | BENIAWSKY RMR (1989)<br>Superficie |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
|-------------------------------|----------------------------|---|--|---|----------------|--------------|-------------|-------------------------------|--|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|--------------|------|--------------|---------------|--------|---------|------------------------------------|------------------|------|------------------------|-------------|-----------|--------------|--------|-------------|
| CÓDIGO                        | E-2                        |   |  | TAJO DE EXPLOTACIÓN - CALERA MV S.R.L.  |                |              |             |                               |  |                 |                |             |            |            |              |      |              |               |        |         |                                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
| RESPONSABLE                   | Vilmer Cesar López Arévalo |   |  |   |                |              |             |                               |  |                 |                |             |            |            |              |      |              |               |        |         |                                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
| SISTEMA                       | WGS                        | 84                                      | ZONA 17S                                   | EJECUTADO POR Vilmer Cesar López Arévalo  |                |              |             |                               |  |                 |                |             |            |            |              |      |              |               |        |         | FECHA 8/06/2023                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
| DIS. Nro                      | DATA GPS                   |   |  | MACIZO ROCOSO   |                |              |             |                               | PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS |                 |                |             |            |            |              |      |              |               |        |         |                                    | ALTERAC. METEOR. | AGUA | CALIDAD DE INFORMACIÓN |             |           |              |        |             |
|                               | ESTE (m.)                  | NORTE (m.)                              | COTA (msnm.)                               | LITOLÓGIA FORMAC.   | METEORIZACIÓN  | GRADO FRACT. | GSI         | E=Estratificada<br>D=Diaclasa | RESIST. COMP. UNIAX.                               | RQD TRAMO       |                | ORIENTACIÓN |            |            | ESPACIADO(m) |      | PERSIST. (m) | ABERTURA (mm) | RUGOS. | RELLENO |                                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
|                               |                            |   |  |   |                |              |             |                               |  | ND              | 18             | DIRECCIÓN   |            |            | 1=>2         | 1=<1 |              |               |        | 1= Nada | 1=Muy Rug.                         |                  |      |                        | 1=Arcilloso | 1=Ninguna | 1=Inalterada | 1=Seco | 1=Lec. Real |
|                               |                            |   |  |   |                |              |             |                               |  |                 |                | Z/R         | DIP        | DD         |              |      |              |               |        |         |                                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
| 3=Mod                         | 3=Bajo                     | 3=Bloq-Capas                            | Fd=F. Directa                              | Prom. Golpes  | λ              | 6.67         | 4= 0.2-0.06 | 4= 10-20                      | 4= 1-5   | 4=Ondulad. lis. | 4=Óxidos       | 4=Suave<5mm | 4=Muy Alt. | 4=Goteando |              |      |              |               |        |         |                                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
| 4=Alt. Met.                   | 5=Compl.                   | 4=Fract-Intens<br>Agrega<br>MB,B,M,P,MP | mf=Microfalla<br>SE=Sobrees.<br>C=Contacto | 3 Golp.   | γ <sub>p</sub> |              | 5=<0.06     | 5=>20                         | 5=>5   | 5=Suave         | 5=Roca Tritur. | 5=Suave>5mm | 5=Descomp. | 5=Flujo    |              |      |              |               |        |         |                                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
| 5=Compl.                      |                            |   |  |   |                |              |             |                               |  |                 |                |             |            |            |              |      |              |               |        |         |                                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |
| 1                             | 769968.00                  | 9255483.00                              | 3000.00                                    | Ks-Ca   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 54             | 22          | 144        | 4          | 4            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 2                             |                            |   |  | Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando bloccosidades tabulares.                    | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 60             | 18          | 150        | 3          | 4            | 3    | 4            | 1             | 5      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 3                             |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 63             | 22          | 153        | 3          | 5            | 4    | 5            | 3             | 2      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 4                             |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 59             | 19          | 149        | 4          | 4            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 5                             |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 62             | 20          | 152        | 3          | 5            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 6                             |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 61             | 17          | 151        | 4          | 4            | 3    | 5            | 3             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 7                             |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 72             | 23          | 162        | 3          | 4            | 3    | 4            | 3             | 2      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 8                             |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 63             | 19          | 153        | 4          | 4            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 9                             |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 58             | 16          | 148        | 4          | 5            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 10                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 60             | 20          | 150        | 3          | 4            | 3    | 5            | 3             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 11                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 71             | 24          | 161        | 4          | 5            | 3    | 4            | 3             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 12                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 63             | 16          | 153        | 3          | 4            | 4    | 4            | 3             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 13                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 62             | 13          | 152        | 4          | 4            | 4    | 5            | 3             | 2      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 14                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 53             | 20          | 143        | 3          | 4            | 3    | 4            | 3             | 2      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 15                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 58             | 17          | 148        | 3          | 5            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 16                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 60             | 17          | 150        | 3          | 4            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 17                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | E                             | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 55             | 22          | 145        | 4          | 5            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 18                            |                            |   |  | Ks-Ca   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 288            | 72          | 18         | 4          | 1            | 5    | 5            | 1             | 5      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 19                            |                            |   |  | Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando bloccosidades tabulares.                    | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 272            | 69          | 2          | 3          | 2            | 4    | 4            | 1             | 5      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 20                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 281            | 58          | 11         | 3          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 21                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 292            | 62          | 22         | 3          | 1            | 4    | 4            | 4             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 22                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 283            | 71          | 13         | 3          | 2            | 5    | 5            | 3             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 23                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 283            | 64          | 13         | 4          | 1            | 4    | 5            | 3             | 2      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 24                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 278            | 68          | 8          | 3          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 25                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 280            | 55          | 10         | 3          | 1            | 4    | 4            | 1             | 5      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 26                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 280            | 59          | 10         | 3          | 2            | 4    | 5            | 1             | 5      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 27                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 273            | 67          | 3          | 4          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 28                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 276            | 68          | 6          | 3          | 1            | 3    | 4            | 1             | 5      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 29                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 286            | 57          | 16         | 3          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 30                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-1                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 275            | 53          | 5          | 4          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 31                            |                            |   |  | Ks-Ca   | 1              | 3            | 1           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 240            | 40          | 330        | 3          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 32                            |                            |   |  | Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando bloccosidades tabulares.                    | 1              | 3            | 1           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 231            | 39          | 321        | 4          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 33                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 238            | 45          | 328        | 3          | 1            | 2    | 5            | 4             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 34                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 1           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 227            | 37          | 317        | 3          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 35                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 239            | 40          | 329        | 3          | 1            | 2    | 5            | 4             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 36                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 226            | 31          | 316        | 3          | 1            | 3    | 5            | 4             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 37                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 229            | 28          | 319        | 3          | 1            | 3    | 5            | 4             | 2      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 38                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 237            | 38          | 327        | 3          | 1            | 2    | 5            | 4             | 2      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 39                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 230            | 42          | 320        | 3          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 40                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 228            | 37          | 318        | 4          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 41                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 226            | 29          | 316        | 4          | 1            | 2    | 5            | 1             | 5      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 42                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 238            | 41          | 328        | 4          | 1            | 3    | 4            | 1             | 5      | 1       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 43                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 234            | 32          | 324        | 4          | 1            | 5    | 5            | 1             | 5      | 2       | 1                                  | 1                | 1    | 1                      |             |           |              |        |             |
| 44                            |                            |   |  |   | 1              | 3            | 2           | Disc-2                        | R5 (110 MPa)                                       | 85.57           | 232            | 39          | 322        | 4          | 1            | 1    | -            | -             | -      | -       | -                                  | -                | -    | 1                      |             |           |              |        |             |
|                               |                            |   |  | Talud   |                |              |             |                               |  |                 | 30             | 75          | 120        |            |              |      |              |               |        |         |                                    |                  |      |                        |             |           |              |        |             |

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodríguez - 2017

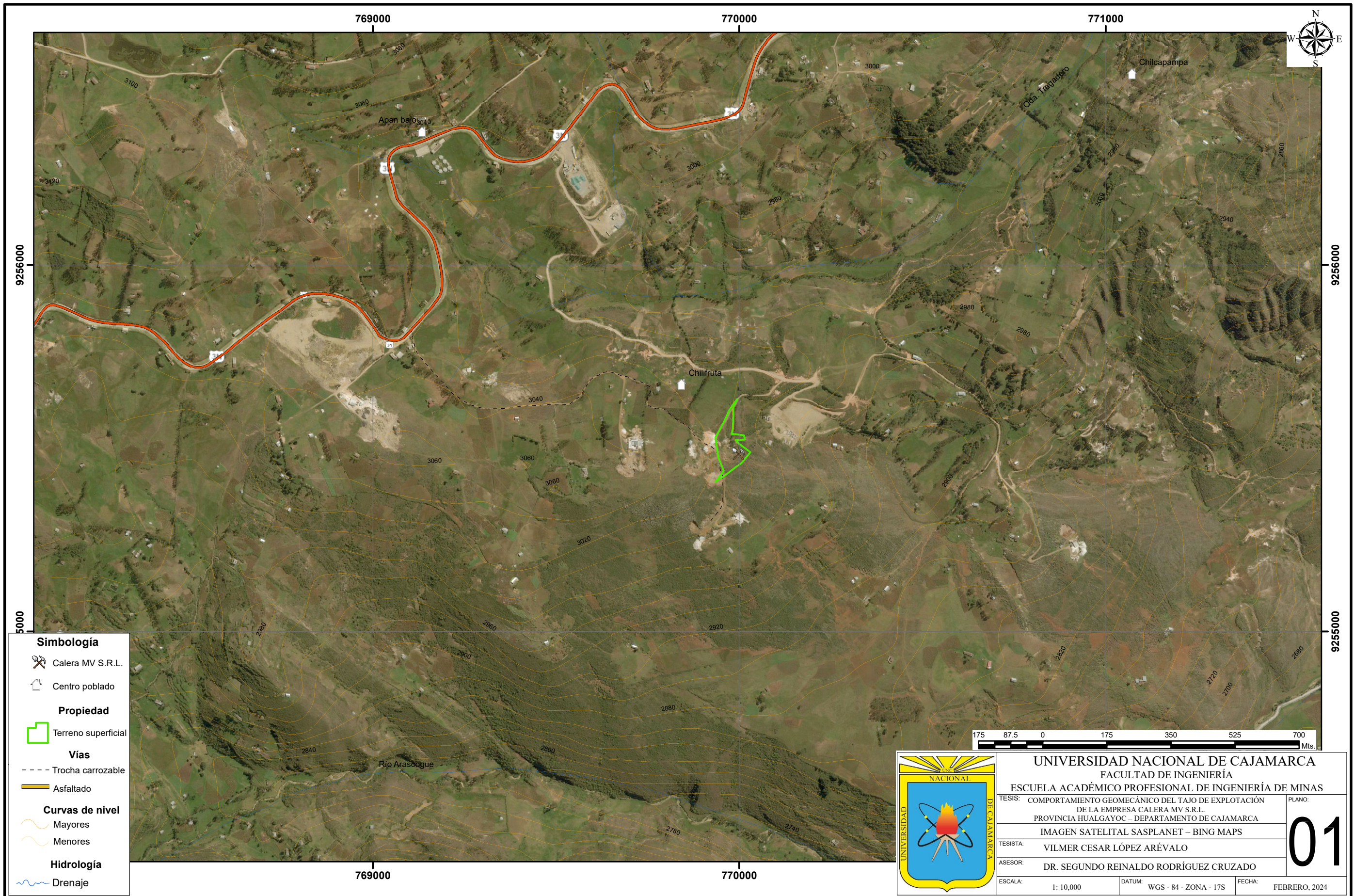
Cuadro 5.1. Registro geológico-geotécnico. Estación geotécnica E-3.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO |                            |                |                     | COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA |               |                |               |              |                 |              |                      |      |           |                |             |            |         |              |         |              |               | BENIAWSKY RMR (1989)<br>Superficie |              |        |                  |           |                        |  |  |
|-------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------|---|---------------|----------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|----------------------|------|-----------|----------------|-------------|------------|---------|--------------|---------|--------------|---------------|------------------------------------|--------------|--------|------------------|-----------|------------------------|--|--|
| E-3                           |                            |                |                     | TAJO DE EXPLOTACIÓN - CALERA MV S.R.L.  |               |                |               |              |                 |              |                      |      |           |                |             |            |         |              |         |              |               |                                    |              |        |                  |           |                        |  |  |
| CÓDIGO                        | Vilmer Cesar López Arévalo |                |                     |   |               |                |               |              |                 |              |                      |      |           |                |             |            |         |              |         |              |               |                                    |              |        |                  |           |                        |  |  |
| RESPONSABLE                   | WGS 84 ZONA 17S            |                |                     | EJECUTADO POR   |               |                |               |              |                 |              |                      |      |           |                |             |            |         |              |         |              |               |                                    |              |        |                  |           |                        |  |  |
|                               |                            |                |                     | Vilmer Cesar López Arévalo  |               |                |               |              |                 |              |                      |      |           |                |             |            |         |              |         |              |               | FECHA                              |              |        |                  | 8/06/2023 |                        |  |  |
| DIS. Nro                      | DATA GPS                   |                |                     | MACIZO ROCOSO   |               |                |               |              | TIPOS           |              | RESIST. COMP. UNIAX. |      | 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 | D=Diaclasa   | σ <sub>ci</sub>      | ND   | 20        | DIRECCIÓN      |             |            | 1=>2    | 1=<1         | 1= Nada | 1=Muy Rug.   | 1=Arcilloso   | 1=Ninguna                          | 1=Inalterada | 1=Seco | 1=Lec. Real      |           |                        |  |  |
|                               |                            |                |                     |   | 1=Fresco      | 1=Alto         | 1=Bloq-Regul. | Fn=F.Normal  | Fm=F.Microfalla | L            | 2.30                 |      |           |                |             |            |         |              |         |              |               |                                    |              |        |                  |           |                        |  |  |
|                               |                            |                |                     |   | 2=Lev. Met.   | 2=Mediano      | 2=Bloq-Irreg. | Fi=F.Inversa | Fm=F.Microfalla | Prom. Golpes | λ                    | 8.70 |           |                |             |            |         |              |         |              |               |                                    |              |        |                  |           |                        |  |  |
| 3=Mod                         | 3=Bajo                     | 3=Bloq-Capas   | Fd=F.Directa        | C=Contacto  | 3 Golp.       | γ <sub>p</sub> | Z/R           | DIP          | DD              | 5=<0.06      | 5=>20                | 5=>5 | 5=Suave   | 5=Roca Tritur. | 5=Suave>5mm | 5=Descomp. | 5=Flujo |              |         |              |               |                                    |              |        |                  |           |                        |  |  |
| 4=Alt. Met.                   | 5=Compl.                   | 4=Fract-Intens | Agregar MB,B,M,P,MP | SE=Sobrees.   |               |                |               |              |                 |              |                      |      |           |                |             |            |         |              |         |              |               |                                    |              |        |                  |           |                        |  |  |
| 1                             | 769986.00                  | 9255483.00     | 2996.00             | Ks-Ca   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 61                   | 23   | 151       | 3              | 1           | 4          | 4       | 3            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 2                             |                            |                |                     | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies frescas, formando bloques tabulares.   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 60                   | 19   | 150       | 3              | 1           | 5          | 4       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 3                             |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 63                   | 26   | 153       | 3              | 2           | 4          | 5       | 3            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 4                             |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 65                   | 14   | 155       | 3              | 1           | 5          | 4       | 11           | 4       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 5                             |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 67                   | 18   | 157       | 4              | 1           | 5          | 5       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 6                             |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 70                   | 22   | 160       | 3              | 1           | 4          | 5       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 7                             |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 59                   | 20   | 149       | 3              | 1           | 4          | 4       | 3            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 8                             |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 65                   | 17   | 155       | 3              | 1           | 4          | 4       | 3            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 9                             |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 63                   | 19   | 153       | 4              | 1           | 5          | 4       | 3            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 10                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 62                   | 21   | 152       | 4              | 2           | 3          | 4       | 4            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 11                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 62                   | 26   | 152       | 3              | 1           | 3          | 4       | 4            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 12                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 68                   | 18   | 158       | 4              | 2           | 4          | 5       | 4            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 13                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 71                   | 22   | 161       | 3              | 1           | 3          | 5       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 14                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 65                   | 24   | 155       | 3              | 1           | 5          | 4       | 3            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 15                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 60                   | 15   | 150       | 3              | 1           | 4          | 5       | 1            | 5       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 16                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 57                   | 17   | 147       | 4              | 1           | 4          | 5       | 3            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 17                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | E            | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 52                   | 22   | 142       | 3              | 1           | 3          | 3       | 4            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 18                            |                            |                |                     | Ks-Ca   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 252                  | 50   | 342       | 1              | 4           | 4          | 4       | 1            | 5       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 19                            |                            |                |                     | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies frescas, formando bloques tabulares.   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 250                  | 48   | 340       | 2              | 4           | 3          | 4       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 20                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 243                  | 43   | 333       | 1              | 4           | 1          | 5       | 3            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 21                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 247                  | 52   | 337       | 2              | 4           | 1          | 4       | 4            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 22                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 255                  | 45   | 345       | 1              | 4           | 3          | 5       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 23                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 253                  | 42   | 343       | 2              | 4           | 4          | 4       | 1            | 5       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 24                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 241                  | 39   | 331       | 1              | 4           | 4          | 5       | 4            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 25                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 250                  | 41   | 340       | 2              | 4           | 1          | 4       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 26                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 249                  | 36   | 339       | 2              | 4           | 3          | 5       | 3            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 27                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 244                  | 52   | 334       | 1              | 4           | 1          | 5       | 4            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 28                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 251                  | 45   | 341       | 1              | 4           | 3          | 5       | 4            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 29                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 253                  | 55   | 343       | 1              | 4           | 3          | 5       | 3            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 30                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 251                  | 46   | 341       | 2              | 4           | 1          | 5       | 11           | 4       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 31                            |                            |                |                     | Ks-Ca   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 249                  | 42   | 339       | 1              | 4           | 1          | 5       | 3            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 32                            |                            |                |                     | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies frescas, formando bloques tabulares.   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 254                  | 56   | 344       | 1              | 4           | 3          | 5       | 1            | 5       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 33                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 253                  | 50   | 343       | 2              | 4           | 3          | 5       | 1            | 5       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 34                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-1       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 240                  | 53   | 330       | 1              | 4           | 3          | 5       | 1            | 5       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 35                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 322                  | 72   | 52        | 4              | 1           | 1          | 4       | 1            | 5       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 36                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 326                  | 70   | 56        | 3              | 1           | 4          | 4       | 4            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 37                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 317                  | 65   | 47        | 4              | 1           | 1          | 4       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 38                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 320                  | 63   | 50        | 4              | 1           | 3          | 4       | 11           | 4       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 39                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 325                  | 69   | 55        | 2              | 1           | 4          | 5       | 1            | 5       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 40                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 329                  | 58   | 59        | 4              | 1           | 2          | 4       | 1            | 5       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 41                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 330                  | 56   | 60        | 3              | 1           | 5          | 5       | 4            | 2       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 42                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 310                  | 54   | 40        | 2              | 1           | 3          | 4       | 3            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 43                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 318                  | 60   | 48        | 3              | 1           | 3          | 4       | 3            | 2       | 1            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
| 44                            |                            |                |                     |   | 1             | 3              | 1             | Disc-2       | R5 (125 MPa)    | 78.36        | 329                  | 54   | 59        | 3              | 1           | 1          | 5       | 11           | 4       | 2            | 1             | 1                                  | 1            |        |                  |           |                        |  |  |
|                               |                            |                |                     | Talud   |               |                |               |              |                 |              | 325                  | 72   | 55        |                |             |            |         |              |         |              |               |                                    |              |        |                  |           |                        |  |  |

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodríguez - 2017

**ANEXOS C**  
**PLANOS**

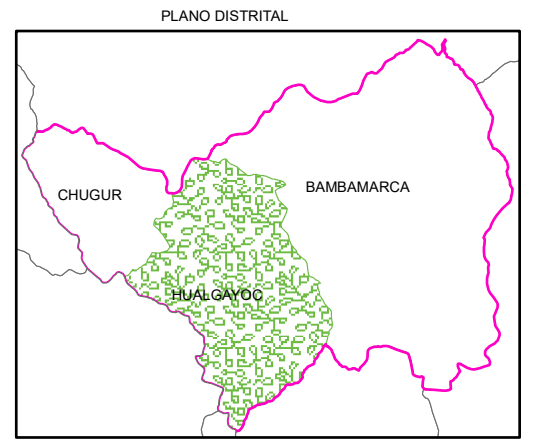
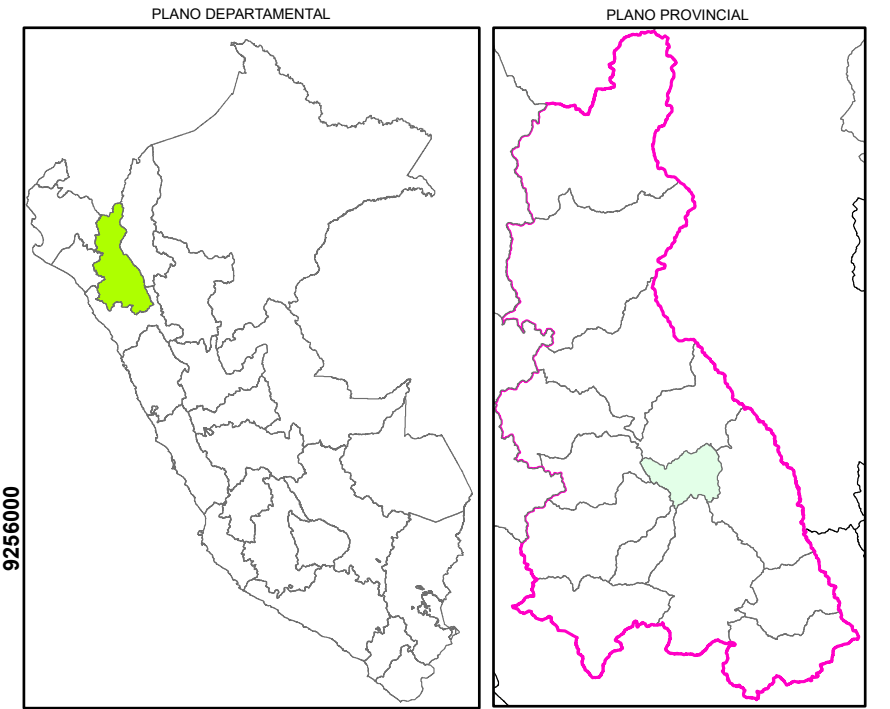
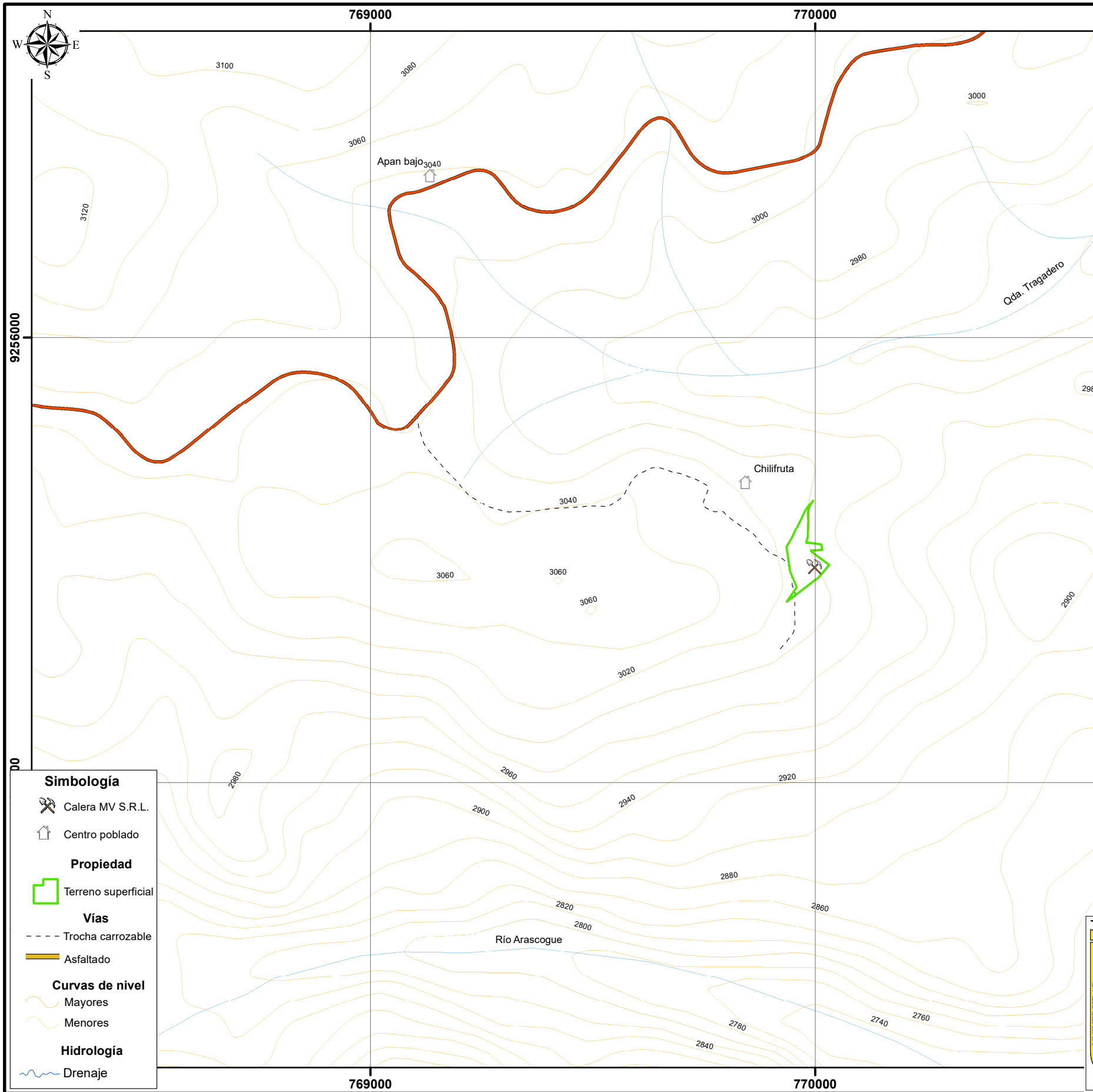


**Simbología**

- Calera MV S.R.L.
- Centro poblado
- Propiedad**
- Terreno superficial
- Vías**
- Trocha carrozable
- Asfaltado
- Curvas de nivel**
- Mayores
- Menores
- Hidrología**
- Drenaje



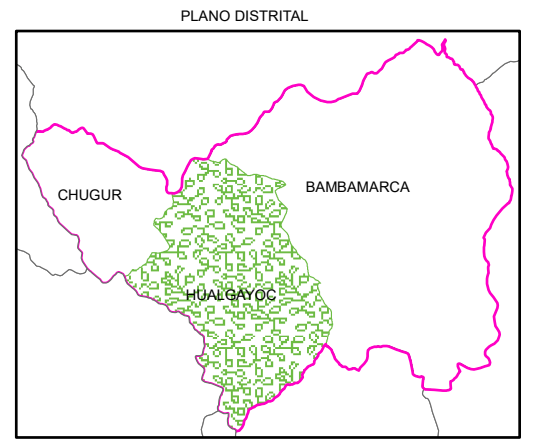
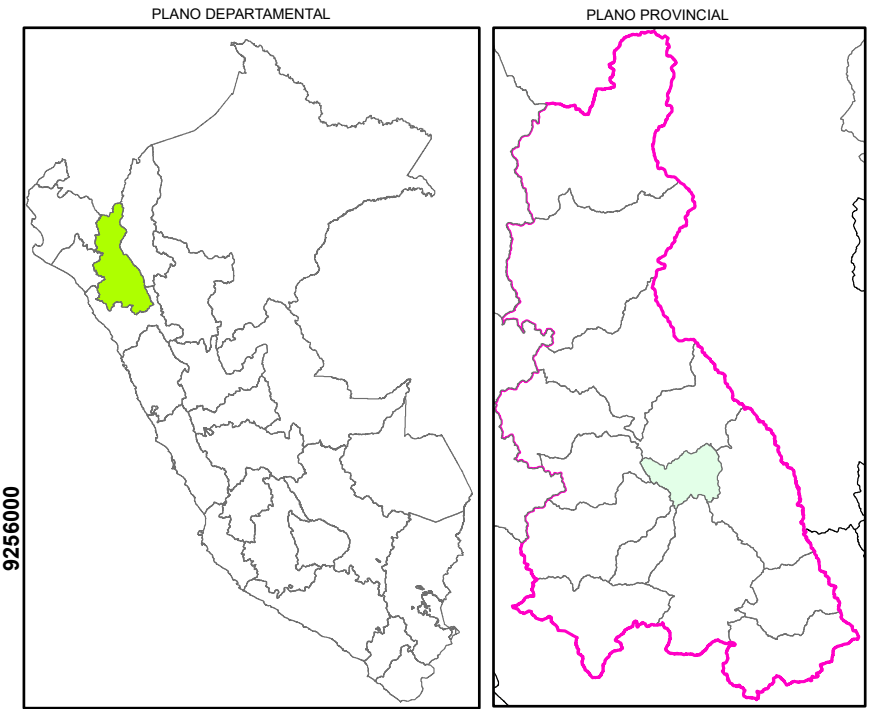
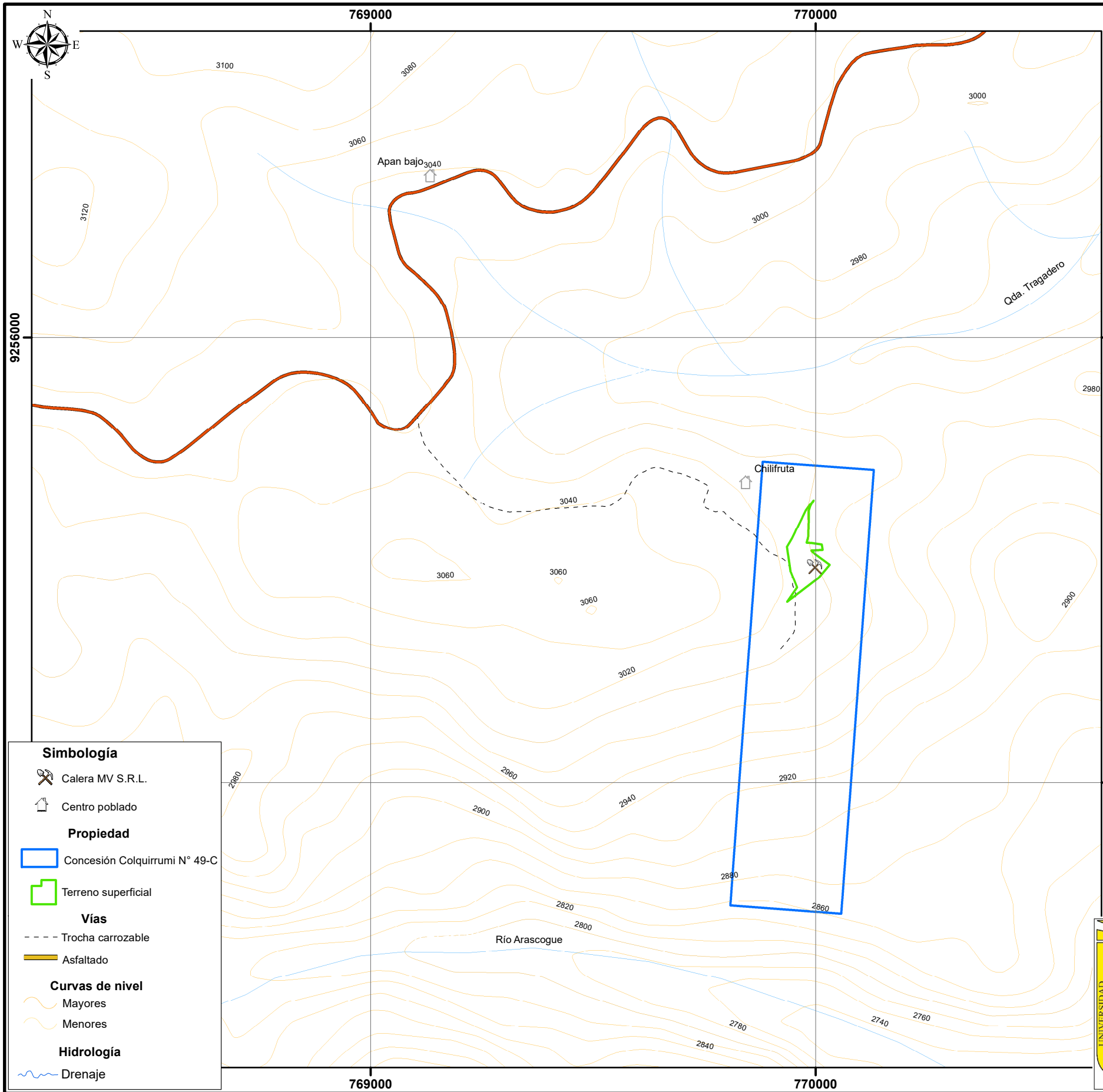
|  |                              |                      |
|--|------------------------------|----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  |                              |                      |
| FACULTAD DE INGENIERÍA   |                              |                      |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS   |                              |                      |
| TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA |                              | PLANO:               |
| IMAGEN SATELITAL SASPLANET – BING MAPS   |                              | <b>01</b>            |
| TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO  |                              |                      |
| ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO   |                              |                      |
| ESCALA: 1: 10,000  | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: FEBRERO, 2024 |



- Simbología**
- Calera MV S.R.L.
  - Centro poblado
  - Propiedad**
  - Terreno superficial
  - Vías**
  - Trocha carrozable
  - Asfaltado
  - Curvas de nivel**
  - Mayores
  - Menores
  - Hidrología**
  - Drenaje



|  |                              |                      |
|--|------------------------------|----------------------|
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>   |                              |                      |
| FACULTAD DE INGENIERÍA   |                              |                      |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS   |                              |                      |
| TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA |                              | PLANO:               |
| MDE (MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES)  |                              | <b>02</b>            |
| TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO  |                              |                      |
| ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO   |                              |                      |
| ESCALA: 1: 10,000  | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: FEBRERO, 2024 |



**Simbología**

- Calera MV S.R.L.
- Centro poblado

**Propiedad**

- Concesión Colquirrumi N° 49-C
- Terreno superficial

**Vías**

- Trocha carrozable
- Asfaltado

**Curvas de nivel**

- Mayores
- Menores

**Hidrología**

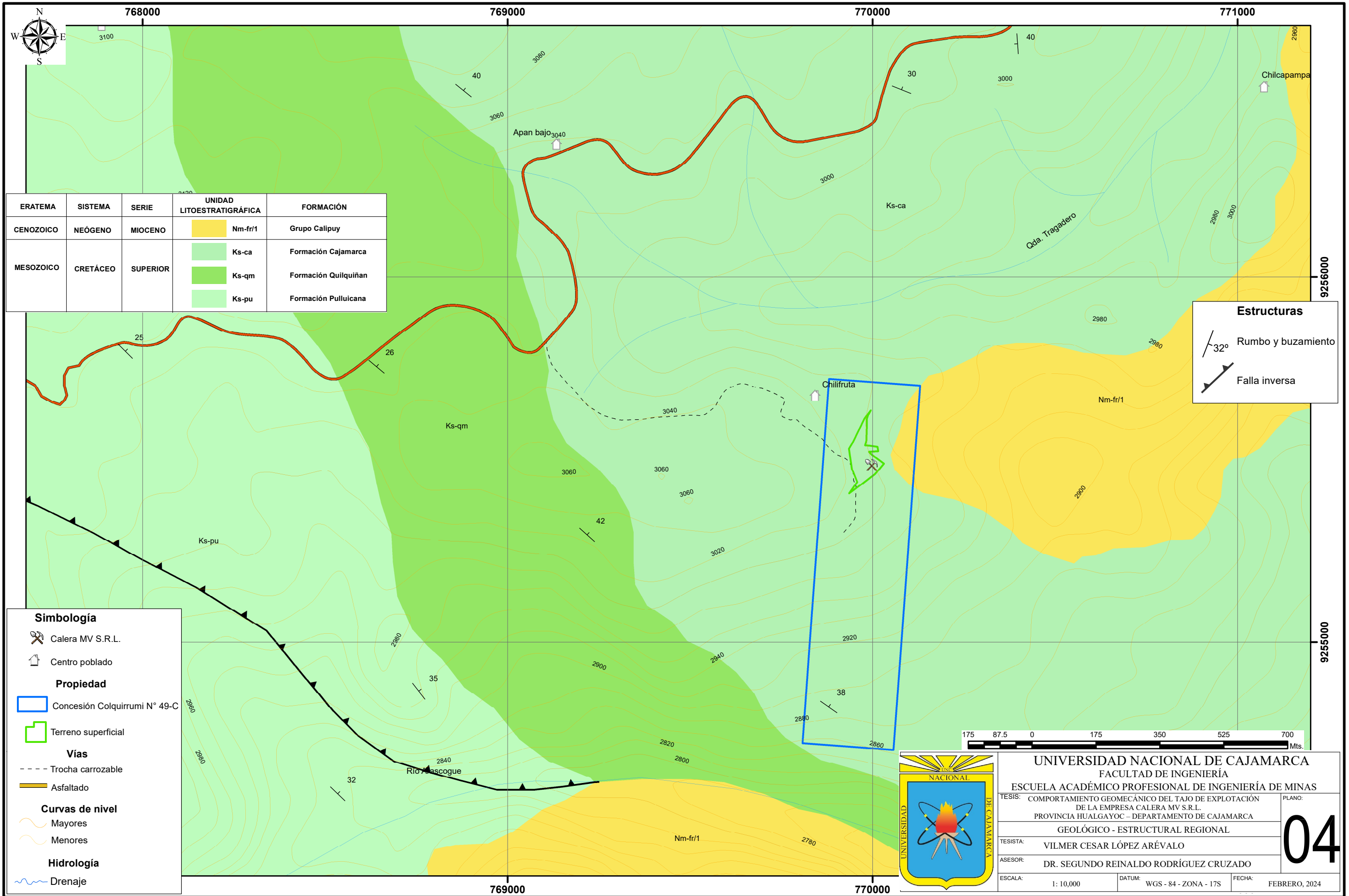
- Drenaje



|  |                              |                      |
|--|------------------------------|----------------------|
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>   |                              |                      |
| FACULTAD DE INGENIERÍA   |                              |                      |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS   |                              |                      |
| TESISTA: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA |                              |                      |
| PETITORIO MINERO   |                              |                      |
| TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO  |                              |                      |
| ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO   |                              |                      |
| ESCALA: 1: 10,000  | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: FEBRERO, 2024 |

03





| 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  |

**Estructuras**

32° Rumbo y buzamiento

Falla inversa

**Simbología**

- Calera MV S.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**

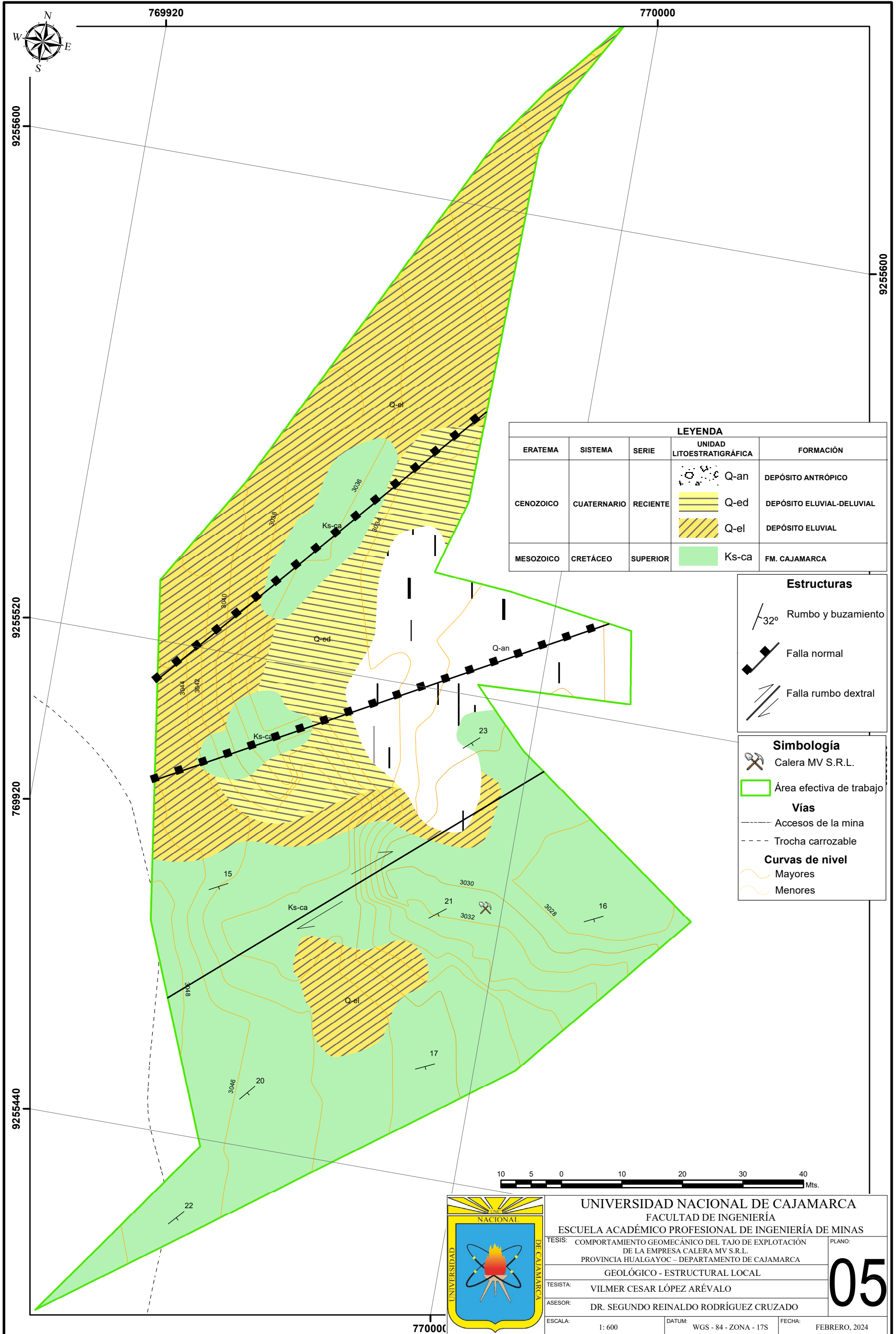
TESISTA: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

PLANO: **04**

TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO

ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

ESCALA: 1: 10,000    DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S    FECHA: FEBRERO, 2024



**LEYENDA**

| ERATEMA   | SISTEMA     | SERIE    | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | FORMACIÓN                 |
|-----------|-------------|----------|---------------------------|---------------------------|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | RECIENTE |                           | DEPÓSITO ANTRÓPICO        |
|           |             |          |                           | DEPÓSITO ELUVIAL-DELUVIAL |
|           |             |          |                           | DEPÓSITO ELUVIAL          |
| MESOZOICO | CRETÁCEO    | SUPERIOR |                           | FM. CAJAMARCA             |

**Estructuras**

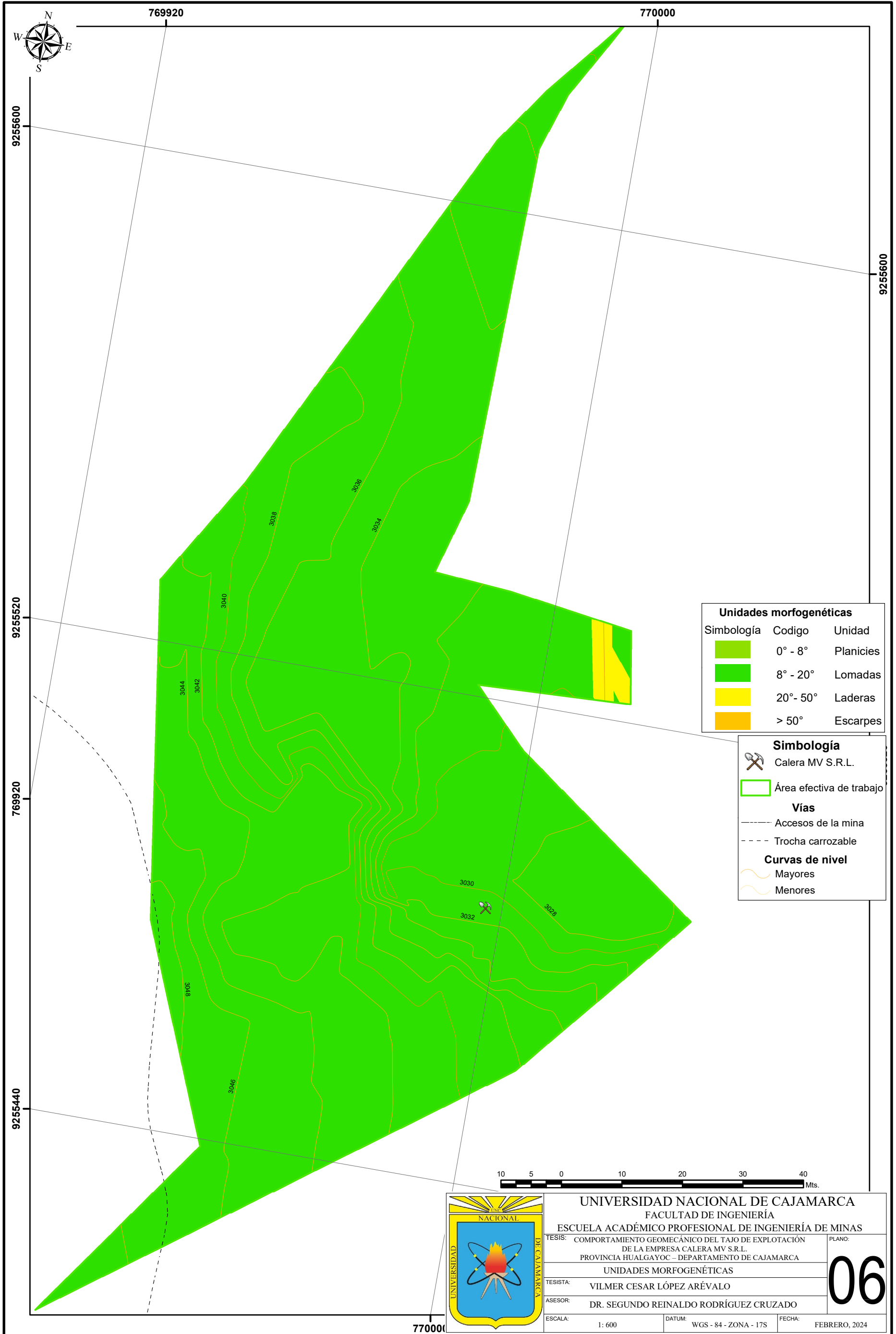
|  |                        |
|--|------------------------|
|  | 32° Rumbo y buzamiento |
|  | Falla normal           |
|  | Falla rumbo dextral    |

**Simbología**

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
|                        | Calera MV S.R.L.         |
|                        | Área efectiva de trabajo |
| <b>Vías</b>            |                          |
|                        | Accesos de la mina       |
|                        | Trocha carrozable        |
| <b>Curvas de nivel</b> |                          |
|                        | Mayores                  |
|                        | Menores                  |



|  |                              |
|--|------------------------------|
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>   |                              |
| FACULTAD DE INGENIERÍA   |                              |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS                                     |                              |
| TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. |                              |
| PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA  |                              |
| GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL  |                              |
| TESISISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO  | <b>05</b>                    |
| ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO   |                              |
| ESCALA: 1: 600   | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S |
| FECHA: FEBRERO, 2024   |                              |



**Unidades morfofenéticas**

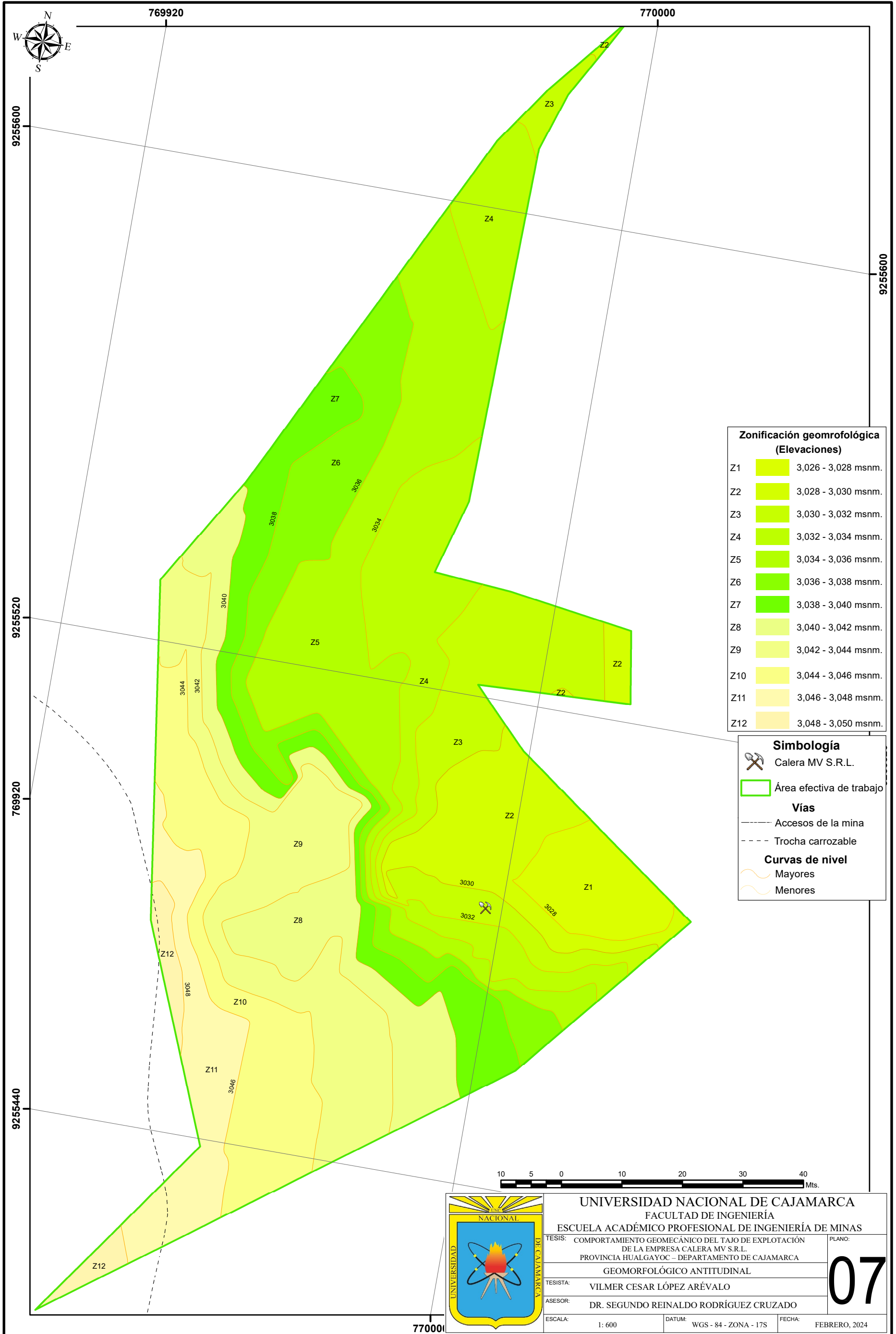
| Simbología | Codigo    | Unidad    |
|------------|-----------|-----------|
|            | 0° - 8°   | Planicies |
|            | 8° - 20°  | Lomadas   |
|            | 20° - 50° | Laderas   |
|            | > 50°     | Escarpes  |

**Simbología**

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
|                        | Calera MV S.R.L.         |
|                        | Área efectiva de trabajo |
| <b>Vías</b>            |                          |
|                        | Accesos de la mina       |
|                        | Trocha carrozable        |
| <b>Curvas de nivel</b> |                          |
|                        | Mayores                  |
|                        | Menores                  |



|  |                              |                      |
|--|------------------------------|----------------------|
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>   |                              |                      |
| FACULTAD DE INGENIERÍA   |                              |                      |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS   |                              |                      |
| TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA |                              | PLANO:               |
| UNIDADES MORFOGENÉTICAS  |                              | <b>06</b>            |
| TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO  |                              |                      |
| ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO   |                              |                      |
| ESCALA: 1: 600   | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: FEBRERO, 2024 |



**Zonificación geomorfológica (Elevaciones)**

|     |                     |
|-----|---------------------|
| Z1  | 3,026 - 3,028 msnm. |
| Z2  | 3,028 - 3,030 msnm. |
| Z3  | 3,030 - 3,032 msnm. |
| Z4  | 3,032 - 3,034 msnm. |
| Z5  | 3,034 - 3,036 msnm. |
| Z6  | 3,036 - 3,038 msnm. |
| Z7  | 3,038 - 3,040 msnm. |
| Z8  | 3,040 - 3,042 msnm. |
| Z9  | 3,042 - 3,044 msnm. |
| Z10 | 3,044 - 3,046 msnm. |
| Z11 | 3,046 - 3,048 msnm. |
| Z12 | 3,048 - 3,050 msnm. |

**Simbología**

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
|                        | Calera MV S.R.L.         |
|                        | Área efectiva de trabajo |
| <b>Vías</b>            |                          |
|                        | Accesos de la mina       |
|                        | Trocha carrozable        |
| <b>Curvas de nivel</b> |                          |
|                        | Mayores                  |
|                        | Menores                  |



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

TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

GEOMORFOLÓGICO ANTITUDINAL

TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO

ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

ESCALA: 1: 600      DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S      FECHA: FEBRERO, 2024

PLANO: **07**



769900

770000

Calidad de roca, por criterios empíricos del afloramiento rocoso de la Calera MV S.R.L.

| Estación | $\sigma_{ci}$ (MPa) | Clasificaciones empíricas |         |     |         |     |         |
|----------|---------------------|---------------------------|---------|-----|---------|-----|---------|
|          |                     | RDQ                       | Calidad | RMR | Calidad | GSI | Calidad |
| E-1      | 95                  | 81.39                     | Buena   | 68  | Buena   | 63  | Buena   |
| E-2      | 110                 | 85.57                     | Buena   | 79  | Buena   | 74  | Buena   |
| E-3      | 125                 | 78.36                     | Buena   | 83  | Buena   | 78  | Buena   |

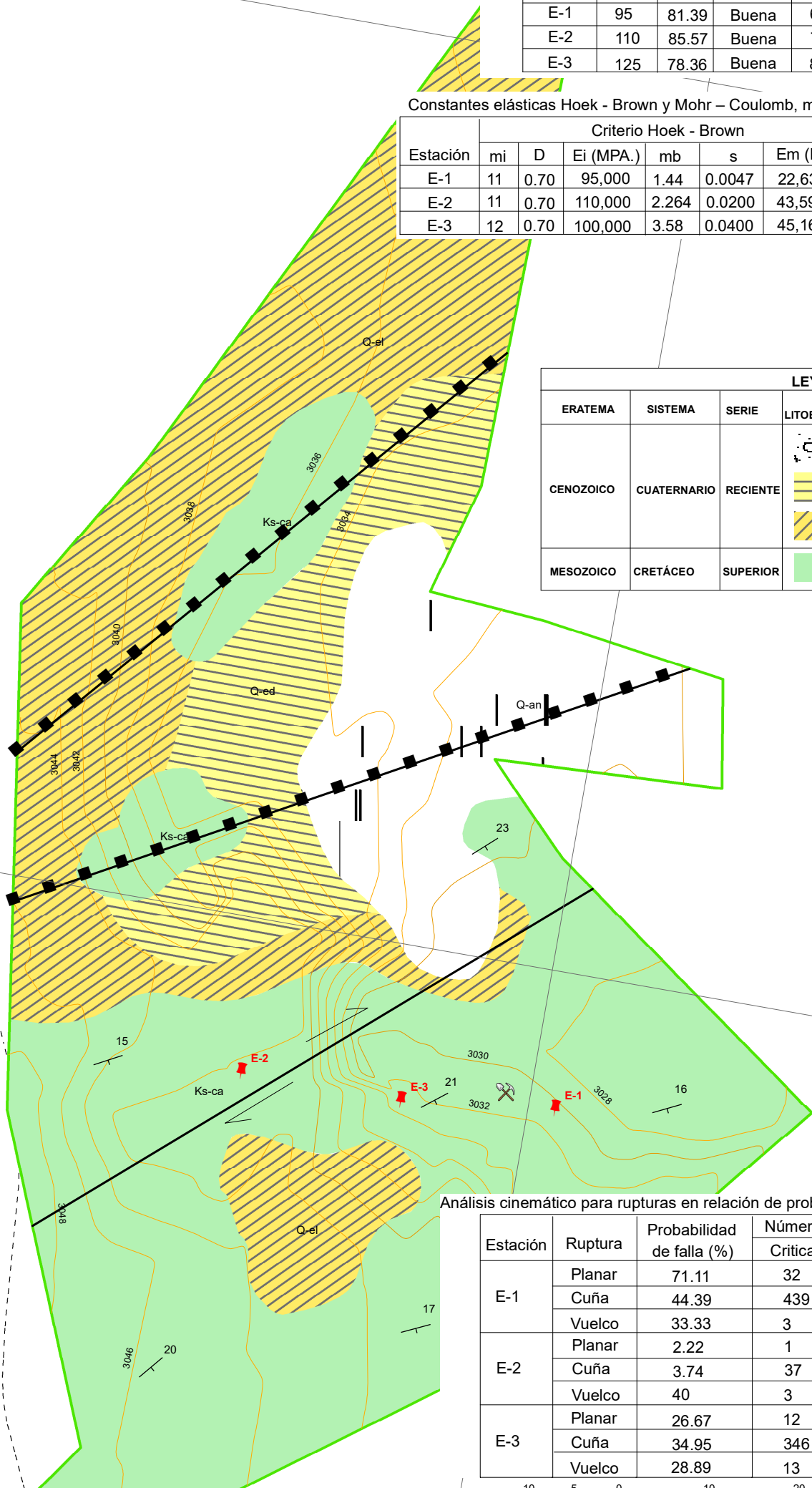
Constantes elásticas Hoek - Brown y Mohr - Coulomb, mediante el RocData - Calera MV S.R.L.

| Estación | Criterio Hoek - Brown |      |           |       |        |           | Criterio Mohr - Coulomb |         |              |
|----------|-----------------------|------|-----------|-------|--------|-----------|-------------------------|---------|--------------|
|          | mi                    | D    | Ei (MPa.) | mb    | s      | Em (MPa.) | a                       | c(MPa.) | $\phi^\circ$ |
| E-1      | 11                    | 0.70 | 95,000    | 1.44  | 0.0047 | 22,639.08 | 0.501                   | 4.62    | 29.22        |
| E-2      | 11                    | 0.70 | 110,000   | 2.264 | 0.0200 | 43,590.00 | 0.507                   | 7.06    | 34.12        |
| E-3      | 12                    | 0.70 | 100,000   | 3.58  | 0.0400 | 45,169.38 | 0.503                   | 9.16    | 36.66        |

| LEYENDA   |             |          |                           |                           |
|-----------|-------------|----------|---------------------------|---------------------------|
| ERATEMA   | SISTEMA     | SERIE    | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | FORMACIÓN                 |
| CENOZOICO | CUATERNARIO | RECIENTE | Q-an                      | DEPÓSITO ANTRÓPICO        |
|           |             |          | Q-ed                      | DEPÓSITO ELUVIAL-DELUVIAL |
|           |             |          | Q-el                      | DEPÓSITO ELUVIAL          |
| MESOZOICO | CRETÁCEO    | SUPERIOR | Ks-ca                     | FM. CAJAMARCA             |

| Estructuras |                        |
|-------------|------------------------|
|             | 32° Rumbo y buzamiento |
|             | Falla normal           |
|             | Falla rumbo dextral    |

| Simbología      |                          |
|-----------------|--------------------------|
|                 | Calera MV S.R.L.         |
|                 | Estación geomecánica     |
|                 | Área efectiva de trabajo |
| Vías            |                          |
|                 | Accesos de la mina       |
|                 | Trocha carrozable        |
| Curvas de nivel |                          |
|                 | Mayores                  |
|                 | Menores                  |



Análisis cinemático para rupturas en relación de probabilidad de falla - inestabilidad de juntas

| Estación | Ruptura | Probabilidad de falla (%) | Número de juntas |       | Inestabilidad de junta |
|----------|---------|---------------------------|------------------|-------|------------------------|
|          |         |                           | Críticas         | Total |                        |
| E-1      | Planar  | 71.11                     | 32               | 45    | D-2 y E                |
|          | Cuña    | 44.39                     | 439              | 989   | D-2 y E                |
|          | Vuelco  | 33.33                     | 3                | 989   | D-2                    |
| E-2      | Planar  | 2.22                      | 1                | 45    | E                      |
|          | Cuña    | 3.74                      | 37               | 990   | D-1 y E                |
|          | Vuelco  | 40                        | 3                | 990   | E                      |
| E-3      | Planar  | 26.67                     | 12               | 45    | D-2                    |
|          | Cuña    | 34.95                     | 346              | 990   | D-1 y D-2              |
|          | Vuelco  | 28.89                     | 13               | 990   | D-2                    |

10 5 0 10 20 30 40 Mts.



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

TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

GEOMECÁNICO

TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO

ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

ESCALA: 1: 600 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: FEBRERO, 2024

PLANO: 08



769900

770000

Calidad de roca, por criterios empíricos del afloramiento rocoso de la Calera MV S.R.L.

| Estación | $\sigma_{ci}$ (MPa) | Clasificaciones empíricas |         |     |         |     |         |
|----------|---------------------|---------------------------|---------|-----|---------|-----|---------|
|          |                     | RDQ                       | Calidad | RMR | Calidad | GSI | Calidad |
| E-1      | 95                  | 81.39                     | Buena   | 68  | Buena   | 63  | Buena   |
| E-2      | 110                 | 85.57                     | Buena   | 79  | Buena   | 74  | Buena   |
| E-3      | 125                 | 78.36                     | Buena   | 83  | Buena   | 78  | Buena   |

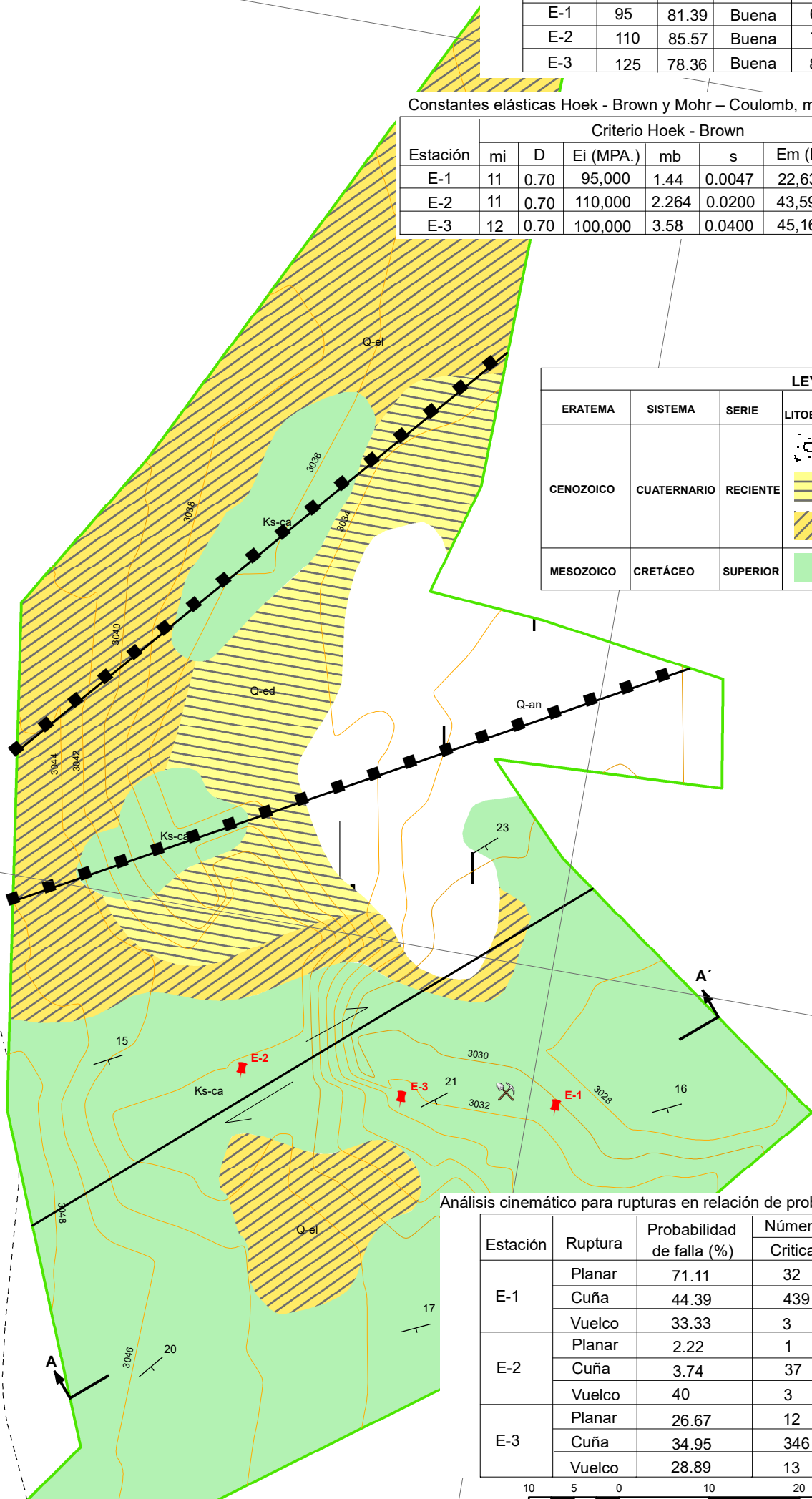
Constantes elásticas Hoek - Brown y Mohr - Coulomb, mediante el RocData - Calera MV S.R.L.

| Estación | Criterio Hoek - Brown |      |           |       |        |           | Criterio Mohr - Coulomb |         |              |
|----------|-----------------------|------|-----------|-------|--------|-----------|-------------------------|---------|--------------|
|          | mi                    | D    | Ei (MPa.) | mb    | s      | Em (MPa.) | a                       | c(MPa.) | $\phi^\circ$ |
| E-1      | 11                    | 0.70 | 95,000    | 1.44  | 0.0047 | 22,639.08 | 0.501                   | 4.62    | 29.22        |
| E-2      | 11                    | 0.70 | 110,000   | 2.264 | 0.0200 | 43,590.00 | 0.507                   | 7.06    | 34.12        |
| E-3      | 12                    | 0.70 | 100,000   | 3.58  | 0.0400 | 45,169.38 | 0.503                   | 9.16    | 36.66        |

| ERATEMA   | SISTEMA     | SERIE    | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | FORMACIÓN                 |
|-----------|-------------|----------|---------------------------|---------------------------|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | RECIENTE | Q-an                      | DEPÓSITO ANTRÓPICO        |
|           |             |          | Q-ed                      | DEPÓSITO ELUVIAL-DELUVIAL |
|           |             |          | Q-el                      | DEPÓSITO ELUVIAL          |
| MESOZOICO | CRETÁCEO    | SUPERIOR | Ks-ca                     | FM. CAJAMARCA             |

| Estructuras |                        |
|-------------|------------------------|
|             | 32° Rumbo y buzamiento |
|             | Falla normal           |
|             | Falla rumbo dextral    |

| Simbología      |                          |
|-----------------|--------------------------|
|                 | Calera MV S.R.L.         |
|                 | Estación geomecánica     |
|                 | Área efectiva de trabajo |
| Vías            |                          |
|                 | Accesos de la mina       |
|                 | Trocha carrozable        |
| Curvas de nivel |                          |
|                 | Mayores                  |
|                 | Menores                  |



Análisis cinemático para rupturas en relación de probabilidad de falla - inestabilidad de juntas

| Estación | Ruptura | Probabilidad de falla (%) | Número de juntas |       | Inestabilidad de junta |
|----------|---------|---------------------------|------------------|-------|------------------------|
|          |         |                           | Críticas         | Total |                        |
| E-1      | Planar  | 71.11                     | 32               | 45    | D-2 y E                |
|          | Cuña    | 44.39                     | 439              | 989   | D-2 y E                |
|          | Vuelco  | 33.33                     | 3                | 989   | D-2                    |
| E-2      | Planar  | 2.22                      | 1                | 45    | E                      |
|          | Cuña    | 3.74                      | 37               | 990   | D-1 y E                |
|          | Vuelco  | 40                        | 3                | 990   | E                      |
| E-3      | Planar  | 26.67                     | 12               | 45    | D-2                    |
|          | Cuña    | 34.95                     | 346              | 990   | D-1 y D-2              |
|          | Vuelco  | 28.89                     | 13               | 990   | D-2                    |



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

TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

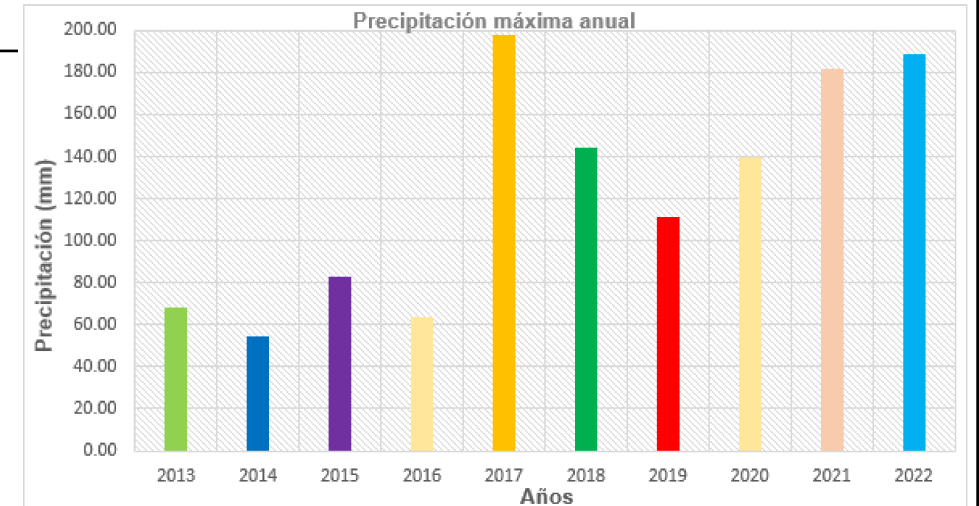
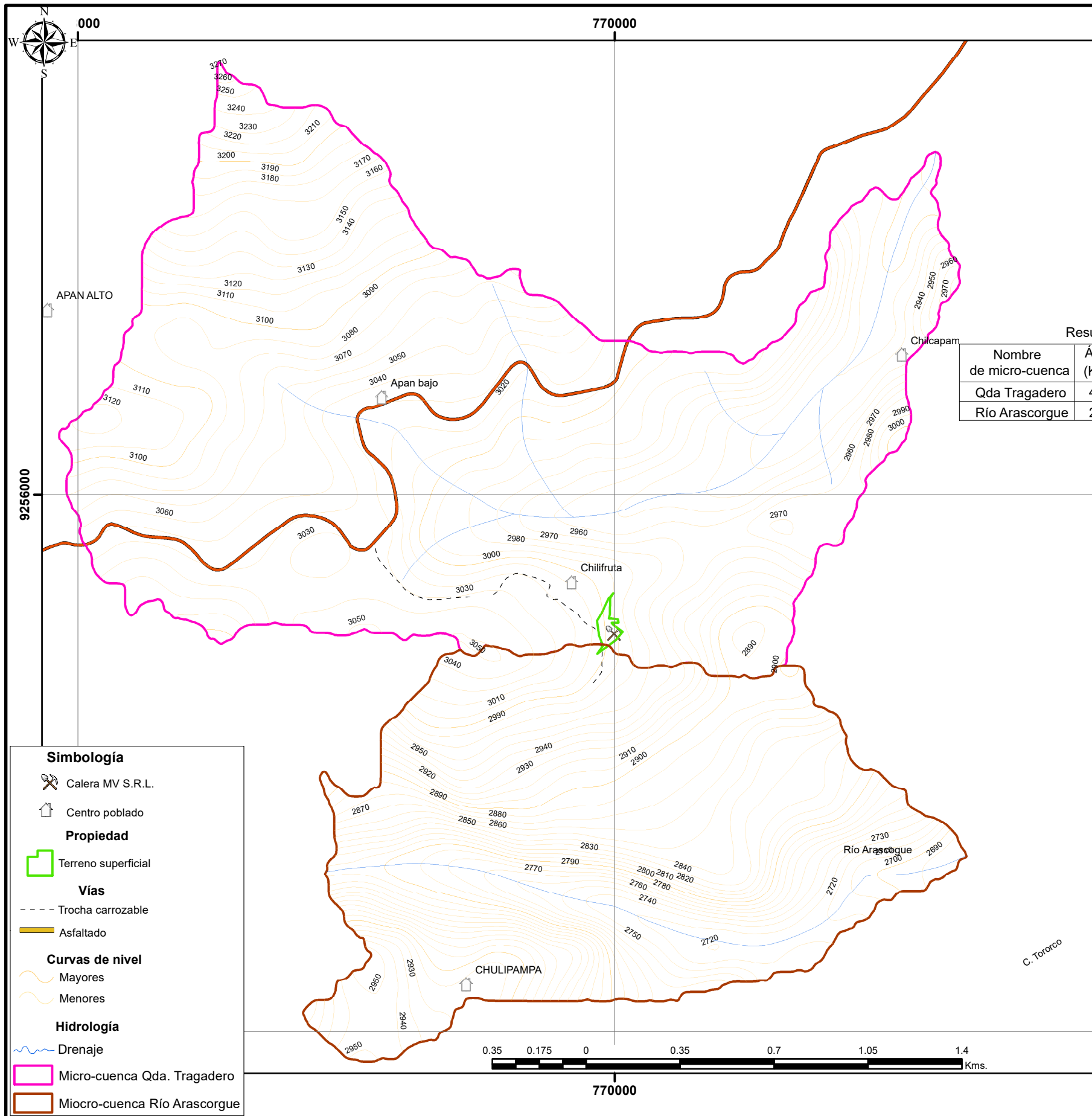
SECCIÓN DE CORTE - TAJO DE EXPLOTACIÓN

TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO

ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO

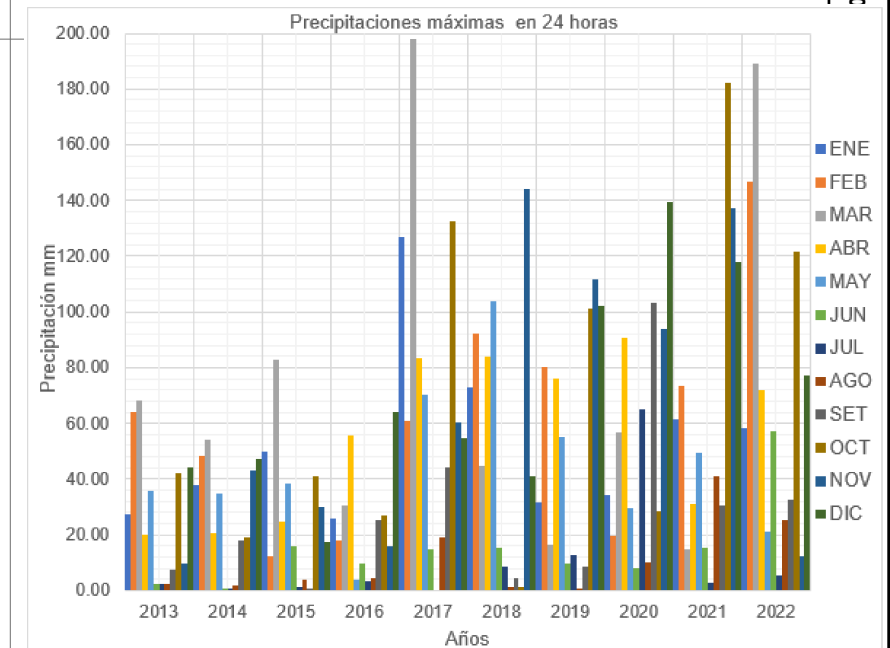
ESCALA: 1: 600 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: FEBRERO, 2024

PLANO: 09

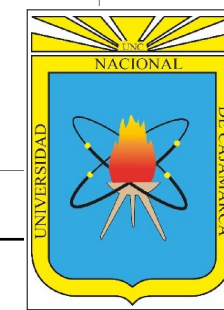


Resultados de la microcuenca de precipitación e infiltración de agua

| Nombre de micro-cuenca | Área (Km <sup>2</sup> .) | Long. de cauce principal (Km.) | Cota mayor (msnm.) | Cota menor (msnm.) | Pendiente (m/m) | Tc (min.) | Precipitación promedio anual (mm./año) |
|------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------|--|
| Qda Tragadero          | 4.36                     | 3.37                           | 3,270.00           | 2,890.00           | 0.11            | 54.72     | 559.39                                 |
| Río Arascorgue         | 2.46                     | 2.54                           | 3,050.00           | 2,690.00           | 0.14            | 42.60     |  |



- Simbología**
- Calera MV S.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: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L. PROVINCIA HUALGAYOC – DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

**HIDROLÓGICO**

TESISTA: VILMER CESAR LÓPEZ ARÉVALO

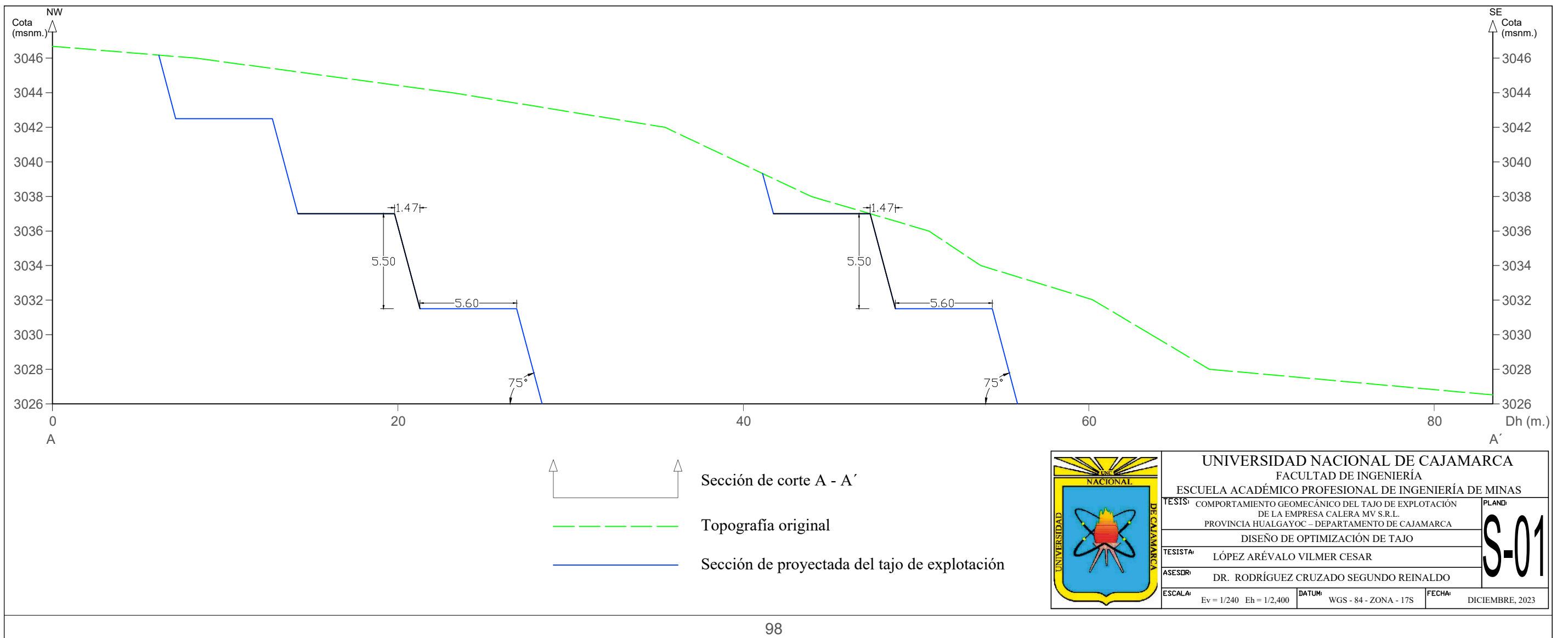
ASESOR: DR. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO


ESCALA: 1: 600      DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S      FECHA: FEBRERO, 2024

**10**

**ANEXOS D**  
**DISEÑO DE OPTIMIZACIÓN DEL TAJO**





|   |   |  |             |        |
|---|---|--|-------------|--------|
|  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA<br>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS                  |  | <b>S-01</b> |        |
|   | TESIS: COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA CALERA MV S.R.L.<br>PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA |  |             | PLANO: |
|   | DISEÑO DE OPTIMIZACIÓN DE TAJO  |  |             |        |
|   | TESIS: LÓPEZ ARÉVALO VILMER CESAR   |  |             |        |
| ASESOR: DR. RODRÍGUEZ CRUZADO SEGUNDO REINALDO  |   |  |             |        |
| ESCALA: Ev = 1/240 Eh = 1/2,400   |   | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S<br>FECHA: DICIEMBRE, 2023 |             |        |