

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA
NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC –
DEPARTAMENTO CAJAMARCA**

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

Autor

Bachiller: Chuquimango Castrejón Jhonatan

Asesor

MCs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca – Perú

2024

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, por brindarme pertenecer a la ciudad y hermandad universitaria, y también a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por la enseñanza brindada por docentes e ingenieros formadores de Profesionales Mineros mediante sus clases mostrando: Experiencia, conocimiento y profesionalismo.

Mi más grato reconocimiento a mi asesor MCs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, por su asesoramiento, dedicación y elaboración de mi tesis, para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas.

DEDICATORIA

Primeramente, dedico esta tesis profesional a Dios por haberme brindado conocimiento: Intelectual, respeto y consideración; a mi esposa y hermanos quienes me apoyan a luchar cada día en esta vida llena de adversidades, siendo muy importante y necesario en mi superación como persona y profesional. Finalmente, también dedico estas palabras a mis padres por siempre apoyarme constantemente para ser una persona con valores y principios éticos e intelectuales.

ÍNDICE

| | Pág. |
|-----------------------------|------|
| AGRADECIMIENTO | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| LISTA DE ABREVIATURAS | vi |
| LISTA DE CUADROS | x |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE ANEXOS | xv |
| RESUMEN | xvi |
| ABSTRACT | xvii |

CAPÍTULO I

| | |
|--------------------|---|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
|--------------------|---|

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN | 3 |
| 2.1.1 Antecedentes Internacionales | 3 |
| 2.1.2 Antecedentes Nacionales | 4 |
| 2.1.3 Antecedentes Locales | 6 |
| 2.2 BASES TEÓRICAS | 7 |
| 2.2.1 PARÁMETROS DE CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS | 7 |
| 2.2.2 TERMINOLOGÍA DEL DISEÑO DE TALUDES | 12 |
| 2.2.3 APLICACIONES DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO NUMÉRICO | 15 |
| 2.2.4 LINEALIZACIÓN DEL CRITERIO HOEK-BROWN | 16 |
| 2.2.5 CARTOGRAFIADO GEOLÓGICO | 18 |
| 2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS | 19 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|----|
| MATERIALES Y MÉTODOS | 21 |
| 3.1 UBICACIÓN | 21 |
| 3.2 ACCESIBILIDAD | 22 |
| 3.3 METEOROLOGÍA Y PRECIPITACIÓN | 25 |
| 3.4 HIDROLOGÍA | 26 |
| 3.5 HIDROGEOLOGÍA | 29 |
| 3.6 GEOLOGÍA LOCAL | 30 |
| 3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 33 |

| | Pág. |
|---|-------------|
| 3.8 GEOMORFOLOGÍA..... | 35 |
| 3.8.1 GEOMORFOLOGÍA LOCAL..... | 35 |
| 3.8.2 GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA..... | 36 |
| 3.9 GEOMECAÁNICA..... | 38 |
| 3.9.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA - 01..... | 40 |
| 3.9.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA - 02..... | 45 |
| 3.9.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA - 03..... | 50 |
| 3.9.4 CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA - 04..... | 55 |
| 3.10 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN..... | 60 |
| 3.11 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 61 |
| 3.11.1 TIPO, NIVEL, DISEÑO DE INVESTIGACIÓN..... | 61 |
| 3.11.2 POBLACIÓN..... | 62 |
| 3.11.3 MUESTRA..... | 62 |
| 3.11.4 UNIDAD DE ANÁLISIS..... | 62 |
| 3.11.5 ETAPAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN..... | 62 |
| 3.11.6 EQUIPOS Y SOPORTE DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN..... | 64 |

CAPÍTULO IV

| | |
|--|-----------|
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 65 |
| 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 65 |
| 4.2 CONTRATACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 71 |

CAPÍTULO V

| | |
|---|-----------|
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 72 |
| 5.1 CONCLUSIONES..... | 72 |
| 5.2 RECOMENDACIONES..... | 73 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 74 |
| ANEXO A..... | 80 |
| AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA..... | 80 |
| ANEXO B..... | 82 |
| CARTOGRAFIADO GEOMECAÁNICO..... | 82 |
| ANEXO C..... | 87 |
| PLANOS..... | 87 |
| ANEXO D..... | 99 |
| DISEÑO GEOMECAÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN..... | 99 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | | |
|-------------------------|---|--|
| WGS-84 | : | Sistema Geodésico Mundial 1984. |
| UTM | : | Universal Transversal de Mercator. |
| GPS | : | Sistema de posicionamiento global. |
| UNC | : | Universidad Nacional de Cajamarca. |
| Ingemmet | : | Instituto geológico minero y metalúrgico del Perú. |
| Geocatmin | : | Sistema de información geológico y catastro minero. |
| GEOMA | : | Geología marina y ambiental. |
| OSINERGMIN | : | Organismo supervisor de la inversión en energía y minería. |
| ETSECCPB | : | Escuela técnica superior de ingeniería canales y puertos de Barcelona. |
| SENAMHI | : | Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú. |
| C.H. | : | Central hidroeléctrica. |
| E.I.R.L. | : | Empresa individual de responsabilidad limitada. |
| AIME | : | Asociación de ingenieros de minas del Ecuador. |
| S.A.A. | : | Sociedad anónima abierta. |
| T.AT. | : | Torre de alta tensión. |
| UNACEM | : | Unión andina de cementos. |
| Tmts | : | Toba superior. |
| Tmbr | : | Ignimbrita riolítica brechoide. |
| Qdt | : | Depósito de talud. |
| Qta | : | Depósito de terraza aluvial. |
| Qlp | : | Deposito Lacustre y pumicíticos. |
| S.A.C. | : | Sociedad anónima cerrada. |
| UNMSM | : | Universidad Nacional Mayor de San Marcos |
| UNAP | : | Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. |
| UPTC | : | Universidad Pedagogía y Tecnológica de Colombia |
| ISSN | : | Número internacional normalizado de publicaciones seriadas. |
| MDT | : | Modelo digital del terreno. |
| MDE | : | Modelo digital de elevaciones. |
| MDP | : | Modelo digital de pendientes. |
| SASPlanet | : | SAS.Planeta. |
| et al., | : | Y otros. |
| MCs. | : | Maestro en ciencias. |
| Ing. | : | Ingeniero. |
| LP | : | Latita porfirítica. |
| M-C | : | Morh-Coulomb. |
| H-B | : | Hoek-Brown. |
| UCS | : | Resistencia a la compresión uniaxial. |
| σ_c | : | Resistencia a la compresión uniaxial. |
| $\sigma_3^{\text{máx}}$ | : | Tensión de confinamiento. |
| σ_t | : | Resistencia a la tracción |

| | | |
|----------------------|---|---|
| σ_{ct} | : | Resistencia global. |
| σ_1 | : | Esfuerzo principal mayor. |
| σ_2 | : | Esfuerzo principal intermedio. |
| σ_3 | : | Esfuerzo principal menor. |
| T | : | Esfuerzo de corte. |
| σ_n | : | Esfuerzo normal. |
| σ_{cm} | : | Resistencia del macizo rocoso. |
| σ_0 | : | Esfuerzo vertical. |
| <i>m</i> | : | Constante de Hoek & Brown. |
| <i>b</i> | : | Constante de Hoek & Brown. |
| <i>s, a</i> | : | Constantes de Hoek & Brown. |
| <i>c</i> | : | Cohesión. |
| φ | : | Ángulo de fricción. |
| <i>E_i</i> | : | Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa. |
| <i>E_m</i> | : | Módulo de deformación. |
| MR | : | Relación del módulo. |
| <i>D</i> | : | 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. |
| Q | : | Índice de calidad tunelera. |
| MB | : | Muy buena. |
| B | : | Buena. |
| R | : | Regular. |
| P | : | Pobre. |
| MP | : | Muy pobre. |
| T | : | Triturada. |
| IF | : | Intensamente fracturada. |
| MF | : | Muy fracturada. |
| F | : | Moderadamente fracturada. |
| LF | : | Levemente fracturada. |
| V _b | : | Volumen de bloque. |
| J _c | : | Factor de estado de diaclasas. |
| Log | : | Logaritmo. |
| Ψ_T | : | Buzamiento del talud. |
| H | : | Altura de talud |
| Sh | : | Sísmica horizontal. |
| Sv | : | Sísmica vertical. |
| E.30 | : | Norma técnica. |
| α_b | : | Ángulo de talud. |
| α_r | : | Ángulo interrampa. |
| b | : | Ancho de berma. |
| hb | : | Altura de banco. |
| br | : | Ancho de rampa. |
| qb | : | Ancho de quebradura. |

| | | |
|-------------------|---|------------------------------|
| α_0 | : | Ángulo global. |
| hr | : | Altura de interrampa. |
| h0 | : | Altura global. |
| 8:2 | : | Sección de corte. |
| I, II | : | Clase o tipo de roca. |
| R2, R3 | : | Grado de estimación de roca. |
| 2ed | : | Segunda edición. |
| Vol1 | : | Volumen de editorial. |
| λ | : | Landa. |
| L | : | Longitud. |
| D-1 | : | Número de junta. |
| E | : | Estrato. |
| T | : | Talud. |
| 15-f | : | Cuadrángulo geológico. |
| Az. | : | Azimut. |
| Bz. | : | Buzamiento. |
| Esc. | : | Escala. |
| FS | : | Factor de seguridad. |
| D | : | Dip. |
| DD | : | Dip direction. |
| vs. | : | Versus. |
| MC-I | : | Microcuenca. |
| E-1 | : | Estación geomecánica |
| CaCO ₃ | : | Carbonata de calcio. |
| Pág. | : | Página |
| N° | : | Número |
| MPa | : | Mega pascales. |
| N | : | Newton. |
| GPa | : | Giga pascales. |
| f'c | : | Resistencia. |
| h. | : | Hora |
| min. | : | Minuto |
| Kg. | : | Kilogramos. |
| Ma. | : | Millones de años |
| J1 | : | Junta. |
| gr | : | Gramos |
| TM | : | Toneladas métricas. |
| Km. | : | Kilómetro. |
| Pulg. | : | Pulgadas. |
| m. | : | Metro. |
| cm. | : | Centímetro. |
| mm. | : | Milímetro. |
| Ha. | : | Hectárea. |
| m ² . | : | Metros cuadrados. |
| m ³ . | : | Metros cúbicos. |
| ± | : | Mas o menos. |
| cm ² . | : | Centímetros cuadrados. |

| | | |
|-------------------|---|--------------------------------|
| Km ² . | : | Kilómetros cuadrados. |
| Pe | : | Peso específico. |
| Av. | : | Avenida. |
| s | : | Segundo. |
| % | : | Porcentaje. |
| ° | : | Grado. |
| > | : | Mayor. |
| < | : | Menor. |
| ≥ | : | Mayor igual. |
| EG-1. | : | Estación geomecánica. |
| msnm. | : | Metros sobre el nivel del mar. |
| °C | : | Temperatura. |
| m/m | : | Pendiente. |
| Tc | : | Tiempo de concentración. |
| N | : | Norte. |
| S | : | Sur. |
| E | : | Este. |
| W | : | Oeste. |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Cuadro 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD). Fuente: Deere, 1967. | 8 |
| Cuadro 2.2. Clasificación geomecánica RMR ₈₉ . Fuente: González de Vallejo, 2002. | 9 |
| Cuadro 2.3. Calidad de macizo rocosos en relación al Índice RMR. Fuente: González de Vallejo, 2002. | 10 |
| Cuadro 2.4. Índice geológico de resistencia (GSI). Fuente: Hoek, 2002. | 12 |
| Cuadro 3.1. Coordenadas del área e investigación de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 22 |
| Cuadro 3.2. Acceso a las operaciones Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 23 |
| Cuadro 3.3. Precipitación máxima en 24 horas, aplicando la altitud media; mediante la estación Bambamarca. | 27 |
| Cuadro 3.4. Parámetros hidrológicos de la microcuenca de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 28 |
| Cuadro 3.5. Unidades geomorfológicas del área superficial de la Empresa Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 36 |
| Cuadro 4.1. Caracterización geomecánica y constantes elásticas, del tajo de explotación de la Formación Cajamarca - Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 69 |
| Cuadro 4.2. Análisis de probabilidad de fallamiento cinemático – software Dips, a las caracterizaciones geomecánicas del tajo - Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 70 |
| Cuadro 5.1. Registro geológico – geomecánico, EG-01. | 83 |
| Cuadro 5.2. Registro geológico – geomecánico, EG-02. | 84 |
| Cuadro 5.3. Registro geológico – geomecánico, EG-03. | 85 |
| Cuadro 5.4. Registro geológico – geomecánico, EG-04. | 86 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 2.1. Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. Fuente: Osinergmin, 2017. | 11 |
| Figura 2.2. Geometría típica de talud a tajo abierto mostrando la relación entre el ángulo de talud general, el ángulo inter-rampa y geometría del banco. Fuente: Wyllie y Mah, 2004. | 13 |
| Figura 2.3. Presentación de la geología estructural en falsilla, y evaluación preliminar de la estabilidad de los taludes de la mina propuesta a tajo abierto. Fuente: Wyllie y Mah, 2004. | 14 |
| Figura 2.4. Presentación de información de geología estructural y evaluación preliminar de estabilidad de taludes de una mina a cielo abierto propuesta (Hoek y Bray, 1977). Fuente: Hustrulid et al., 2013. | 15 |
| Figura 2.5. 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. | 17 |
| Figura 2.6. 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. | 17 |
| Figura 2.7. Cartografiado geológico del distrito Minero de Rodalquilar. Fuente: Lillo y Oyarzun, 2013. | 18 |
| Figura 3.1. Planos políticos de ubicación de las operaciones mineras Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 21 |
| Figura 3.2. Ruta de recorrido al centro poblado Apan Bajo – Hualgayoc. Fuente: Google Maps, 2024. | 23 |
| Figura 3.3. Centro poblado Apan Abajo - ingreso al caserío Bellavista – Congona, a instalaciones de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. Fuente: Google Earth Pro, 2024. | 24 |
| Figura 3.4. Variograma meteorológico en función: Temperatura y precipitación, año: 2023-2024. Fuente: SENAMHI, 2023-2024. | 25 |
| Figura 3.5. Vista panorámica del curso del río Arascorgue, ubicada a 850 m. de las operaciones mineras de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 27 |
| Figura 3.6. Diagrama estadístico meteorológico de la Precipitación máxima mensual, desde año: 2013 a 2024. Fuente: SENAMHI, 2024. | 28 |

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 3.7. A. Roca caliza. B. Vista del tajo de explotación, delimitada por secuencias estratigráficas de la Formación Cajamarca - Empresa Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 30 |
| Figura 3.8. Clasificación de rocas carbonatadas – Folk Fuente: Folk, 1962 | 31 |
| Figura 3.9. Clasificación de rocas carbonatadas – Dunhan Fuente: Folk, 1962 | 31 |
| Figura 3.10. Botadero provisional conformado por rocas de bajo porcentaje de cal. | 32 |
| Figura 3.11. Afloramiento calcáreo estratificado subhorizontal de calidad regular, siendo un sector de meteorización: Leve a moderada y fracturamiento medio. | 33 |
| Figura 3.12. Tres familias de discontinuidades que conforman el macizo rocoso, delimitando fallamientos: Planares, cuñas y vuelcos; a favor de la cara libre del tajo de explotación. | 34 |
| Figura 3.13. Vista panorámica del tajo donde se logra evidenciar en campo geformas: Planicies, lomadas y laderas. | 35 |
| Figura 3.14. Patrones de cavernas en función de la relación con los tipos de descarga y porosidad. Fuente: Ford y Williams, 2007. | 37 |
| Figura 3.15. Pónor y sima, en roca caliza generado por disolución de carbonatos, siendo rellenado por Depósito Deluvial de color castaño, evidenciándose en la sección de corte del tajo de explotación de roca caliza. | 37 |
| Figura 3.16. Caídas de rocas de dimensiones: 0.60 m. a 1.10 m. en función del plano de estratificación, por buzamiento a favor del tajo de explotación. | 39 |
| Figura 3.17. Correlación esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morrison - Coulomb); aplicando método equivalencia de áreas. Caracterización geomecánica EG-01. | 40 |
| Figura 3.18. Fallamiento con probabilidad de ruptura planar crítica de 40.00% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad D-1. Caracterización geomecánica EG-01. | 41 |
| Figura 3.19. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por cuña de 44.95% a favor del talud en función de la intersección de discontinuidades D-1 vs. D-2. Caracterización geomecánica EG-01. | 42 |
| Figura 3.20. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por vuelco de 0.00% a favor del talud. Caracterización geomecánica EG-01. | 43 |

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 3.21. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por base deslizante de 68.89% a favor del talud en función de la discontinuidad D-1. Caracterización geomecánica EG-01. | 44 |
| Figura 3.22. Correlación esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh – Coulomb); aplicando método equivalencia de áreas. Caracterización geomecánica EG-02. | 45 |
| Figura 3.23. Fallamiento con probabilidad de ruptura planar crítica de 46.67% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-02. | 46 |
| Figura 3.24. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por cuña de 21.15% a favor del talud en función de la intersección de discontinuidades D-1 vs. E. Caracterización geomecánica EG-02. | 47 |
| Figura 3.25. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por vuelco de 2.22% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad D-2. Caracterización geomecánica EG-02. | 48 |
| Figura 3.26. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por base deslizante de 42.22% a favor del talud en función de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-02. | 49 |
| Figura 3.27. Correlación esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh – Coulomb); aplicando método equivalencia de áreas. Caracterización geomecánica EG-03. | 50 |
| Figura 3.28. Fallamiento con probabilidad de ruptura planar crítica de 28.89% a favor del talud en función de los polos de las discontinuidades: E y D-1. Caracterización geomecánica EG-03. | 51 |
| Figura 3.29. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por cuña de 30.23% a favor del talud en función de la intersección de las discontinuidades: D-1 vs. E y D-1 vs. D-2. Caracterización geomecánica EG-03. | 52 |
| Figura 3.30. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por vuelco de 0.00% a favor del talud. Caracterización geomecánica EG-03. | 53 |
| Figura 3.31. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por base deslizante de 33.33% a favor del talud en función de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-03. | 54 |
| Figura 3.32. Correlación esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh – Coulomb); aplicando método equivalencia de áreas. Caracterización geomecánica EG-04. | 55 |

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 3.33. Fallamiento con probabilidad de ruptura planar crítica de 2.22% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-04. | 56 |
| Figura 3.34. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por cuña de 6.87% a favor del talud en función de la intersección de discontinuidades D-1 vs. E. Caracterización geomecánica EG-04. | 57 |
| Figura 3.35. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por vuelco de 2.22% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad D-1. Caracterización geomecánica EG-04. | 58 |
| Figura 3.36. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por base deslizante de 40.00% a favor del talud en función de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-04. | 59 |
| Figura 3.37. Método de explotación a tajo abierto por la Minera Nueva Unión E.I.R.L., siendo actualmente un solo banco de explotación de altura de 15 m. | 60 |
| Figura 3.38. Vista panorámica del tajo y seleccionamiento de roca caliza de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. | 62 |
| Figura 4.1. Proyección de las discontinuidades del tajo Empresa Minera Nueva Unión E.I.R.L., conformada por cuatro geoestructuras de diaclasamiento del tajo de explotación. | 68 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Anexo A : Autorización de la empresa. | 80 |
| Anexo B : Cartografiado geomecánico. | 82 |
| Anexo C : Planos. | 87 |
| Anexo D : Diseño geomecánico del tajo de explotación. | 99 |

RESUMEN

El tajo de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., está generando fallamientos: Planares, cuñas y vuelcos, por la redistribución tensional del tajo aumentó las caídas de rocas en épocas de precipitación; planteándose diseñar nuevos bancos aplicando geomecánica para minimizar la caída de rocas y aumentar la estabilidad del tajo. Así mismo los objetivos son: Realizar el cartografiado geológico-geoestructural, determinar las propiedades geomecánicas, analizar el comportamiento geomecánico y proponer el diseño del tajo. Realizándose mediante procedimiento metodológicos correlacional – explicativa, descriptivo – aplicativo y descriptivo – analítico – interpretativo. Definiendo que está emplazado en la Formación Cajamarca con estratos de grosor: 0.80 m. a 2.50 m. de orientación (Az/Bz) N56°/23°SE, conformado por caliza mudstone y sistemas de familias N332°/81°NE y N235°/68°SW, así mismo la geomecánica muestra: RQD = 57.32% a 93.84%, RMR = 52 a 84 y GSI = 47 a 79, siendo roca de calidad buena a regular, con σ_{ci} = 80 MPa a 125 MPa. Con análisis de probabilidad de fallamiento cinemático - software Dips, por: Planar del 46.67% EG-2 (P_E), 28.89% al 2.22% EG-4 (P_E); cuña del 44.95% EG-1 (I_{D-1/D-2}), 21.15% al 6.87% EG-4 (I_{D-1/E}); vuelco 0.00% EG-1, 0.00% al 2.22% EG-4 (P_{D-1}); y base deslizante del 68.89% EG-1 (D-1) al 33.33% EG-3 (E), Mediante el método a cielo abierto por banquetas con los siguientes parámetros de diseño: altura de banco = 6.00 m., quebradura = 1.61 m., ancho de berma = 4.00 m., ancho rampa = 8.00 m., ángulo de banco = 75° y ángulo final del talud = 84°.

Palabras clave: Geomecánica, tajo, movimiento cinemático, geoestructuras y bancos.

ABSTRACT

The pit of the Minera Nueva Unión E.I.R.L. is generating faults: Planars, wedges and overturns, due to the tensional redistribution of the pit, increasing rock falls in times of precipitation; considering designing new benches applying geomechanics to minimize rockfall and increase the stability of the pit. Likewise, the objectives are: Carry out geological-geostructural mapping, determine the geomechanical properties, analyze the geomechanical behavior and propose the design of the pit. Being carried out through correlational - explanatory, descriptive - applicative and descriptive - analytical - interpretive methodological procedures. Defining that it is located in the Cajamarca Formation with strata thickness: 0.80 m. at 2.50 m. orientation (Az/Bz) N56°/23°SE, made up of mudstone limestone and family systems N332°/81°NE and N235°/68°SW, likewise the geomechanics shows: RQD = 57.32% to 93.84%, RMR = 52 to 84 and GSI = 47 to 79, being rock of good to fair quality, with σ_{ci} = 80 MPa to 125 MPa. With kinematic failure probability analysis - Dips software, by: Planar from 46.67% EG-2 (PE), 28.89% to 2.22% EG-4 (PE); wedge 44.95% EG-1 (ID-1/D-2), 21.15% to 6.87% EG-4 (ID-1/E); rollover 0.00% EG-1, 0.00% to 2.22% EG-4 (PD-1); and sliding base from 68.89% EG-1 (D-1) to 33.33% EG-3 (E), Using the open-air bench method with the following design parameters: bench height = 6.00 m., break = 1.61 m., berm width = 4.00 m., ramp width = 8.00 m., bench angle = 75° and final slope angle = 84°.

Keywords: Geomechanics, pit, kinematic movement, geostructures and benches.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las operaciones mineras, no metálicas de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., ubicada en Bellavista - Congona, centro poblado: Apan bajo, distrito - provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca; al norte de la ciudad de Cajamarca, pertenecen a la concesión Colquirrumi N° 49-C. Sin embargo, la Minera Nueva Unión E.I.R.L., extrae roca caliza del Cretáceo Superior - Formación Cajamarca, el tajo de explotación presenta estratos de espesor 0.80 m. a 3.00 m., definida por rocas, de calidad buena a muy buena, formando bolones de forma: Tabular y cúbica, por la alta persistencia del afloramiento rocoso e intersección de diaclasas; con orientación de estratos a favor del talud. Geomorfológicamente el yacimiento fue emplazado en: Planicies y lomadas, con baja cobertura cuaternaria del Holoceno. Por consiguiente, el método de minado no es correcto, ni seguro ya que se han generado farallones de roca calcárea de altura 8.50 m. a 11.00 m., con pendiente de talud 85° a 90°, por tal motivo se desea realizar el nuevo diseño del tajo de explotación siguiendo los parámetros geométricos de estabilidad, por la gran altura generándose imprevistamente fallamientos: Planares, cuñas y vuelcos, por la redistribución tensional del talud, en muchos de los casos las caídas de rocas son constantes, generando riesgos a los trabajadores, por consiguiente el planeamiento de minado y la seguridad no toman importancia, siendo más peligroso en las épocas de precipitación porque aceleran las caídas de roca, al disminuir la cohesión e incrementar el ángulo de fricción de la roca, siendo causado por las vibraciones constantes por efecto la perforación y voladura, y obtener el factor de potencia y factor de energía. Por tal motivo se desea diseñar nuevos bancos de explotación necesarios, aplicando la geomecánica para así minimizar la caída de rocas e incrementar con la voladura controlada la seguridad del Tajo.

La presente investigación pretende determinar ¿Cuál será el comportamiento del macizo rocoso calcáreo, en el análisis geomecánico del basamento rocoso y la voladura de roca en el tajo para el sistema de banco de explotación - Minera Nueva Unión E.I.R.L.? sabiendo que la operatividad constante de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., del yacimiento no metálico calcáreo ha generado altura de banco de altura 8.50 m. a 11.00 m., con pendiente de talud 85° a 90°, originando inestabilidad de los frentes de explotación.

El análisis geomecánico de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., brindará nuevos alcances sobre el nuevo diseño de sistema de banqueo del tajo, siguiendo la metodología: Exploratoria, descriptiva y explicativa. Teniendo como restricciones de acceso al tajo de explotación, por realizar alto desbroce de roca y bajo presupuesto en la elaboración de ensayos en roca.

En tal sentido se ha determinado como objetivo principal analizar el comportamiento geomecánico del tajo de explotación de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., para el sistema de bancos de explotación, así mismo realizar el cartografiado geológico-geoestructural, determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, analizar en comportamiento geomecánico aplicando el software Dips y finalmente proponer sistema de bancos del tajo para las operaciones mineras.

La investigación se ha estructurado en cinco capítulos, el capítulo II corresponde al marco teórico, donde se presentan los Antecedentes Internacionales, Nacionales y Locales de la investigación, asimismo, las bases teóricas que servirán de apoyo en la investigación y finalmente la definición en términos básicos. En el capítulo III Materiales y Métodos, Ubicación, se describe el contexto de la investigación, los procedimientos y la metodología. En el Capítulo IV Análisis y Discusión de Resultados donde se describe, explica y discute los resultados, finalmente en el último capítulo corresponde a Conclusiones y Recomendaciones donde cada objetivo tiene sus conclusiones, así mismo las Referencias Bibliográficas y Anexos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Alonso et al. (2008), realizó: “Análisis de los tipos de inestabilidades del macizo rocoso de la Virgen de la Peña (Huelva, España)”. Geológicamente conformado por rocas cuarcíticas de la edad del Devónico. Geomecánicamente el macizo rocoso presenta taludes y orientaciones: La primera con orientación longitudinal N130°-140°E, con inclinación SE y la segunda subperpendicular a la primera en dirección N55°E, siendo de calidad mala de categoría IV; obteniendo rupturas: planares y vuelcos de mayor incidencia, siendo afectados por infiltraciones, ciclos de hielo – deshielo, temblores sísmicos, etc., que causan estas inestabilidades en el macizo rocoso.

López y Paramo (2012), investigaron la “Corrección de un talud de margas en el Alto de Foradada del Toscar”. Los sustratos rocosos margosos tienen $Bz = 70^\circ$ a 80° , con anisotropía es altamente peligrosa; con recubrimientos de Depósitos Coluviales. La estabilidad del talud se planteó sección de corte 1:1, mejorando mediante bulones 32 mm. de diámetro y 12 m. de longitud, con reforzamiento shotcrete + malla; y mejorando con bulones 32 mm. de diámetro y 18 m. de longitud, con reforzamiento shotcrete + malla, acompañados de drenes californianos. Asimismo, se diseñó bermas intermedias de 4.50 m. obteniendo $FS = 1.20$ a 1.30 .

Monte, (2020), Realizó “Análisis de estabilidad de taludes en roca mediante el método de elemento finitos”. Muestra que la probabilidad de ruptura: Planar es

en ambos taludes, cuña en el talud: A = 33.33% y B = 00.00%; y vuelco: A = 00.00% y B = 50.00%, con FS talud A, desde: 1.40 a 1.60 y B desde: 1.31 a 1.41. Con reportes de ensayos de compresión desde: 7.84 MPa a 22.43 MPa., RQD = 61.60 a 43.80, $\lambda = 13.31 \text{ m}^{-1}$ a 18.85 m^{-1} , S = 0.08 m. a 0.05 m., con GSI = 45 a 65; y criterio Hoek-Brown: $s = 7.13 \times 10^{-4}$ a 1.67×10^{-4} , $a = 0.506$ a 0.511 , $m_b = 1.218$ a 0.703 , $\nu = 0.43$ a 0.25 , $E_i = 3,750 \text{ MPa}$, $E_m = 402.30 \text{ MPa}$. a 218.40 MPa .

GEOMA (2006), realizó “Estudio de estabilidad de taludes Talud 2: Cantera Coma de S´AIGUA”. Presentando una tectónica imbricada originada por los relieves escarpados, con ejes de fallas de orientación NE-SW, identificándose 5 discontinuidades: N80°E/54°, N71°E/42°, N227°E/54°, N310E/36° y N252E/24°, siendo rocas de calidad: Media (T2AE-1/52, T2AE-3/52 y T2AE-4/45) y buena (T2AE-2/72 y T2AE-5/69), por la clasificación SMR de clase III de tipo normal parcialmente estable e inestables tipo cuña; con factores de seguridad: totales (Cuña 2.05 y planar 1.50) y saturadas (Cuña 0.12 y planar 1.30).

Ergueta (2014), realizó “Análisis de estabilidad de taludes en roca caso práctico: Talud izquierdo del vertedor de la C.H. La Yesca”. Los cartografiados geoestructurales identifico: Planos y zonas de falla con espesores: 0.50 m. a 50 m., conformado por 4 sistemas juntas de orientación: N34°W/66°NE, N45°E/57°SE, N82°W/76°NE y N10°E/59°SE. Proponiendo para estabilizar sección de corte 0.75:1, 0.5:1, 1:1 y bermas 6.00 m. reforzado con anclajes de fricción de barrilla corrugada: $\phi 16$, $\phi 20$ y $\phi 25$, de longitud 10 m., con inyección de mortero $f'c \geq 17.65 \text{ MPa}$ (180 Kg/cm^2) y placa de reparto 0.20 m x 0.20 m., de 1/2'' de espesor y finalmente shotcrete $f'c \geq 19.60 \text{ MPa}$ (200 Kg/cm^2) de espesor 8 cm., con malla electrosoldada.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Consuelo (2022), investigó “Caracterización geomecánica de la pared oeste del tajo abierto Toromocho, Mina Chinalco”. El mapeo muestra alineamientos estructurales de fallas: Regionales y locales. Siendo el macizo de resistencia: Baja a media, de espaciado: 0.06 m a 0.20 m., con persistencia de 3 m. y 10 m., con abertura < a 5 mm. con relleno duro y blando, y planos de superficies planas:

Rugosas y suaves. Siendo la orientación de discontinuidades divididas en tres sectores: E-W, NW-SE y NE-SW; con movimiento cinemáticos de fallamientos: Planares cuña, y vuelco.

Paredes (2019), realizó la tesis: “Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera El Arbolito – Juliaca”. Litológicamente presenta rocas del Grupo: Ambo y Cabanillas; con parámetros de resistencia: Areniscas ($c = 0.109$ MPa., $\phi = 45.18$ Pe = 24.66 kN/m³. y $\sigma_{ci} = 71.30$ MPa a 75 MPa.) y lutitas ($c = 0.060$ MPa., $\phi = 30.093$, Pe = 22.40 kN/m³. y $\sigma_{ci} = 62.45$ MPa). Siendo las areniscas de calidad buena y clase II (RQD = 73.39% a 8208%, RMR = 63.98 a 74.79 y GSI = 58.98 a 69.79); y lutitas de calidad media y clase III RQD = 69.98%, RMR = 58.46 y GSI = 53.46; con equilibrio límite de FS: Planar y cuña.

Carhuatanta y Tantajulca (2020), Realizó “Análisis estructural de macizo rocoso para determinar el facto de seguridad en taludes de la carretera Cochabamba – Cutervo – Puerto Chiple”. Geológicamente está emplazado en Grupo Goyllarisquizga, Las clasificaciones geomecánicas reportan cinco estaciones de calidad buena (EG-01 = 67, EG-02 = 66, EG-04 = 62 y EG-05 = 69) y regular (EG-03 = 60). El análisis cinemático por ruptura planar se origina por la junta J2 (D/DD) = 28°/226°, obteniendo el FS en condiciones: Totales = 2.073, efectivas = 1.742 y efectivas +sismicidad = 1.098.

Mamani (2019), realizó “Caracterización geomecánica en minería superficial: Un caso de estudio”. La caracterización del macizo rocoso del talud S-W está emplazado en el pórfido de cobre; con comportamiento estructural de orientación NW-SE con Az N130°. Los valores geomecánicos de UCS de 69.70 MPa - R4, con RQD = 48.56% de calidad mala, con RMR = 55, pertenece a una roca regular, Tipo III, un GSI medio de 47. Definiendo fallas de inter-rampa $c = 50$ KPa. y $\phi = 30^\circ$, talud de banco $c = 12.5$ KPa. y $\phi = 22.50^\circ$, diaclasas $c = 25$ KPa. y $\phi = 32.50^\circ$, y alteración argílica y fílica $c = 50$ KPa. y $\phi = 25^\circ$.

López (2016), realizó “Estudio geotécnico y diseño de talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos”. El análisis cinemático Dips valida el diseño del banco de talud de 60° siendo estable, constituido por cuarcitas

y esquistos con FS: Estático 1.58 y pseudo estático 1.26; con probabilidad de desplazamiento máximo 0.12 m. en la cresta del talud. Siendo fundamentado por software Phase, se evidencia la estabilidad del talud generando variaciones del ángulo de banco incrementando $\Psi_T = 35^\circ$ a 60° , permitiendo extraer el caolín.

Gutiérrez (2019), Realizó “Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicadas en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S.A.A.”. El tajo abierto está compuesto por: Bancos de 20 m. a 30 m. de ancho, largo de 50 m. y 10 m. de altura; con rampas de gradiente 12% y ángulo final de 50° ; siendo el mapeo geomecánico por celda de detalle, delimitada por 28 estaciones con: RMR = 42 a 51 y SMR = 39 a 57, obteniendo análisis cinemático por: Cuña y planar, FS estático (1.10 a 3.13) y pseudo (0.94 a 6.78), delimitado por tres sistemas geoestructuras DD/D = $319^\circ/52^\circ$, $127^\circ/54^\circ$ y $226^\circ/57^\circ$.

2.1.3 Antecedentes Locales

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”. Está emplazado en la Formación Cajamarca, compuesta por calizas de espesor: 0.30 m. a 1.20 m., con orientación Az/Bz $N52^\circ/20^\circ SE$. Siendo rocas de calidad: Buena a muy buena, con $\sigma_{ci} = 105$ MPa a 210 MPa. - R5, con $\phi = 38^\circ$ y $c = 9.18$ MPa., con parámetros de diseño: Altura de banco = 2.00 m., quebradura = 0.35 m., ancho rampa = 4.50 m., ancho berma = 2.40 m., ángulo de banco = 80° y ángulo final de banco = 33° .

Rojas (2018), realizó “Comportamiento geotécnico de los taludes críticos de la carretera Lajas – El Tayal provincia de Chota”. La carretera está emplazada en rocas del Cretáceo: Inferior y Superior, con estratos a favor del buzamiento del talud. Sin embargo, el análisis cinemático muestra altos valores en rupturas por cuña: 37.50% a 54.21% y planares entre: 15% a 50%, definidas de los ocho taludes críticos. Aplicando los criterios empíricos: $\sigma_{ci} = 85$ MPa a 100 MPa, GSI = 43.90 a 49.99 (Media), RMR = 43 a 53 (Media), RQD = 53.79 a 72.84 (Calidad media).

Montoya (2018), realizó “Expediente técnico del proyecto minero No Metálico – Agustín De La Cruz Vásquez”. El yacimiento está emplazado en la Formación Cajamarca, con grosor: 0.60 m. a 1.30 m, con ley de $\text{CaCO}_3 = 92\%$. Plasmando reservas 1'536,979.236 TM, con producción diaria de 95 TM/día, equivalente a 47 años de vida útil. Siendo roca calidad buena y clase II, con RQD = 75%, RMR = 70, de mostrando tres familias de discontinuidades. Siendo el método de explotación por terrazas - cielo abierto, con parámetros: Altura de banco = 1.20 m., ancho de banco = 2.40 m., quebradura = 0.33 m. y ángulo de talud = 75°.

Jaimes et al. (2013), aportaron el “Mapa geológico del cuadrángulo de Chota, escala 1/50,000 hoja 15-f cuadrante-I”. Presentando información detallada de la geología local, estratigrafía, geoestructuras, cuerpos intrusivos y zonas mineralizadas, descargada del INGEMMET – GEOCATMIN, para actualizar los cambios litológicos actuales del área de estudio.

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

2.2 BASES TEÓRICAS

2.1.1 PARÁMETROS DE CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

Los factores que influyen sobre el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y que afectan a la estabilidad de taludes pueden ser divididos en tres grupos, dependiendo de los aspectos de los parámetros: **Matriz rocosa:** Estudian las propiedades intrínsecas del material rocoso derivadas de su petrografía, fábrica, textura, etc.; **macizo rocoso:** Evalúan la interacción entre los bloques de matriz rocosa y las discontinuidades que los atraviesan, así como la influencia de factores geológicos y natura les externos al macizo rocoso; y **geotécnico-Constructivos:** valoran las perturbaciones introducidas por la por

esencia y construcción de excavaciones en el macizo rocoso. La consecuencia inmediata de la por esencia de una excavación es la modificación del Estado tensional en el torno a la misma. (Muñoz y González, 1987).

ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCA (RQD)

La relación entre el espaciado de las discontinuadas y RQD ha sido propuesta de manifiesto empírico, analítica y estadísticamente. Entre varias correlaciones para determinar el RQD en función de la frecuencia de discontinuidades, Palmstrom (1975), Priest and Hudson (1976) y Sen (1976). A través de ellas es posible estimar el RQD midiendo el número de discontinuidades en afloramientos. (Ingeotúneles, 1998).

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

λ = Numero de discontinuidades/ Longitud

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)

Bieniawski (1973, 1976) desarrolló su esquema utilizando datos obtenidos principalmente de excavaciones de Ingeniería Civil en rocas sedimentarias en Sudáfrica. El esquema de Bieniawski utiliza cinco parámetros de clasificación:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturamiento en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.

- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

El puntaje total del RMR, está definido por:

$$\text{RMR} = (1 + 2 + 3 + 4 + 5) - 6$$

Cuadro 2.2. Clasificación geomecánica RMR₈₉.

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

Fuente: González de Vallejo, 2002.

Cuadro 2.3. Calidad de macizo rocosos en relación al Índice RMR.

| Clase | Calidad | Valoración RMR | Cohesión (Kg/cm2.) | Ángulo de rozamiento |
|-------|-----------|----------------|--------------------|----------------------|
| I | Muy buena | 100 - 81 | > 4 | > 45° |
| II | Buena | 80 - 61 | 3 - 4 | 35° - 45° |
| III | Media | 60 - 41 | 2 - 3 | 25° - 35° |
| IV | Mala | 40 - 21 | 1 - 2 | 15° - 25° |
| V | Muy mala | < 20 | < 1 | < 15° |

Fuente: González de Vallejo, 2002.

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (RMR)

El desarrollo continuo y la aplicación práctica del criterio empírico de resistencia del macizo rocoso de Hoek-Brown, Hoek (1994) y Hoek et al. (1995) introdujeron un nuevo esquema de clasificación del macizo rocoso conocido como Índice de resistencia geológica (GSI). El GSI fue desarrollado para superar algunas de las deficiencias que se habían identificado al utilizar el esquema RMR con el criterio de resistencia del macizo rocoso. (Brady y Brown, 2006).

El GSI fue desarrollado específicamente como un método para contabilizar aquellas propiedades de un macizo rocoso discontinuo o articulado que influyen en su resistencia y deformabilidad. La resistencia de un macizo rocoso diaclasado depende de las propiedades de los trozos de roca intactos y de la libertad de esos trozos para deslizarse y girar bajo una gama de condiciones de tensión impuestas. Esta libertad está controlada por las formas de los trozos de roca intactos, así como por el estado de las superficies que los separan. El GSI busca dar cuenta de estas dos características del macizo rocoso, su estructura representada por su bloque y grado de entrelazamiento, y la condición de las superficies de discontinuidad. Usando la Figura 2.1 y con algo de experiencia, el GSI puede estimarse a partir de exposiciones visuales del macizo rocoso o del núcleo del pozo. Cabe señalar que el GSI no incluye explícitamente una evaluación. (Brady y Brown, 2006).

Se modifica la versión GSI para Vallejo (2002) con el uso del sistema operativo del dispositivo original y versión original de la computadora antigua y la recomendada. eso es lo que pasa después.

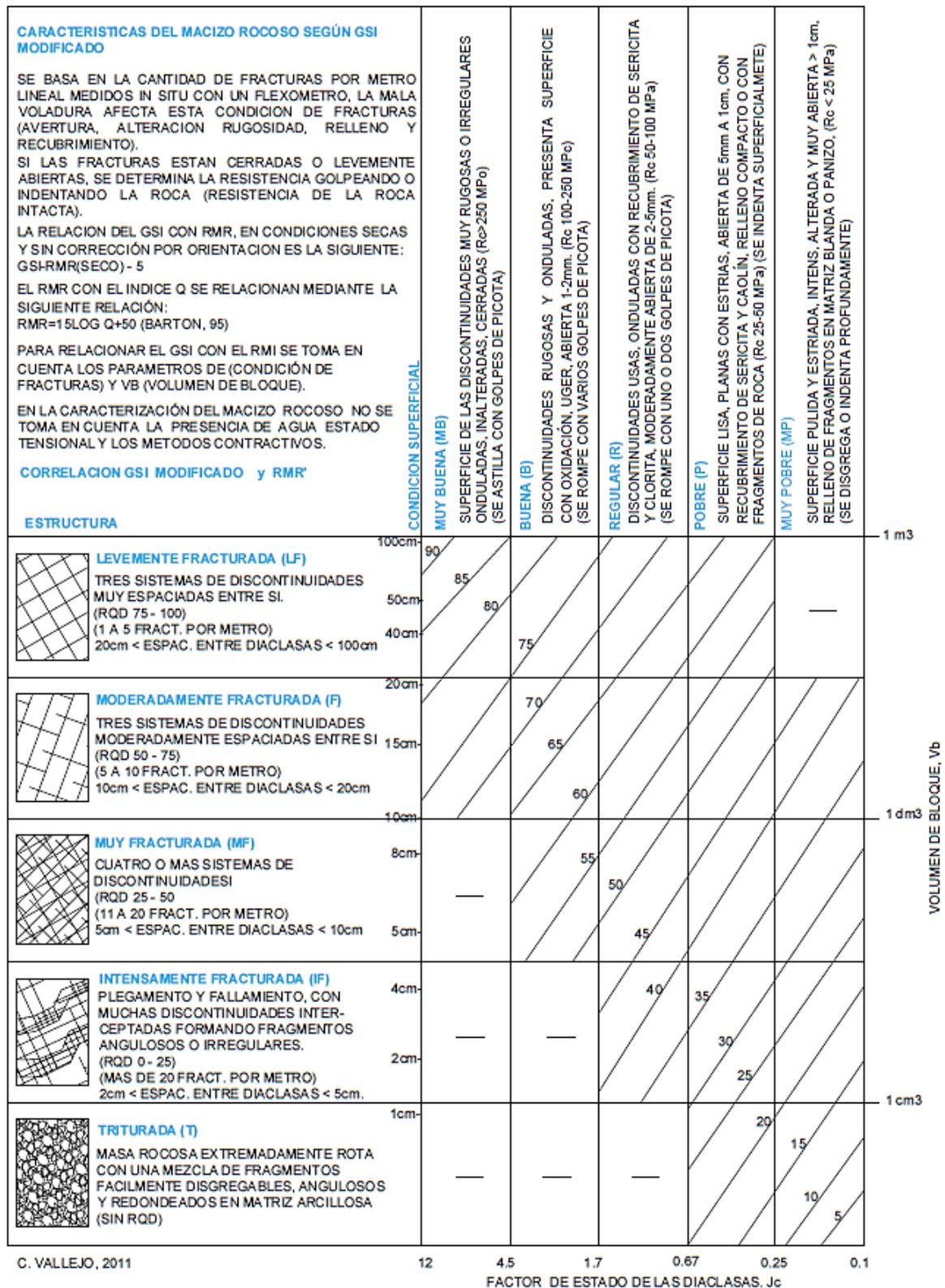


Figura 2.1. Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. Fuente: Osinergmin, 2017.

Se observará que el GSI no incluye explícitamente una evaluación de la resistencia a la compresión uniaxial de los trozos de roca intactos y evita la doble tolerancia para el espaciamiento de discontinuidades como ocurre en el sistema RMR. Tampoco incluye tolerancias para condiciones de agua o estrés que se tienen en cuenta en los análisis tensional y estabilidad con los que se utiliza el criterio de Hoek-Brown. Marinos and Hoek (2000) presenta una serie de gráficos indicativos que muestran las situaciones más probables rangos de valores GSI para macizos rocosos de varias rocas genéricas. (Brady y Brown, 2006).

Cuadro 2.4. Índice geológico de resistencia (GSI).

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

Fuente: Hoek, 2002.

2.1.2 TERMINOLOGÍA DEL DISEÑO DE TALUDES

Los tres componentes principales de un diseño de taludes a tajo abierto son los siguientes: **Primero**, ángulo total del talud del tajo inicia desde la cresta hasta el pie del talud incorporando todas las rampas y bancos a diseñar. Esta puede ser un talud compuesto con unos taludes más planos en materiales superficiales más débiles y un talud más pronunciado en la roca más competente en profundidad. Además, el ángulo del talud puede variar alrededor del tajo para adaptar tanto la geología diferente como el diseño de la rampa. **Segundo**, ángulo entre rampas del talud, o taludes, situadas entre cada rampa dependerá del número de rampas y sus anchuras. y **Tercero**, ángulo de la cara libre de los bancos individuales depende de la separación vertical entre bancos, o los bancos múltiples combinados, y el ancho de los bancos necesarios para contener caídas de rocas menores. (Wyllie y Mah, 2004).

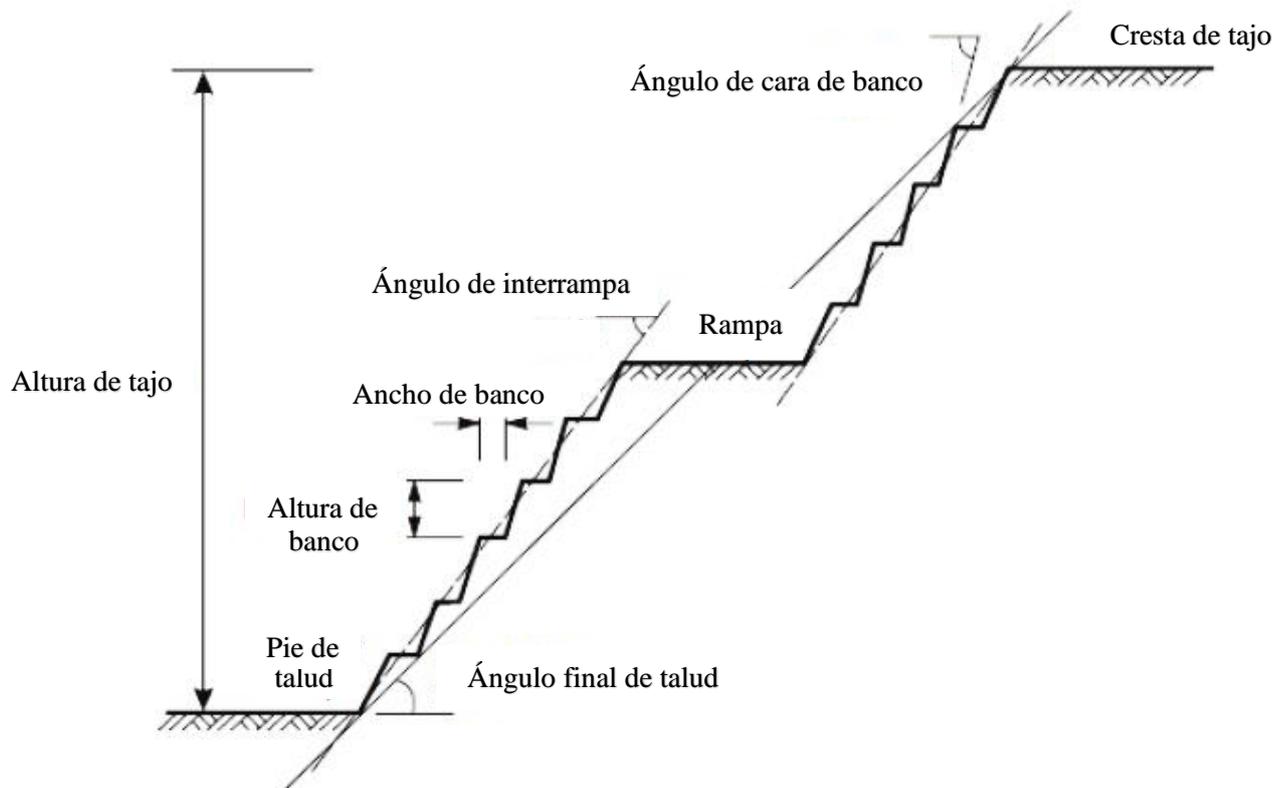


Figura 2.2. Geometría típica de talud a tajo abierto mostrando la relación entre el ángulo de talud general, el ángulo inter-rampa y geometría del banco.
Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

El factor real de seguridad, probabilidad de falla o tensión permisible que se usa en el diseño debe ser apropiado para cada lugar. El proceso de diseño requiere cantidades considerable de sensatez debido a la variedad de factores geológicos y de construcción que deben considerarse, como lo siguiente:

- Programa de perforación limitado que no muestrea adecuadamente las condiciones del lugar, o el núcleo de perforación en el que hay una rotura mecánica extensa o pérdida de núcleo.
- Ausencia de afloramiento rocoso, por lo que no es posible el mapeo de la estructura geológica.
- Incapacidad para obtener muestras inalteradas para ensayos de resistencia.
- Ausencia de información de las condiciones hidrogeológicas y fluctuaciones estacionales significativas en los niveles de agua.

- Incertidumbre en los mecanismos de fallamiento del talud y la fiabilidad del método de análisis.
- Ansiedad al elaborar la construcción o movimiento de masas de la ladera o talud, mediante el personal calificado, tipo de materiales, supervisiones continuas y extracción de material excedente

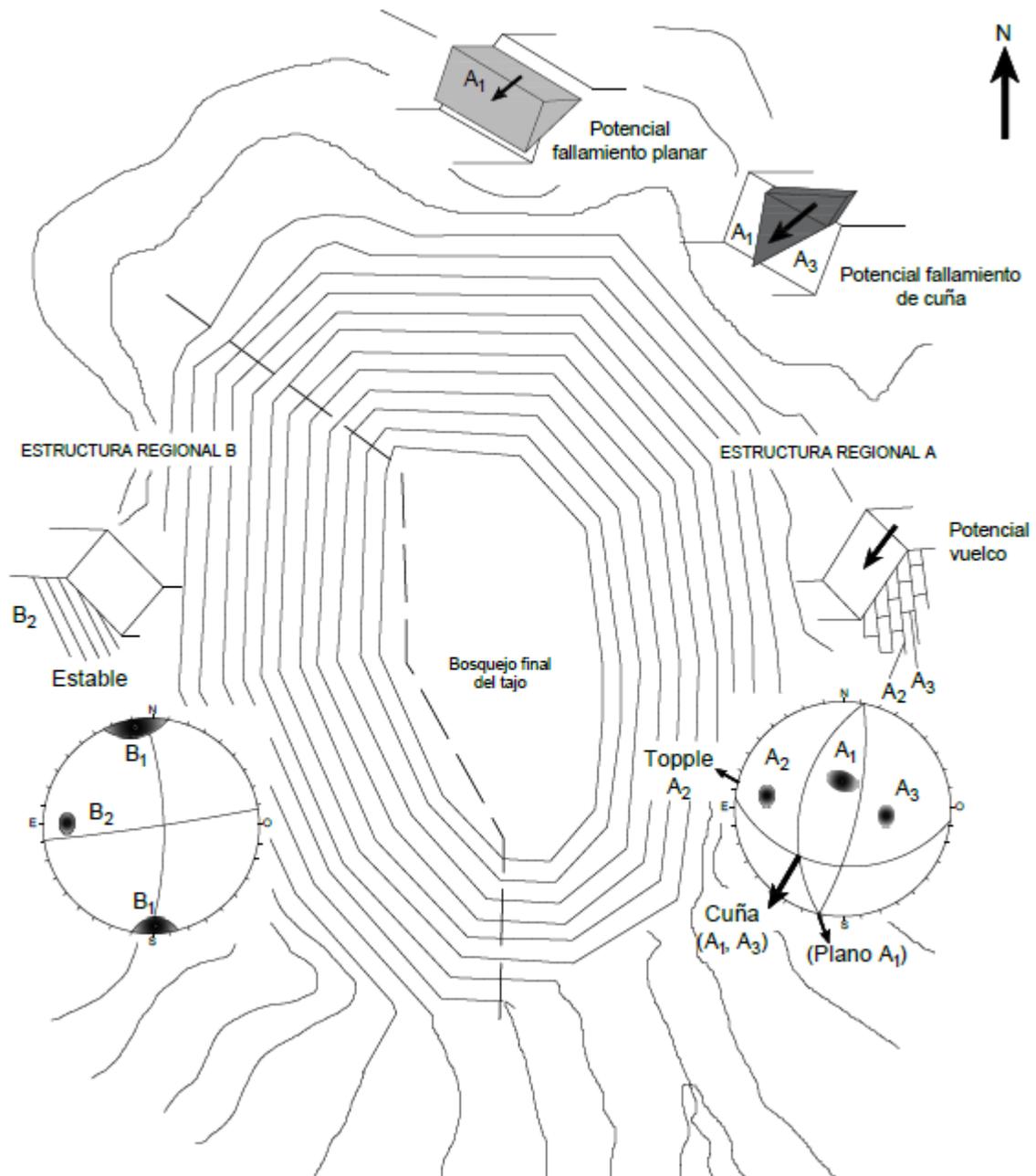


Figura 2.3. Presentación de la geología estructural en falsilla, y evaluación preliminar de la estabilidad de los taludes de la mina propuesta a tajo abierto.
Fuente: Wyllie y Mah, 2004.

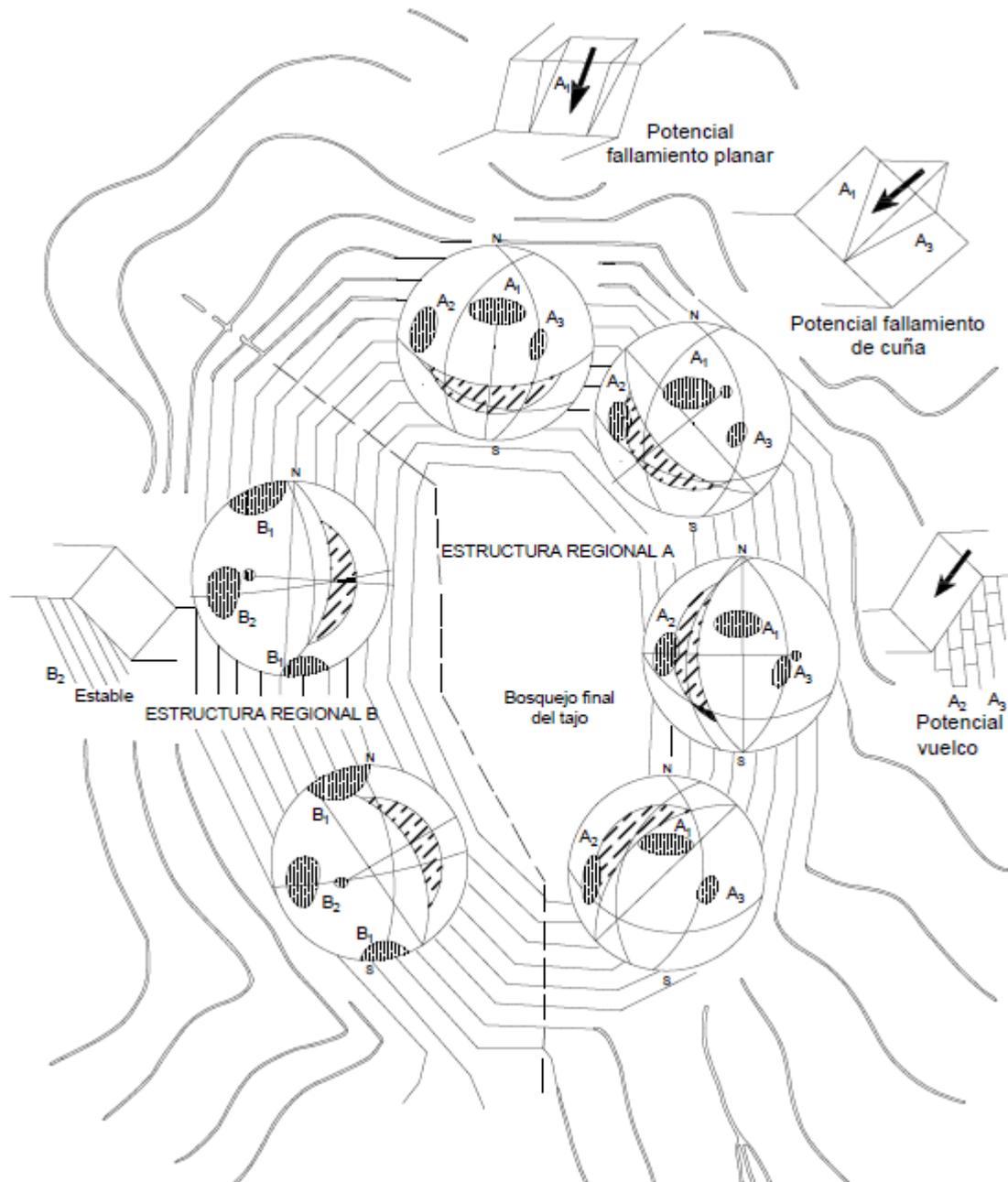


Figura 2.4. Presentación de información de geología estructural y evaluación preliminar de estabilidad de taludes de una mina a cielo abierto propuesta (Hoek y Bray, 1977).
Fuente: Hustrulid et al., 2013.

2.1.3 APLICACIONES DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO NUMÉRICO

Taludes a tajo abierto: Durante los estudios de factibilidad en una mina a tajo abierto, se requiere estimación del talud para segura el cálculo de proporciones de residuos de mineral y disposición preliminar del tajo. La única información estructural que puede estar disponible en esta etapa es la que se ha obtenido de los logueos de perforación de diamantina para fines de evaluación de minerales y

del mapeo de afloramientos superficiales. Proporcionando la base para el diseño preliminar de talud. Siendo presentado en el plan de minado del tajo abierto propuesto y superponiéndose a este plan diagramas de proyecciones estereográficas de datos estructurales. Identificado dos regiones estructurales distintas, denotadas por A y B, y el límite entre estas regiones se ha marcado en el plan minado, fallamientos mayores, incluyendo planos evaluando los posibles problemas de estabilidad asociados con estas fallas.

2.1.4 LINEALIZACIÓN DEL CRITERIO HOEK-BROWN

Puell, Arenillas y De La Puente, (2004). 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

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 la práctica este método es difícil de aplicar porque los programas de cálculo suelen caracterizar el terreno con valores: c y ϕ , 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). Proporcionando 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).

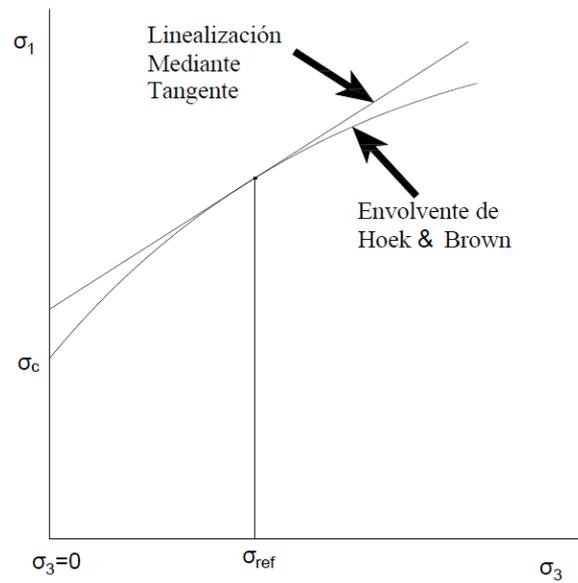


Figura 2.5. Representación gráfica de linealización del criterio rotura de Hoek y Brown mediante el método de la tangente.

Fuente: Puell, Arenillas y De La Puente, 2004.

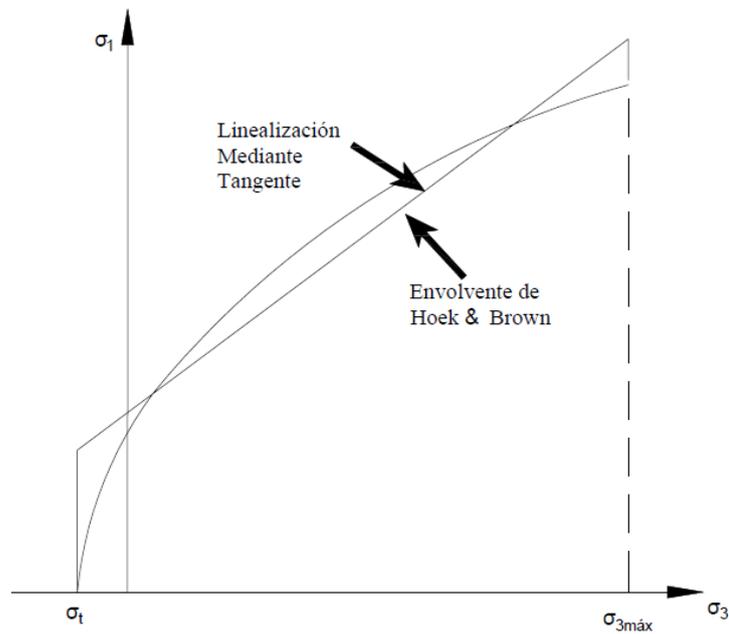


Figura 2.6. Representación gráfica de linealización del criterio de Hoek y Brown mediante el método de la equivalencia de áreas.

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: σ_1 la resistencia a la tracción y $\sigma_3 \max$ la presión de confinamiento máxima. (Puell, Arenillas y De La Puente, 2004).

2.1.5 CARTOGRAFIADO GEOLÓGICO

Un mapa geológico es la representación en dos dimensiones de la intersección de los diferentes elementos geológicos con la superficie terrestre. Por lo tanto, un mapa geológico debe presentar dos tipos de información: la información topográfica y la información geológica. (Pozo, González y Giner, 2021).

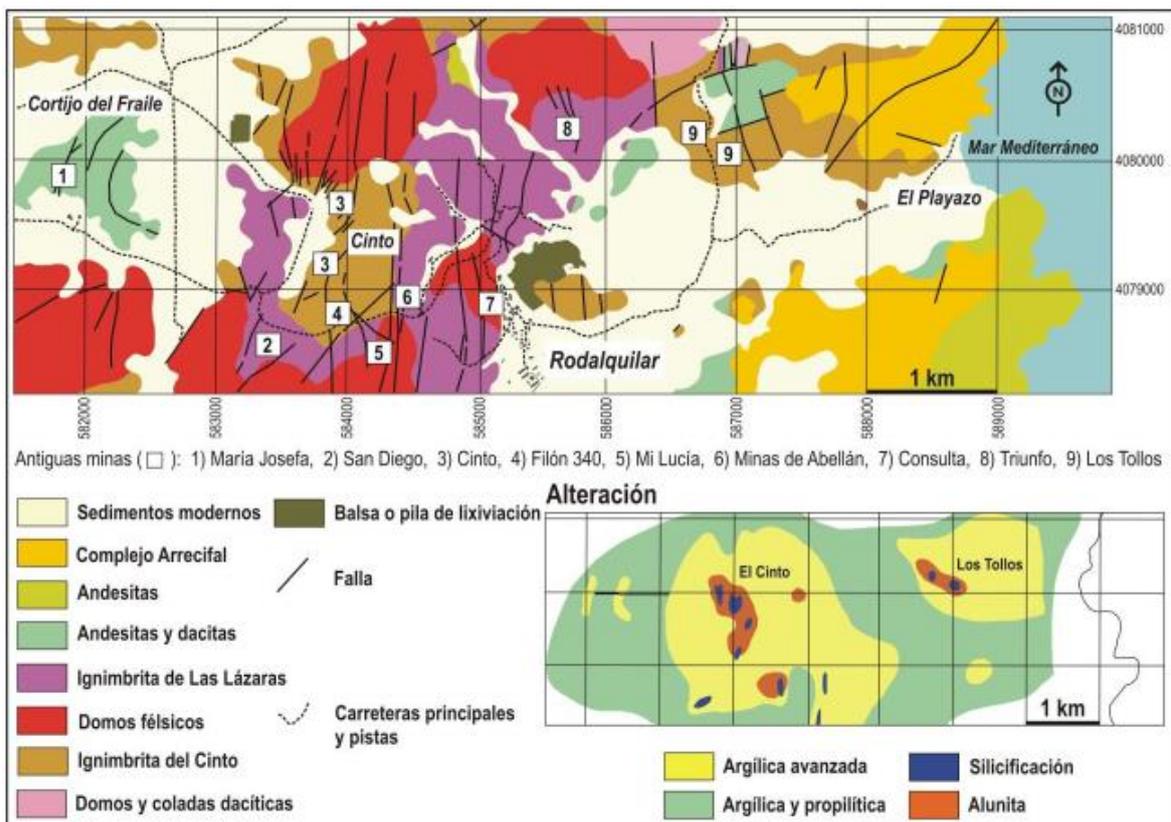


Figura 2.7. Cartografiado geológico del distrito Minero de Rodalquilar. Fuente: Lillo y Oyarzun, 2013.

El reconocimiento y mapeo detallado de estructuras geológicas (posición de pliegues, dirección de movimiento de fallas, disposición de diaclasas) proporciona información sobre cómo y por qué se deforma la corteza. Estos datos son fundamentales en la exploración de recursos minerales (petróleo, gas y carbón), en el estudio de aguas subterráneas, en la construcción de grandes obras de ingeniería (presas de embalse, autopistas, túneles) y en la evaluación de estabilidad tectónica de una región (prevención de riesgo geológico asociado a terremotos). (Echeveste, 2018).

2.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Talud: Cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. (Álfaro, 2003).

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

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).

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

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

Ángulo de Fricción (ϕ): el ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física. El ángulo de fricción en suelos granulares secos coincide con el ángulo de reposo. Todos los suelos poseen fricción. Sin embargo, a los suelos arcillosos con fricción muy baja o despreciable, se les denomina suelos cohesivos: $\phi=0$. (Suarez, 2009).

Diaclasa: Son fracturas en rocas a lo largo de las cuales apenas o ningún movimiento ha tenido lugar. (Lisle y Lesión, 2002).

Método cinemático: Estudia el movimiento de bloques de roca formado por discontinuidades totalmente persistentes sin tomar en cuenta las fuerzas que a este se le puedan aplicar y el peso del mismo. (Suarez, 2015).

Caída de rocas: Se usa típicamente para material suelto que cae o rueda desde las caras. Como tal, se trata principalmente de una cuestión de seguridad, aunque posiblemente podría ser un precursor de inestabilidad a mayor escala. (Read y Stacey, 2009).

Criterio de rotura: Relación entre tensiones que permiten predecir la resistencia de una roca sometida a un campo tensional. Refiriéndose a la resistencia de pico, aunque también se pueden emplear para la resistencia residual. (Ramírez y Alejano, 2013).

Modelo geomecánico: Cuantifica diversos parámetros que componen el modelo geológico para que puedan utilizarse en los cálculos propios del modelo matemático. (Ramírez, et al., 2008)

Método minero: Proceso iterativo tanto del punto de vista temporal espacial, que permite llevar a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de conjunto de sistemas, procesos y maquinarias que operan de forma ordenada, repetitiva y rutinaria (Herrera, 2006). **Fracturación del macizo:** Relación con el número y características de las fracturas: Espaciado, tipo y estado, etc. (Rodríguez, 2007).

Fracturación del macizo: Relación con el número y características de las fracturas: Espaciado, tipo y estado, etc. (Rodríguez, 2007).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

Las actividades mineras no metálicas de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., están ubicada en el lugar Bellavista - Congona, centro poblado: Apan bajo, distrito - provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca; al N de la ciudad de Cajamarca y NE de Bambamarca, pertenecen a la concesión Colquirrumi N° 49-C. Siendo emplazado las actividades extractivas de materia prima y procesamiento de cal y sus derivados, en la margen derecha de la cadena montañosa occidental; por consiguiente la materia prima está conformada por caliza de la formación Cajamarca del cuadrángulo de Chota 14-f. Sin embargo, el punto de referencia está concesionado en el INGEMMET del catastro minero utilizando el sistema de coordenadas UTM DATUM WGS84 – ZONA 17S, siendo ubicado en una zona rocosa del centro poblado: Apan bajo, donde se realizan las operaciones mineras productivas de cal.

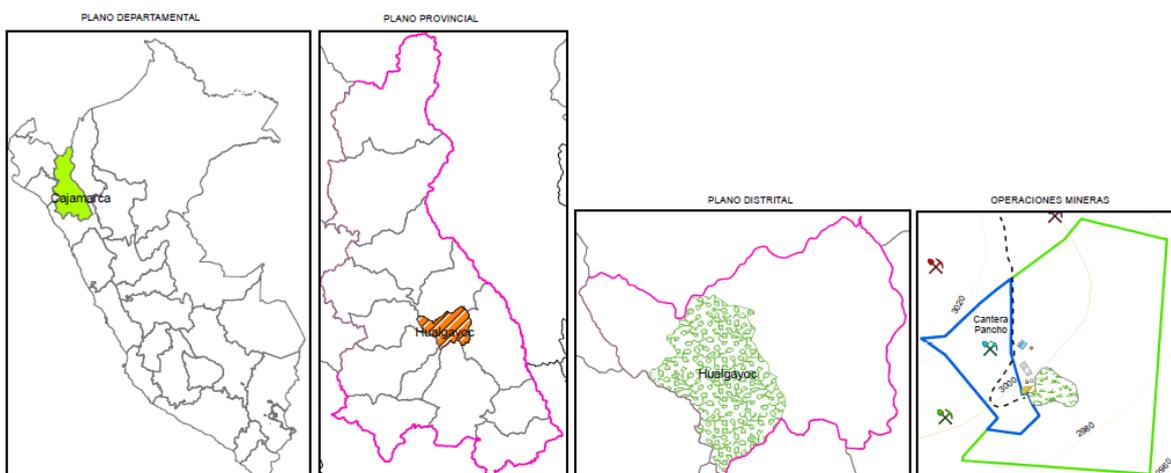


Figura 3.1. Planos políticos de ubicación de las operaciones mineras Minera Nueva Unión E.I.R.L.

Cuadro 3.1. Coordenadas del área de investigación de la Minera Nueva Unión E.I.R.L.

| Vértice | Este (m.) | Norte (m.) |
|---------|------------|-------------|
| a | 770025.451 | 9255481.509 |
| b | 770108.636 | 9255460.871 |
| c | 770111.970 | 9255461.030 |
| d | 770094.857 | 9255216.396 |
| e | 769902.197 | 9255230.366 |
| f | 769902.673 | 9255234.969 |
| g | 769938.392 | 9255274.181 |
| h | 769883.814 | 9255340.618 |
| i | 769857.779 | 9255357.128 |
| j | 769885.044 | 9255357.462 |
| k | 769883.059 | 9255359.115 |
| l | 769899.265 | 9255372.345 |
| m | 769920.762 | 9255394.173 |
| n | 769937.299 | 9255407.733 |
| o | 770006.421 | 9255457.342 |

3.2 ACCESIBILIDAD

La accesibilidad se inició desde la ciudad de Cajamarca, utilizando camioneta particular para el traslado de ayudantes, equipos y materiales para la obtención de información real de campo, siendo conformado la ruta de tramos en condiciones: Buenas, regulares y malas. Presentando la siguiente ruta: Iniciamos de la Av. Evitamiento Norte con Jr. Angamos con dirección a Bambamarca tomando orientación NW siguiendo la carretera: Asfalta y afirmada, siguiendo la misma orientación llegando a la escuela de Apan Bajo (carretera a Bambamarca), luego cambiando a trocha carrozable con rumbo SE llegando al caserío Bellavista lugar donde se encuentra la zona de estudio - Minera Nueva Unión E.I.R.L.



Figura 3.2. Ruta de recorrido al Centro Poblado Apan Bajo – Hualgayoc.
Fuente: Google Maps, 2024.

Cuadro 3.2. Acceso a las operaciones Minera Nueva Unión E.I.R.L.

| Tramo | | Estado de Vía | Vía | Transporte | Recorrido | |
|---------------------|---------------------|---------------|-----------|------------|-----------------|-------------|
| De | A | | | | Distancia (Km.) | Tiempo (h.) |
| Cajamarca | Salida a Bambamarca | Regular | Terrestre | Camioneta | 01+500 | 00:10 |
| Salida a Bambamarca | Apan Bajo | Regular | Terrestre | Camioneta | 80+000 | 02:30 |
| Apan Bajo | Caserío Bellavista | Mala | Terrestre | Camioneta | 04+000 | 00:30 |
| Total | | | | | 85+500 | 03:10 |



Figura 3.3. Centro poblado Apan Abajo - ingreso al caserío Bellavista – Congona, a instalaciones de la Minera Nueva Unión E.I.R.L.
Fuente: Google Earth Pro, 2024.

3.3 METEOROLOGÍA Y PRECIPITACIÓN

Las instalaciones de la actividad minera están emplazadas en climas variantes durante el día y estaciones del año, marcando temporadas de: Friaje, calurosos y heladas, con temperaturas promedio: Mínima – 6°C a 15°C y máxima – 15°C a 23°C, que varían durante todo el año, evidenciándose por los enfriamientos durante la noche clara originando heladas, afectando el área de investigación, afectando la producción en la extracción de roca caliza y área de beneficio de planta. Por consiguiente, las precipitaciones son constantes durante el año, presentado altos valores (mm/mes) en los meses: Diciembre a mayo y disminución en los meses: Junio a noviembre, por consiguiente, se propuso construir zanjas de coronación en lugares estratégicos para evitar el transporte por escorrentía de sedimentos de composición Limo arcillosa que afectarían las partes bajas de los pobladores generando impactos ambientales significativos. Para obtener el diagrama meteorológico se utilizó información hidrometeorológicos del SENAMHI, tipo: convencional-meteorológica, ubicada en Bambamarca con código: 100015, Latitud: 6°40'35.58''S, Longitud: 78°31'06.01''W, Cota: 2495 msnm.; distrito: Bambamarca, provincia: Hualgayoc y departamento: Cajamarca. Fuente: SENAMHI, 2023-2024

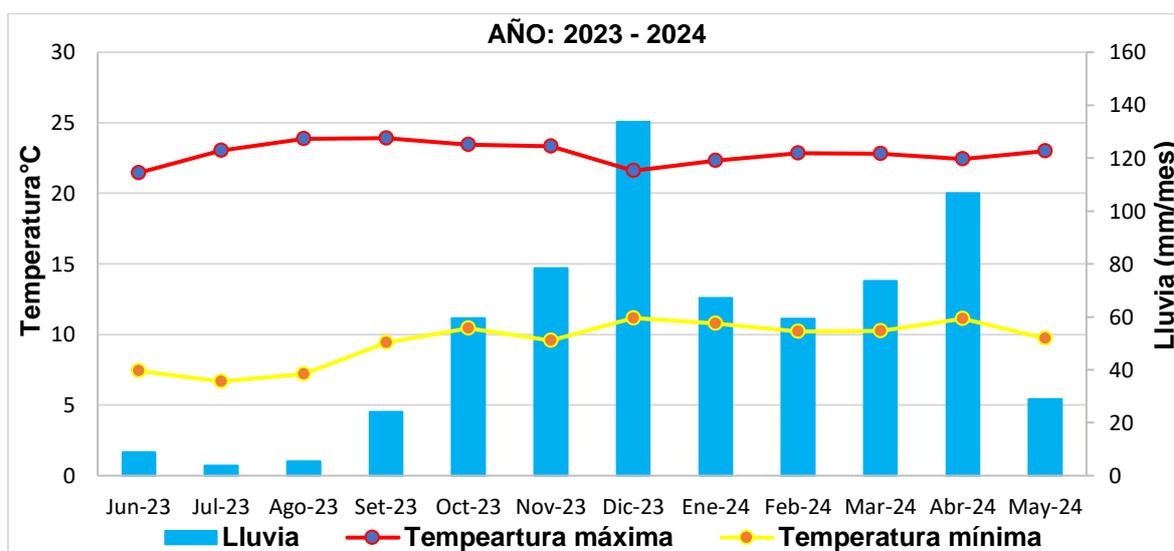


Figura 3.4. Variograma meteorológico en función: Temperatura y precipitación, año: 2023-2024.

Fuente: SENAMHI, 2023-2024.

3.4 HIDROLOGÍA

La hidrología de la subcuenca del río Arascorgue - cuenca del río Llaucano, está delimitada por el río Arascorgue con orientación de flujo WNW-ESE de aguas pluviales. Las operaciones mineras no metálicas de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. se ubica a 850 m. de distancia del río Arascorgue se en la orientación SW, delimitada por la zona montañosa de la Cordillera Occidental del Centro Poblado de Hualgayoc - nacimiento, en la microcuenca del río Arascorgue, con orientación SWW. Específicamente en el Centro Poblado La Tauna, a altitud de 3,200 msnm., con distancia 1.73 Km. hacia el SWW-NNE distrito Hualgayoc - nacimiento y 3,700 msnm. con distancia 1.52 Km. (hacia el NEE, el Centro Poblado de Chulipampa), confluyendo estos dos efluentes; así formando el río del mismo nombre siguiendo la orientación SW-NE, en el Centro Poblado de Arascorgue confluyendo con la quebrada El Tragadero (Naciente en el Centro Poblado de Apan bajo 3,038 msnm. con orientación SWW-NEE en el Centro Poblado de Chilcapampa) en la cota 2,700 msnm. formando el río del mismo nombre con orientación W-E, a su vez formando aguas abajo el río Llaucan en la cota 2,600 msnm. con orientación NNE a Bambamarca; para formar aguas abajo el río Crisnejas, siendo este último uno de los afluentes del río Marañón que nace en el SW del departamento de Huánuco en la Provincia de Lauricocha recorriendo aproximadamente 1,600 Km., donde dicho río es un afluente principal del río Amazonas que tiene una longitud de recorrido de 7,062 km. desembocando en el Océano Atlántico.

Actualmente las operaciones mineras están generando un tajo de explotación de buzamiento de talud: 85° a 90°, siendo delimitada por la superficie libre o extraída presentando una forma cóncava por la sobre extracción de roca, en tal consecuencia está ocasionando acumulación de agua por la precipitación pluvial y escorrentía, formando un embalse artificial afectando las operaciones extractivas de roca como: Movimiento de tierras, perforación – voladura, transporte y acarreo, por consiguiente se está realizando de manera progresiva bombeos de agua por motobombas evacuándolas a cunetas de coronación para no afectar la área: Explotación y beneficio del proyecto; así mismo no generando afectaciones en las partes bajas del área de influencia directa y pobladores aledaños cercanos al proyecto minero.



Figura 3.5. Vista panorámica del curso del río Arascorgue, ubicada a 850 m. de las operaciones mineras de la Minera Nueva Unión E.I.R.L.

Cuadro 3.3. Precipitación máxima en 24 horas, aplicando la altitud media; mediante la estación Bambamarca.

| 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 |
| 2023 | 134.90 | 114.20 | 113.60 | 92.80 | 85.75 | 8.90 | 3.70 | 5.40 | 24.20 | 86.05 | 81.60 | 133.60 | 134.90 |

Fuente: SENAMHI, 2023-2024.

De acuerdo con el Cuadro 3.2 y Figura 3.7, se observa precipitaciones (mm), por mes y año, obteniendo valores desde: 2017 al 2022 - alta precipitación con valoraciones constantes a homogéneas, media precipitación 2023 y baja precipitación 2013 a 2016. En tal sentido en los últimos 5 años están aumentando las precipitaciones pluviales afectando las instalaciones mineras sobre todo el área de explotación de roca caliza, paralizando cuando ocurren fuertes tormentas eléctricas.

Cuadro 3.4. Parámetros hidrológicos de la microcuenca de la Minera Nueva Unión E.I.R.L.

| Nombre de cuenca | Área (m ² .) | Longitud del cauce principal (m.) | Cota mayor (msnm.) | Cota menor (msnm.) | Pendiente (m/m) | Tc (min.) |
|------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------|
| MC-1 | 34,575.64 | 295.42 | 3037 | 2984 | 18 | 9.66 |
| MC-2 | 9,698.96 | 115.90 | 3034 | 3007 | 23 | 5.10 |
| MC-3 | 5,626.32 | 144.62 | 3021 | 2988 | 23 | 5.94 |

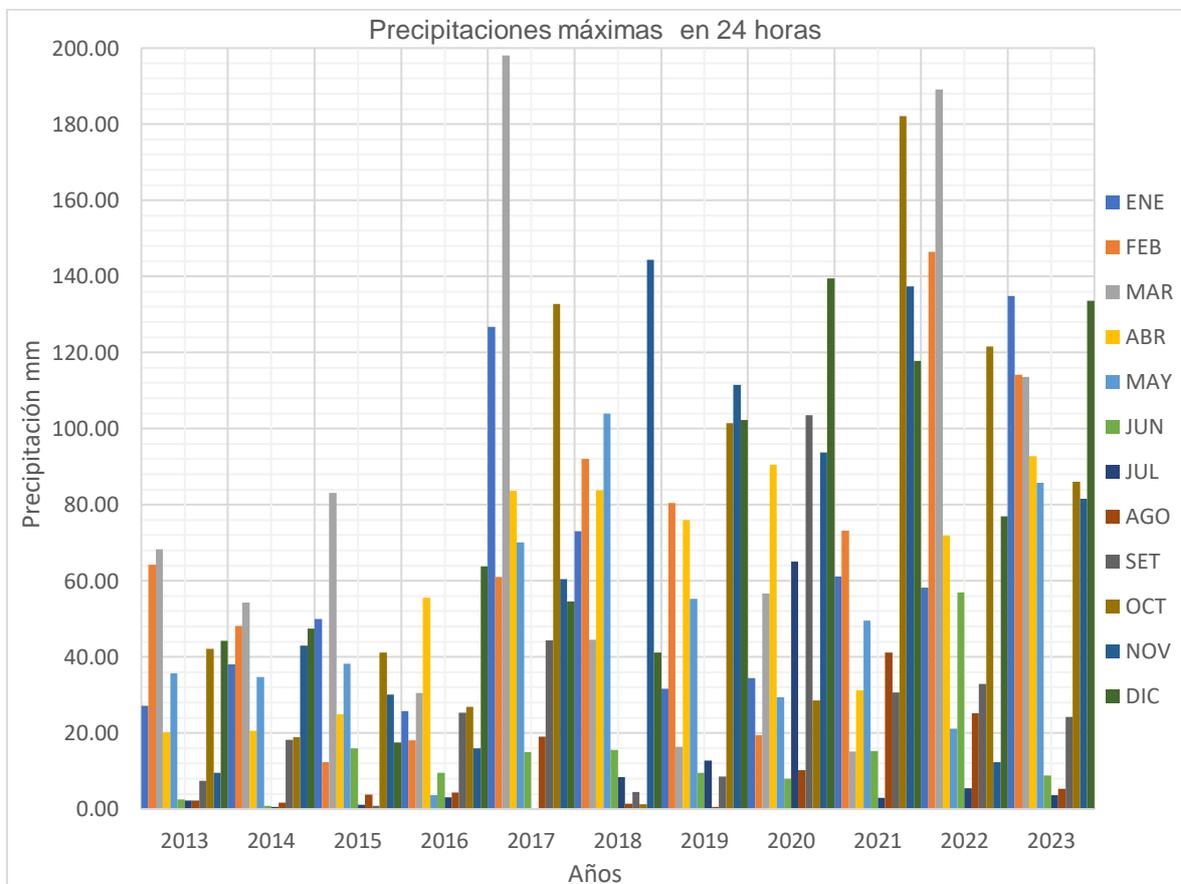


Figura 3.6. Diagrama estadístico meteorológico de la precipitación máxima mensual, desde año: 2013 a 2024.
Fuente: SENAMHI, 2024.

3.5 HIDROGEOLOGÍA

Las aguas subterráneas se encuentran delimitadas por el flanco izquierdo del sinclinal de orientación WNW-ESE, con plegamientos del Cretáceo: Superior e Inferior, con $Bz = 13^\circ$ a 20° SW-NE; y esfuerzos tectónicos SSW-NNE; presentando plegamientos apretados, en su secuencia estratigráfica. Litológicamente se ubica en el Mesozoico – Cretáceo Superior – Formación Cajamarca y recubrimientos de Depósitos Cuaternarios del Holoceno, como Depósitos: Deluviales, Eluviales y Antrópicos; desde la edad Turoniana a Versiliana, hace 85.75 Ma. hasta la actualidad. Sin embargo, el comportamiento hidrogeológico está compuesto por dos unidades: **Acuitardo sedimentario** – Formación Cajamarca, presentando agua entre sus poros dejando fluir con dificultad a las partes bajas del divortium acuarium; en cambio los **acuíferos porosos no consolidados** del periodo Cuaternario – época Holoceno, está constituido por Depósito: Deluviales, Eluviales y Antrópicos, son acuíferos de baja productividad de agua subterránea en este caso porque solo constituyen coberturas de bajo espesor cuaternaria que cubren al basamento rocoso y por estar ubicados fase: Juvenil – alta, de la cuenca de hidrológica. Por consiguiente, la secuencia estratigráfica tiene orientación NE, manteando los estratos y dirección de flujo al río Arascorgue, sobre todo la margen derecha evacuando todas sus aguas al cauce principal - río Arascorgue. Por lo contrario, las operaciones mineras se encuentran en la margen izquierda a una distancia horizontal 850 m. y distancia vertical 220 m., como nivel de referencia de afectación de aguas subterráneas por la explotación no metálica de la empresa Minera Nueva Unión E.I.R.L. no afectando acuíferos subterráneos por: Escorrentía e infiltraciones, y no presentando nacientes de agua subterránea en el tajo de explotación, siendo delimitado el caudal base o nivel freático en el río Arascorgue. Además la estratificación tiene orientación (Az/Bz) $N56^\circ/23^\circ$ SE, relacionándose con el buzamiento con las líneas de flujo, y también la permeabilidad: Primaria y secundaria, generando disolución de las rocas calizas de geomorfología kárstica por la disolución de carbonatos, evidenciándose en el afloramiento y superficie de la roca como: Lenares, dolina, pozos, etc., siendo en algunos de los casos rellenadas por Depósitos Deluviales de color: Castaño a marrón claro, siendo materiales de consistencia firme y estructura fisurada.

3.6 GEOLOGÍA LOCAL

Litológicamente abarca desde la edad Turoniana: 85.75 Ma. a 93.9 Ma., constituida por bancos de espesor: 0.80 m. a 2.50 m. de roca caliza de la Formación Cajamarca de orientación (Az/Bz) N56°/23°SE, caliza mudstone de fracturamiento concoidal, clasificado según Folk 1962 – Figura 3.8, como caliza micrita ortoquímica de acuerdo con los contenidos: Aloquímicos, micrita y esparita; y según Dunham 1962 – Figura 3.9, como caliza mudstone de acuerdo con los aspectos textura deposicional de formación de la roca calcárea. Presentando con $\sigma_{ci} = 120$ MPa., presentando blocosidades de forma: Tabulares a cúbicos, en el tajo de explotación, de calidad: Regular, buena a muy buena; con bancos calcáreos de secciones de corte: 10:1 y 8:2.

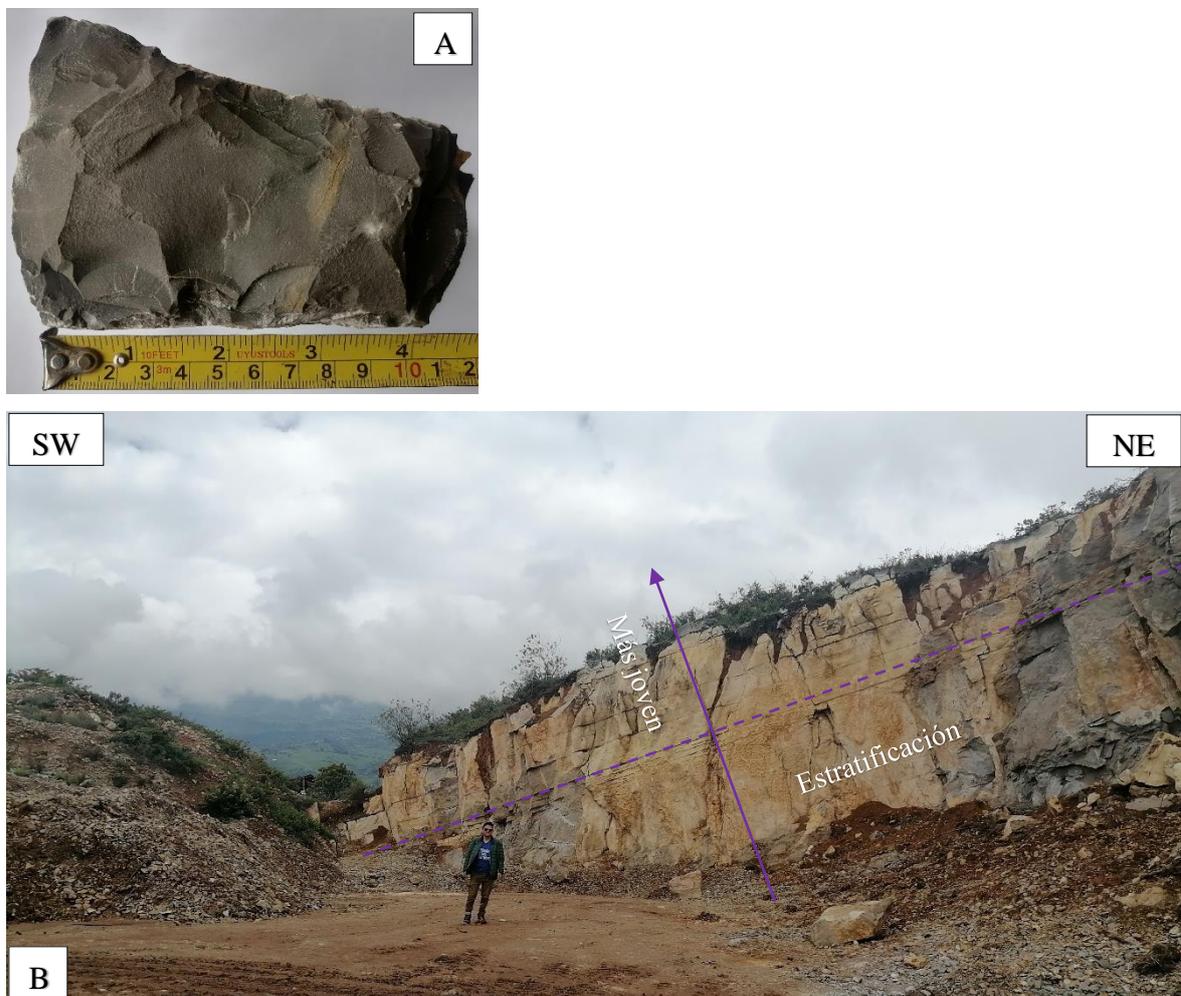


Figura 3.7. A. Roca caliza. B. Vista del tajo de explotación, delimitada por secuencias estratigráficas de la Formación Cajamarca – Empresa Minera Nueva Unión E.I.R.L.

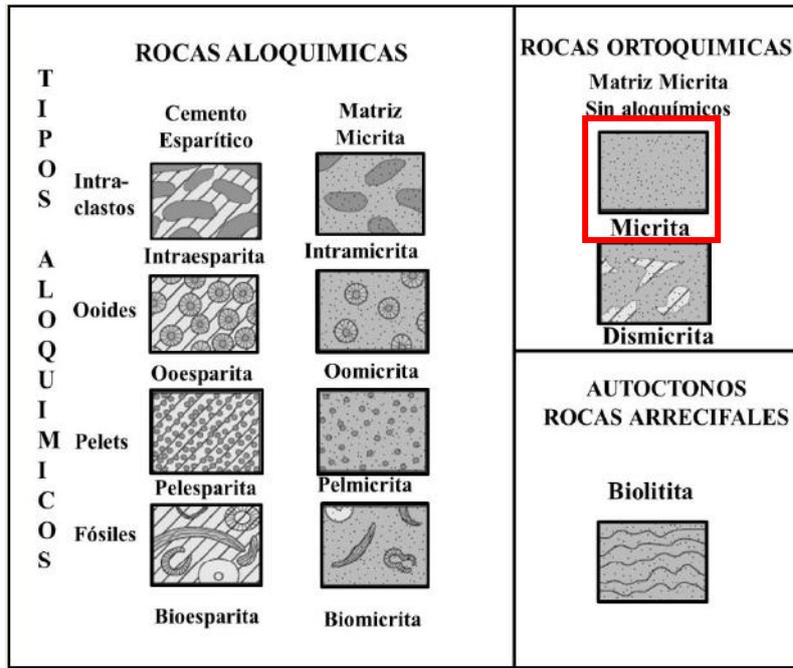


Figura 3.8. Clasificación de rocas carbonatadas - Folk
Fuente: Folk, 1962

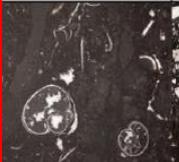
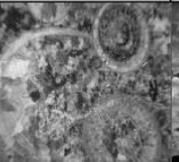
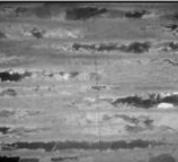
| Textura original reconocible | | | | | Textura original no reconocible |
|---|---|---|---|--|---------------------------------|
| Componentes originales no enlazados durante el deposito | | | | Componentes originales enlazados | |
| Con matriz (carbonatos con tamaño arcilla o limo) | | Sin matriz y granosostenida | | | Boundstone |
| Sostenida por la matriz | | Granosostenida | | Mudstone | |
| Menos del 10% de grano | Mas del 10% de grano | | | | Grainstone |
|  |  |  |  |  | |

Figura 3.9. Clasificación de rocas carbonatadas - Dunhan
Fuente: Folk, 1962

Estratigráficamente las secuencias calcáreas van variando su resistencia, y composición calcárea, el miembro superior está conformado por secuencias de 0.50 m. a 0.75 m. de composición calcárea micrita con intraclastos y fracturamiento concoidal, por consiguiente, el miembro inferior presenta bancos 1.00 a 2.50 m. siendo rocas de fracturamiento vidrioso y menor resistencia, siendo calizas de ambientes marinos tropicales de poca profundidad. Por consiguiente se evidencio sectores de estilolitos en el tajo de explotación sobre todo en el miembro medio por los contactos irregulares de simetría ondulada entre planos estratigráficos,

producidos por la disolución de rocas calcáreas; habiéndose sido sometidas a presiones elevadas presentando entre ambos planos de estratos materiales arcillosos con bandeamientos de 1 mm a 2 mm. de espesor, conformando espesor total 1 cm. a 2.50 cm., en el botadero de residuos minerales insolubles disminuyendo la permeabilidad de la roca. Sin embargo, otros sectores presentan superficies de estilolitos de clase 2, por aumento de la amplitud con la profundidad desde 1 cm. a 5 cm. relacionado por la sobrecarga de esfuerzo tectónico.



Figura 3.10. Botadero provisional conformado por rocas de bajo porcentaje de cal.

El material conformado por rocas de bajo porcentaje de cal será ubicado para su secuencia de calcinación en los hornos, siendo conformados por materiales < 13 pulg. y > 3 pulg. de diámetro, mezclado internamente en las operaciones mineras para ser vendido como material de afirmado, así evitando acumulaciones excesivas de material desechable.



Figura 3.11. Afloramiento calcáreo estratificado subhorizontal de calidad regular, siendo un sector de meteorización: Leve a moderada y fracturamiento medio.

3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las geoestructuras están constituidas por: Grado de fracturamiento, fallas geológicas y plegamientos; del macizo rocoso, a nivel: Local y regional. Sin embargo, los alineamientos tectónicos de la cordillera andina, se ubica en el flanco izquierdo del sinclinal - Apan Bajo de orientación WNW-ESE, originando plegamiento del Cretáceo: Superior e Inferior, formando estructura asimétrica de $Bz = 13^\circ$ a 20° SW-NE; y esfuerzos tectónicos SSW-NNE. Disipándose los esfuerzos principales por medio de fallas geológicas afectando al basamento rocoso de la Formación Cajamarca, así mismo delimitadas tres discontinuidades (Az/Bz): $N64^\circ/19^\circ$ SE, $N332^\circ/81^\circ$ NE y $N235^\circ/68^\circ$ SW; formando blocosidades de forma: Tabular, cúbica y prismática, de tamaño: 0.30 m. a 1.50 m. por diaclasamientos: Sub-horizontal y vertical, por la sobreexcavación del frente de explotación por: Intersección de juntas y polos, aumentando los fallamientos: Planares, cuneiforme y vuelco.

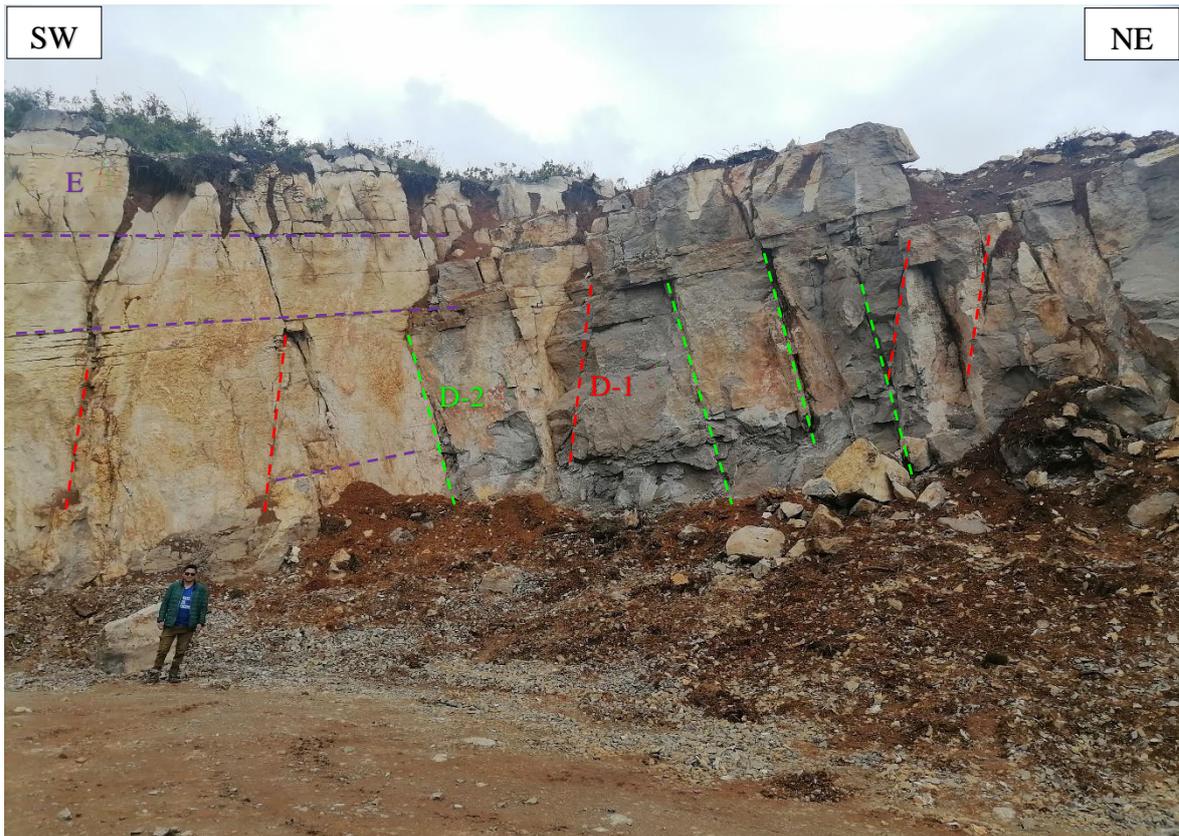


Figura 3.12. Tres familias de discontinuidades que conforman el macizo rocoso, delimitando fallamientos: Planares, cuñas y vuelcos; a favor de la cara libre del tajo de explotación.

Sin embargo, al norte de las instalaciones mineras se evidenciaron brechas de diámetros: 0.025 m. a 0.075 m., constituidos por clastos angulosos y matriz cementante carbonatada conformando espesores: 0.10 m. a 0.15 m., del tipo pull-apart/falla normal, siendo el movimiento tectónico principal del área de investigación. Por consiguiente fragmentos calcáreos de 0.01 m. a 0.05 m., formaron estructuras brechosas englobadas por gouge de color castaño de movimiento cinemático orientación (Az/Bz) = N330°/69°NE y pitch = 28° - falla dextral, así mismos fallamientos de movimiento sinistral con orientación (Az/Bz) = N350°/81°NE y pitch = 29°; afectado por brecha de falla de espesor: 0.35 m. a 0.40 m. conformado por fragmentos de rocas angulosas de 0.035m. a 0.05 m. y matriz cementante calcárea.

3.8 GEOMORFOLOGÍA

3.8.1 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Las unidades geomorfológicas fueron propuestas por la clasificación de Rodríguez 2016 (Tesis de maestría) teniendo como base en el área de estudio están delimitadas por: Modelamientos erosionables, tectónicos y geodinámicos, por el paso del tiempo fueron adquiriendo geoformas por factores externos que afectan a la corteza terrestre, como se logró evidenciar en campo geoformas: Planicies, lomadas y laderas.



Figura 3.13. Vista panorámica del tajo donde se logra evidenciar en campo geoformas: Planicies, lomadas y laderas.

Las instalaciones no metálicas de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. son: Planicies lo conforman el sector E con alineamiento N-S, con pendientes que fluctúan: 0° a 7°, ubicándose en las áreas libres de las instalaciones mineras, siendo aun áreas no explotadas por las actividades mineras, conformando un área aproximada de 8,000.00 m². Equivalente a la quinta parte del área total.

presentando Depósitos Deluviales de espesor 1.20 m a 2.50 m. que cubren al basamento rocoso; Las Lomadas, actualmente lo conforman toda el área superficial del proyecto minero no metálico presentando pendientes que oscilan: 8° - 15°, con superficies onduladas a subredondeadas ubicándose el tajo de explotación NW, constituyendo un área de 33,000.00 m². Equivalente a tercera parte del área total, siendo conformado por basamento calcáreo de la Formación Cajamarca, evidenciándose geomorfología Kárstica: Lenares, dolinas, pónor y simas, siendo en muchos de los sectores cubiertos por Depósito Deluvial presentado conductos verticales de profundidad: 1.80 m. a 4.50 m., y ancho 1.20 m. a 2.10 m. Sin embargo, también se presenta Depósitos Antrópicos generados por la misma actividad minera, siendo acumulados en el área de explotación de roca caliza; y Laderas se ubican en las partes limítrofes de terreno superficial con orientación: N – Cal plus E.I.R.L. y SW - NE – Multiservicios Pirámides de oro S.R.L.; conformando la parte minoritaria del proyecto, con pendientes 16° a 25° siendo zonas limpias que presentan afloramiento rocoso por su alta pendiente geomorfológica.

3.8.2 GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA

Por consiguiente, está Formación Cajamarca presenta geomorfología Kárstica, por la disolución de carbonatos como: Lenares se presenta en la parte superficial de roca insitu del afloramiento rocoso presentado múltiples: Surcos, orificios y aristas agudas; por meteorización química de la caliza CO_3Ca insoluble se transforma en bicarbonato calcio $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$, disolviéndose con facilidad, siendo dichos surcos cada vez más profundos. Dolinas (Torcas), están ubicadas en la parte baja del proyecto minero siendo depresiones de amplitud: 2.50 m. a 4.50 m. de diámetro, formadas por la disolución de las rocas carbonatadas, siendo de forma circular a semicircular, con profundidad 1.55 m. a 2.50 m.

| | | Tipo de descarga | | | | |
|----------------------------------|------------------|---|--|---|--|--|
| | | Depresiones de flujos karts | | Difusa | | Hipógeno |
| | | Sumideros (Fluctuación de descarga limitada) | Sumideros de torrente (Gran fluctuación de descarga limitada) | A través de arena | Roca porosa soluble | Disolución por ácidos de origen profundo o por enfriamiento de agua termal |
| | | Ramificado (Usualmente tiene varios niveles y conductos individuales) | Conductos únicos y con ramificación rudimentaria | La mayoría de cavernas se amplían más mediante recarga de otras efluentes | La mayoría de cuevas se formaron por unirse en profundidad | |
| Tipo de porosidad pre-disolución | Fracturas | | | | | |
| | Manto proyectado | | | | | |
| | Intergranular | | | | | |

Figura 3.14. Patrones de cavernas en función de la relación con los tipos de descarga y porosidad.

Fuente: Ford y Williams, 2007.



Figura 3.15. Bloques de roca caliza con presencia de suelos generados por la disolución de los carbonatos, siendo rellenado por Depósito Deluvial de color castaño, evidenciándose en la sección del corte del tajo.

Uvalas, están ubicadas en la parte alta a posterior del tajo de explotación siendo la unión de varias dolinas, por la evolución de la dolina por su grado erosión por disolución de carbonatos, constituyendo la mayor área de erosión geomorfológica de la superficie de la ladera. Las simas, se evidencian en las secciones de corte del tajo de explotación, observándose como conductos verticales, en muchos de los casos está rellenos por Depósito Deluvial con dimensiones de profundidad: 1.80 m. a 4.50 m., y ancho 1.20 m. a 2.10 m. Según la Figura 3.14, está conformado por red de conductos y fisuras, por la disolución de carbonatos, en la parte superior del tajo y la sección de corte por perforación y voladura.

3.9 GEOMECÁNICA

La caracterización geomecánica fue basada para definir la calidad el basamento rocoso aplicando criterios empíricos geomecánicos como: RQD, RMR y GSI, así mismo fundamentada por las teorías: Morh-Coulomb (M-C) y Hoek-Brown (H-B); para precisar el modelo geológico-geomecánico mediante modelos numéricos como: RocData y Dips, aplicados en el yacimiento minero del tajo de explotación. Así mismo la caracterización está basada por información: Cuantitativa y cualitativa, obteniendo resultados numéricos de las constantes elásticas y probabilidad de fallamientos del macizo rocoso, en relación de cada estación geomecánica.

Sin embargo, aplicando los criterios empíricos como: RQD = 57.32 a 93.84, RMR = 52 a 84 y GSI = 47 a 79, reportan rocas de calidad: Buena a regular, delimitado por discontinuidades proyectando información: Consistente, precisa y clara; relacionada con el método matemático y variables como: Litología, geoestructuras, geomorfología y diseño de bancos; siendo el complemento de los resultados de las constantes elásticas de las cuatro caracterizaciones geomecánicas como: σ_{ci} = 80 MPa a 125 MPa. de clase R4 a R5, de calidad: Buena a regular; con factor de disturbancia - D : 0.70 a 1.00, de acuerdo con la geometría de alteración del frente del tajo, con valores s : 0.00046 a 0.03 definido como roca fracturada del macizo rocoso, con mb siendo el valor reducido del mi en función del tipo de roca, textura, tamaño de grano, diaclasamiento, alteración, meteorización,

blocosidad y estado tensional; para aplicar el criterio generalizado H-B diferente a 1/2 desde: 0.501 a 0.51, por estar conformado por el medio discontinuo, con cohesión = 2.41 MPa a 8 MPa se reportó tres parámetros de resistencia: Tracción (-1.54 MPa a 0.08 MPa), compresión uniaxial (1.63 MPa a 21.67 MPa) y compresión triaxial (6.88 MPa a 30.45 MPa). Así mismo la probabilidad de fallamiento se tomó como valor importante el $\phi = 20^\circ$ a 33° y orientación de discontinuidades, reportando valores de fallamiento: Planar (2.22% a 46.67%), cuña (6.87% a 44.95%), vuelco (0.00% a 2.22%) y vuelco de plano base (3.33% a 68.89%) mediante: Polos e intersección de planos, delimitando la envolvente de luz, ángulo de fricción, cono de fricción y límites laterales, obtenido la zona crítica de caída de rocas en función de la discontinuidad o diaclasa.



Figura 3.16. Caídas de rocas de dimensiones: 0.60 m. a 1.10 m. en función del plano de estratificación, por buzarse a favor del tajo de explotación.

3.9.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA - 01

Roca caliza con bajo grado de fracturamiento, meteorización fresca, con blocosidad tabular de espesor: 0.50 m. a 1.20 m., con estimación de resistencia 125 MPa – R5 / 3 golpes. con caracterización geomecánica: RQD = 93.84%, RMR = 84 y GSI = 79 de calidad buena; constituido por tres familias de discontinuidades delimitado por la probabilidad de fallamiento: Planar 40%, cuña 44.95%, vuelco 0.00%, vuelco direccional 3.74%, vuelco oblicuo 0.20% y plano base 68.89%; en función de la cara libre del talud con parámetros geométricos: $\Psi_T = 78$ y $H = 15$ m., generando altos valores de caídas de rocas para el cuarteado en roca caliza.

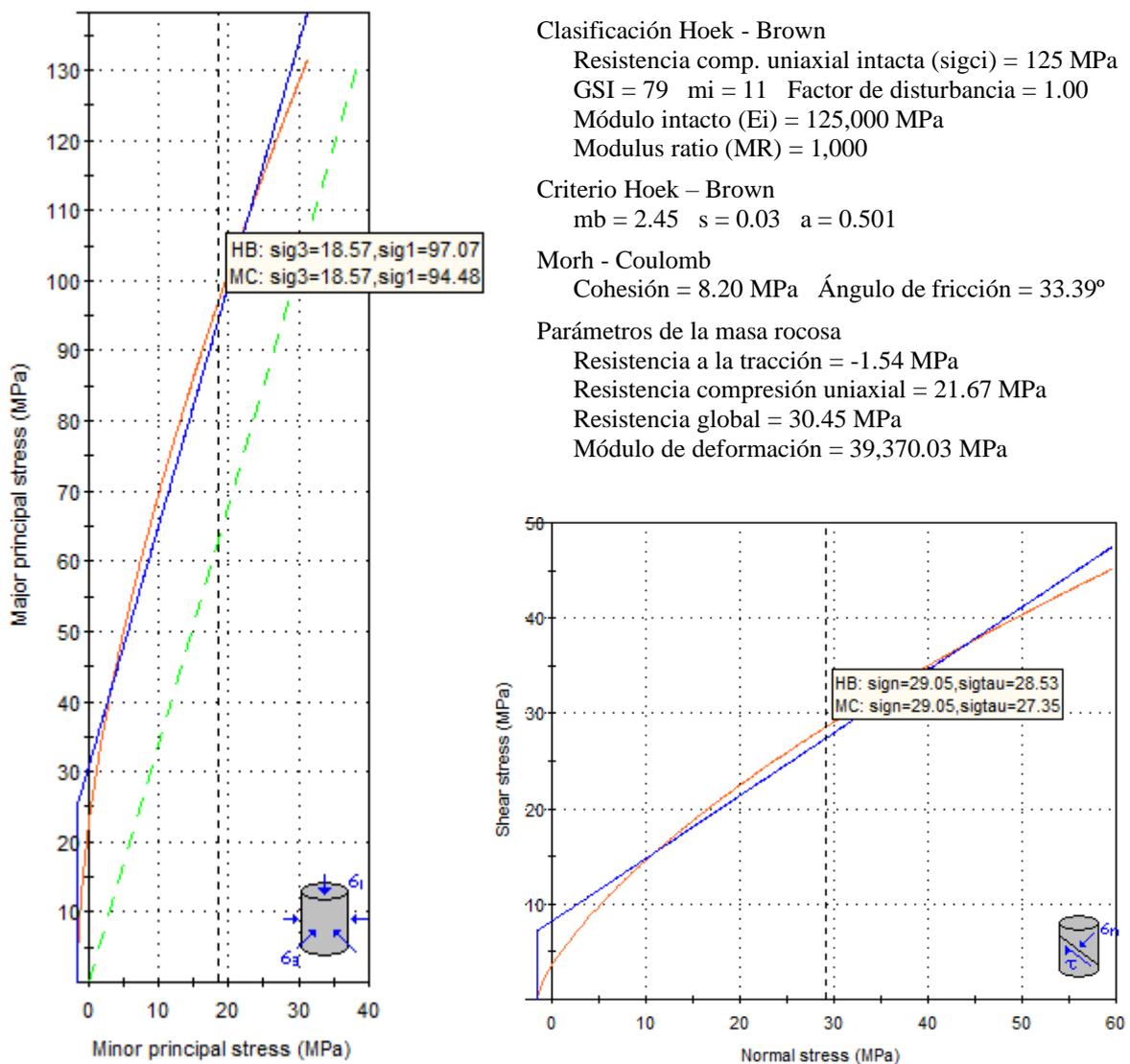
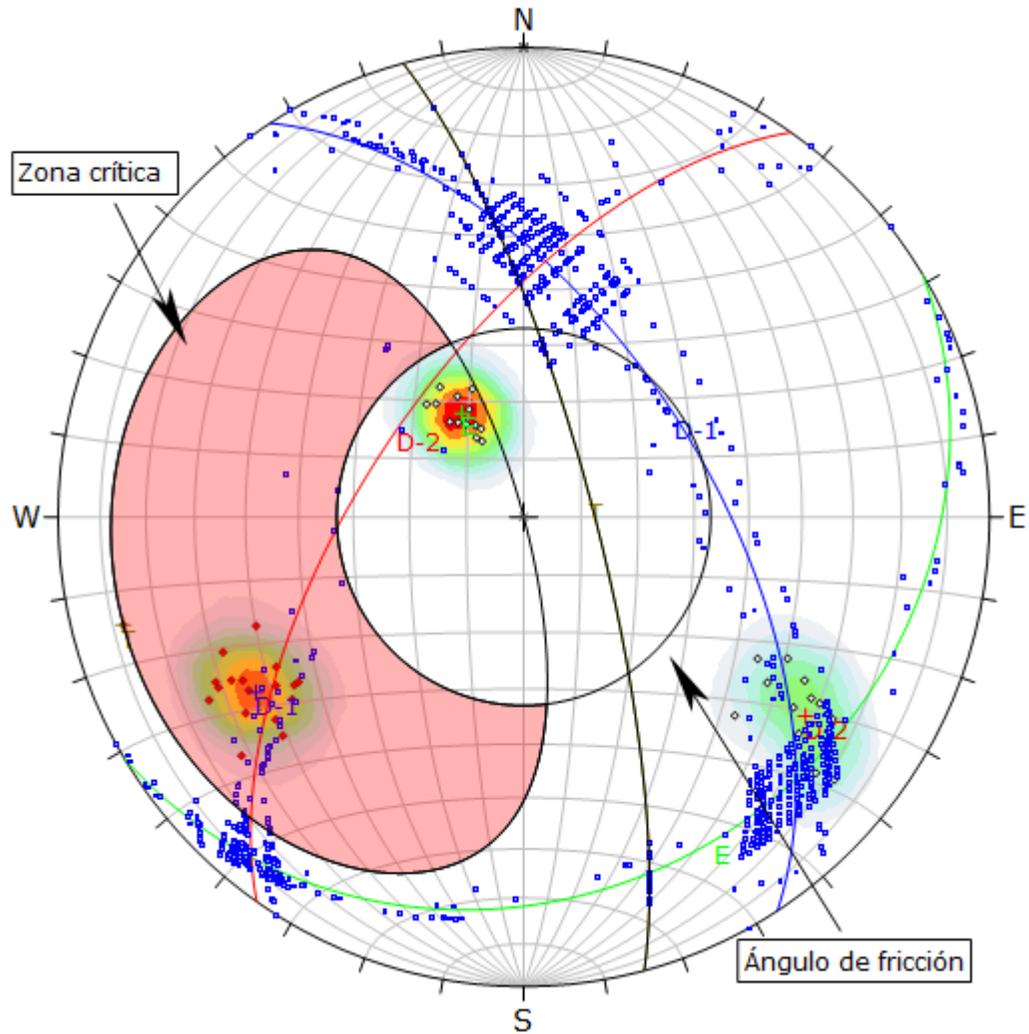
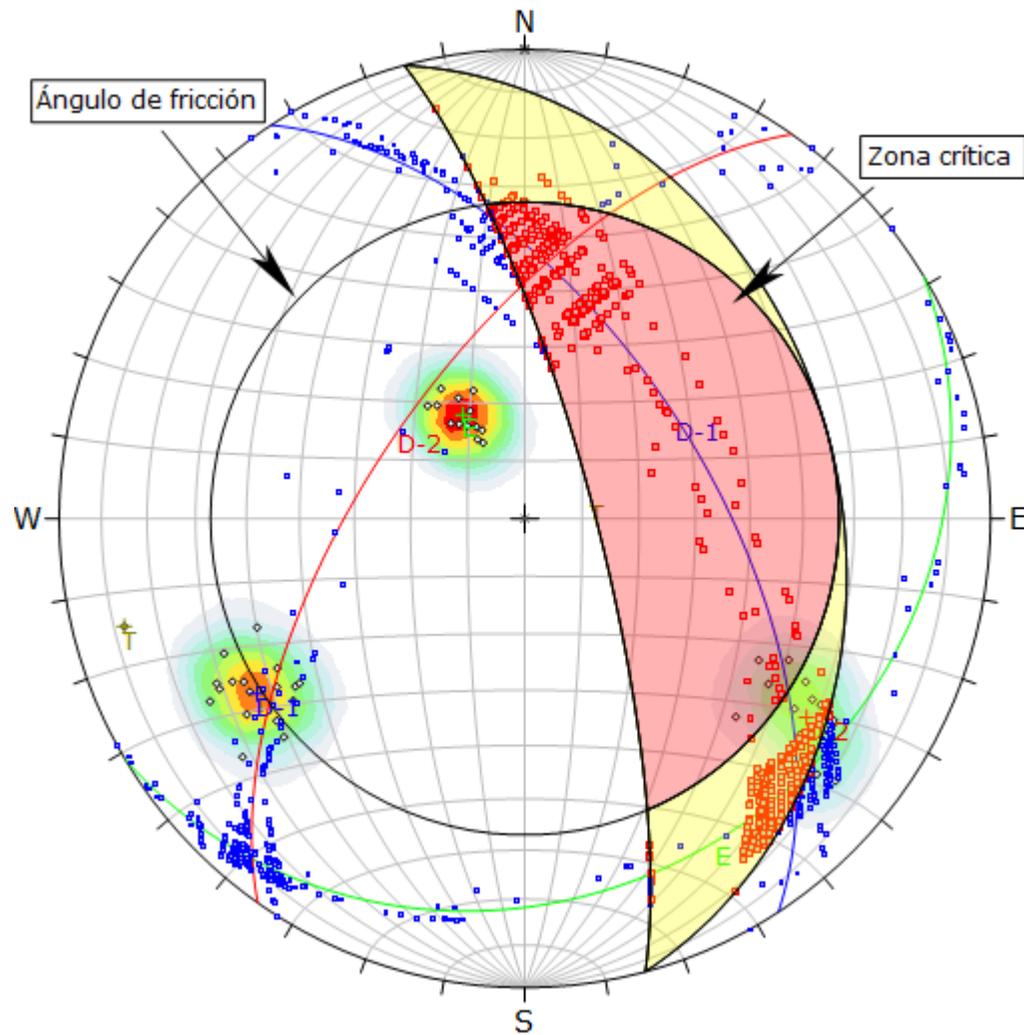


Figura 3.17. Correlación esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); aplicando método equivalencia de áreas. Caracterización geomecánica EG-01.



| Symbol | Feature | | |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.60 | | |
| | 2.60 - 5.20 | | |
| | 5.20 - 7.80 | | |
| | 7.80 - 10.40 | | |
| | 10.40 - 13.00 | | |
| | 13.00 - 15.60 | | |
| | 15.60 - 18.20 | | |
| | 18.20 - 20.80 | | |
| | 20.80 - 23.40 | | |
| | 23.40 - 26.00 | | |
| Maximun density | | 25.50% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Planar siliding | |
| Slope dip | | 78° | |
| Slope Dip direction | | 75° | |
| Friction angle | | 33° | |
| | Critical | Total | % |
| Planar siliding (All) | 18 | 45 | 40.00% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 21° | 149° E |
| 2 | ■ | 58° | 57° D-1 |
| 3 | ■ | 63° | 305° D-2 |
| 4 | ■ | 78° | 75° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.18. Fallamiento con probabilidad de ruptura planar crítica de 40.00% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad D-1. Caracterización geomecánica EG-01.



| Symbol | Feature | | |
|----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.60 | | |
| | 2.60 - 5.20 | | |
| | 5.20 - 7.80 | | |
| | 7.80 - 10.40 | | |
| | 10.40 - 13.00 | | |
| | 13.00 - 15.60 | | |
| | 15.60 - 18.60 | | |
| | 18.60 - 20.80 | | |
| | 20.80 - 23.40 | | |
| | 23.40 - 26.00 | | |
| Maximun density | | 25.50% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Wedge sliding | |
| Slope dip | | 78° | |
| Slope Dip direction | | 75° | |
| Friction angle | | 33° | |
| | Critical | Total | % |
| Wedge sliding | 445 | 990 | 44.95% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 21° | 149° E |
| 2 | ■ | 58° | 57° D-1 |
| 3 | ■ | 63° | 305° D-2 |
| 4 | ■ | 78° | 75° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.19. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por cuña de 44.95% a favor del talud en función de la intersección de discontinuidades D-1 vs. D-2. Caracterización geomecánica EG-01.

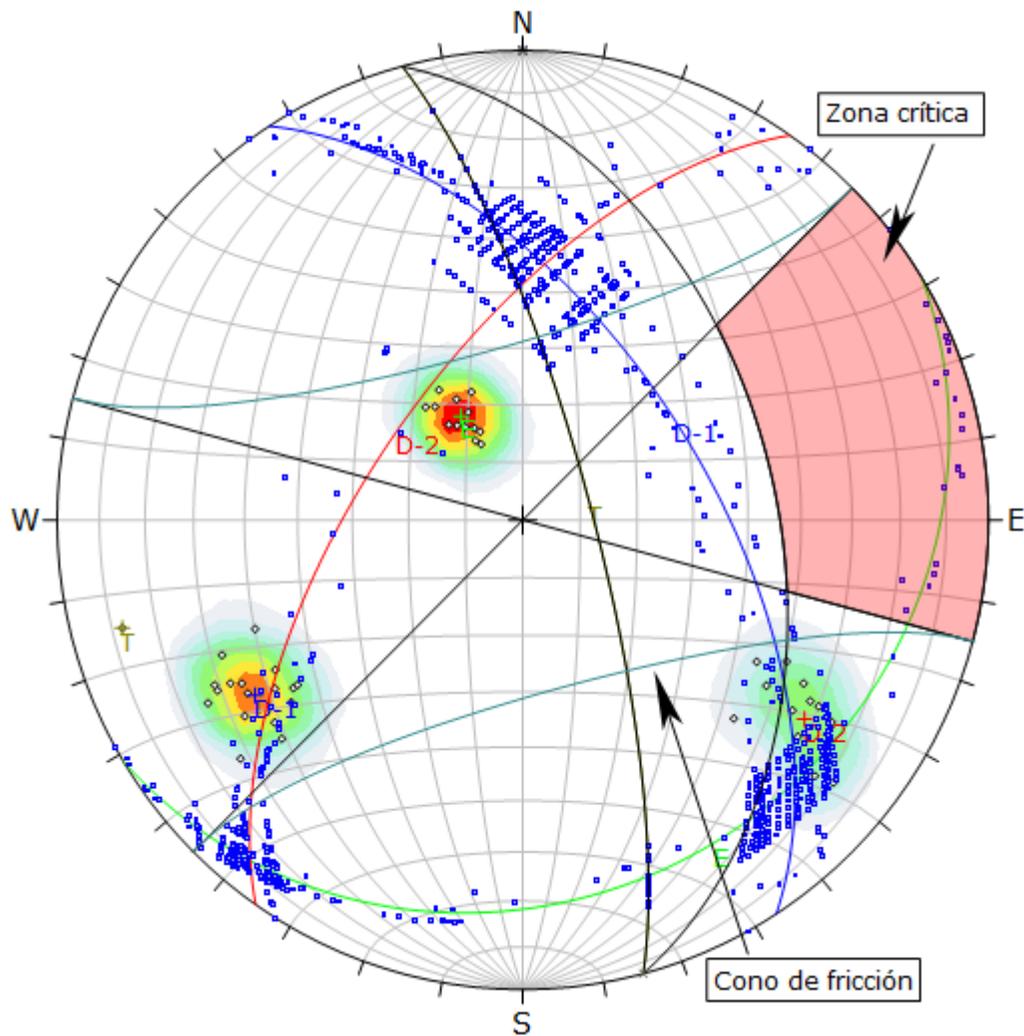


Figura 3.20. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por vuelco de 0.00% a favor del talud. Caracterización geomecánica EG-01.

| Symbol | Feature | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.60 | | |
| | 2.60 - 5.20 | | |
| | 5.20 - 7.80 | | |
| | 7.80 - 10.40 | | |
| | 10.40 - 13.00 | | |
| | 13.00 - 15.60 | | |
| | 15.60 - 18.20 | | |
| | 18.20 - 20.80 | | |
| | 20.80 - 23.40 | | |
| | 23.40 - 26.00 | | |
| Maximun density | | 25.50% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Flexural toppling | |
| Slope dip | | 78° | |
| Slope Dip direction | | 75° | |
| Friction angle | | 33° | |
| Lateral limits | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Flexural toppling (All) | 0 | 45 | 0.00% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 21° | 149° E |
| 2 | ■ | 58° | 57° D-1 |
| 3 | ■ | 63° | 305° D-2 |
| 4 | ■ | 78° | 75° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

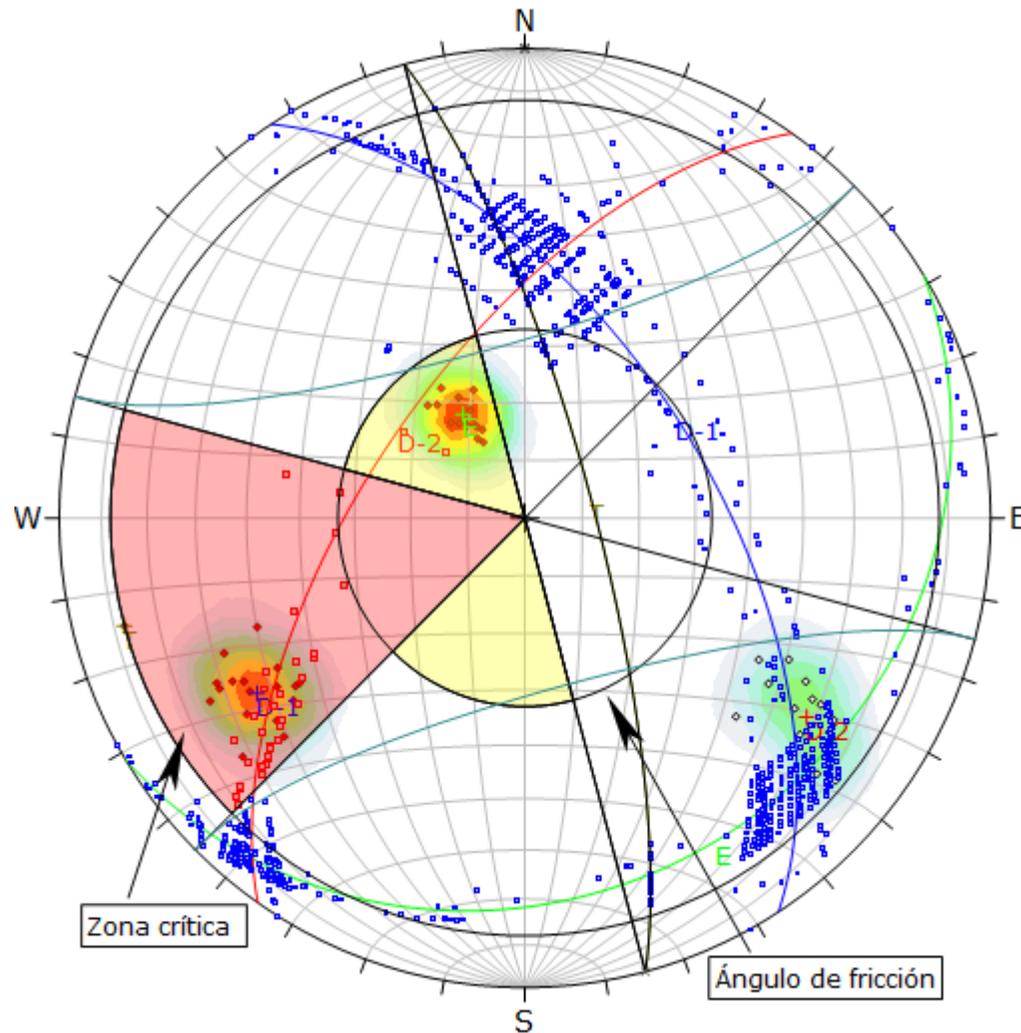


Figura 3.21. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por base deslizante de 68.89% a favor del talud en función de la discontinuidad D-1. Caracterización geomecánica EG-01.

| Symbol | Feature | | |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.60 | | |
| | 2.60 - 5.20 | | |
| | 5.20 - 7.80 | | |
| | 7.80 - 10.40 | | |
| | 10.40 - 13.00 | | |
| | 13.00 - 15.60 | | |
| | 15.60 - 18.20 | | |
| | 18.20 - 20.80 | | |
| | 20.80 - 23.40 | | |
| | 23.40 - 26.00 | | |
| Maximum density | 25.50% | | |
| Contour data | Polo vectors | | |
| Contour distribution | Fisher | | |
| Counting circle size | 1.00% | | |
| Kinematic analysis | Direct toppling | | |
| Slope dip | 78° | | |
| Slope Dip direction | 75° | | |
| Friction angle | 33° | | |
| Lateral milits | 30° | | |
| | Critical | Total | % |
| Direct toppling (Intersection) | 37 | 990 | 3.74% |
| Oblique toppling (Intersection) | 2 | 990 | 0.20% |
| Base plane (All) | 31 | 45 | 68.89% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 21° | 149° E |
| 2 | ■ | 58° | 57° D-1 |
| 3 | ■ | 63° | 305° D-2 |
| 4 | ■ | 78° | 75° T |
| Plot Mode | Pole vectors | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | |
| Intersections count | 990 | | |
| Hemisphere | Lower | | |
| Projection | Equal area | | |

3.9.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA - 02

El cartografiado geomecánico por línea de detalle reporto roca caliza de textura fina, de fractura ganchuda, de espaciado: 0.40 m. a 1.10 m., formando blocosidades: Tabulares a cúbicas, con persistencias 3.50 m. a 9.80 m., con estimación de resistencia 105 MPa., con caracterización geomecánica: RQD = 81.86%, RMR = 78 y GSI = 73 delimitado por tres diaclasas (D/DD): 27°/154°, 63°/121° y 34°/15°, formando fallamiento: Planar 46.67%, cuña 21.15%, vuelco 2.22%, vuelco direccional 3.95%, vuelco oblicuo 0.00% y plano base 42.22%; en función de la cara libre del talud con parámetros geométricos: $\Psi_T = 79$ y $H = 17$ m.

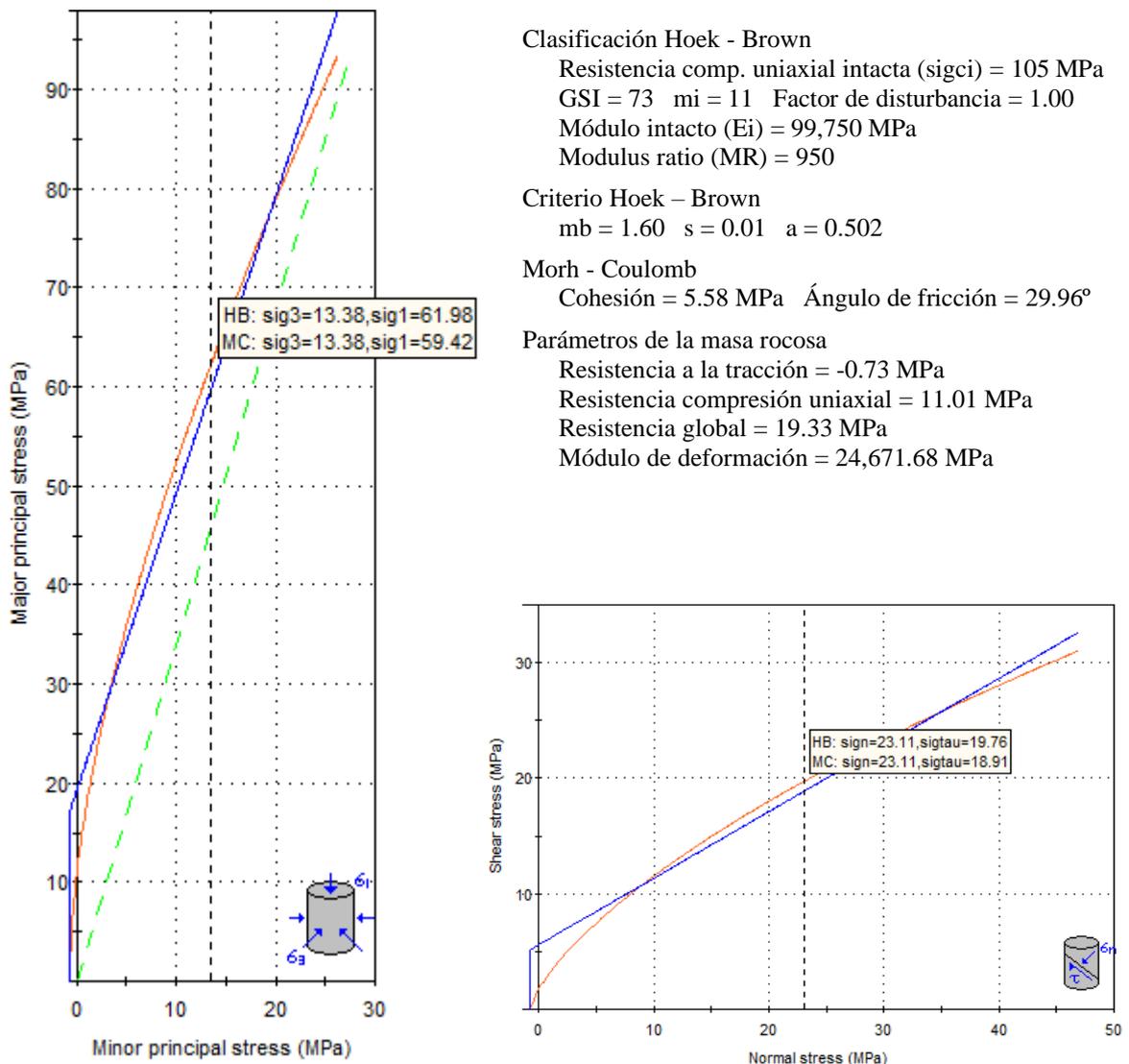
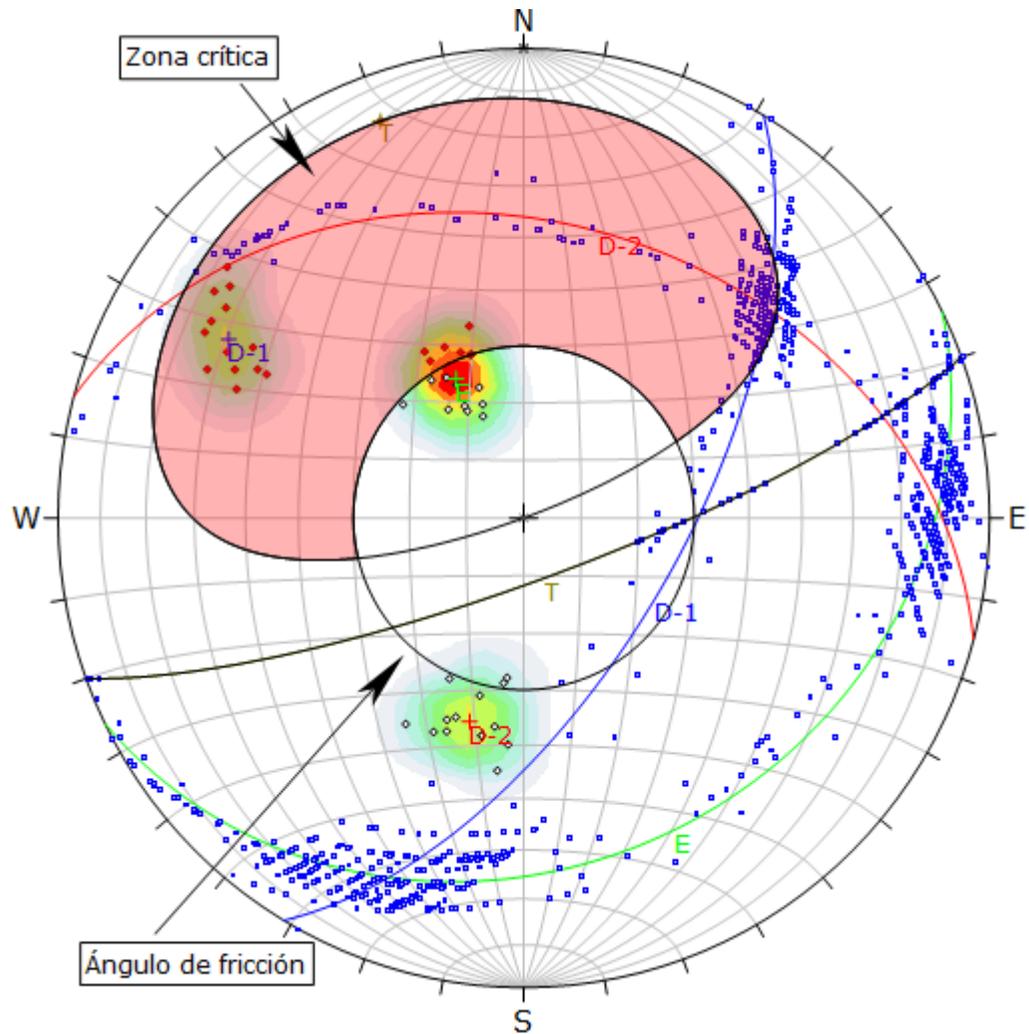
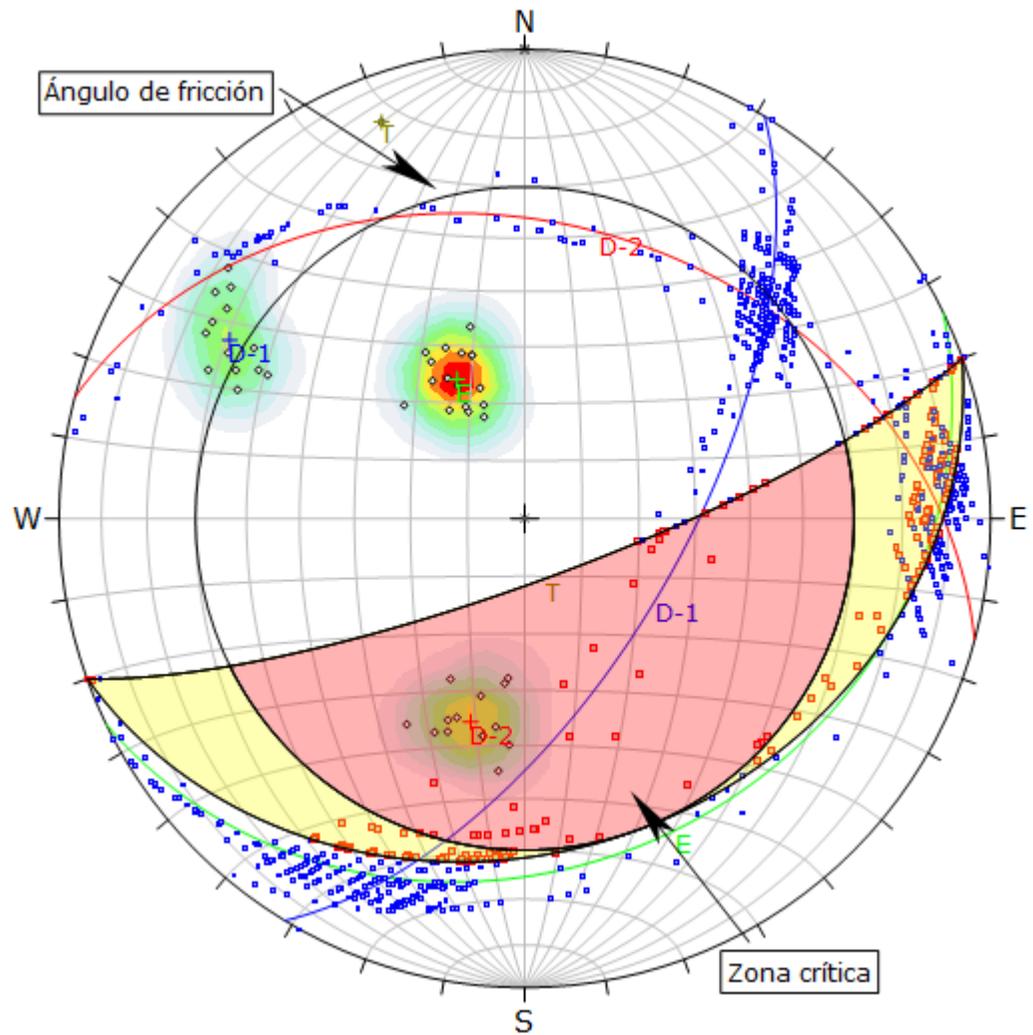


Figura 3.22. Correlación esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); aplicando método equivalencia de áreas. Caracterización geomecánica EG-02.



| Symbol | Feature | | |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.80 | | |
| | 2.80 - 5.60 | | |
| | 5.60 - 8.40 | | |
| | 8.40 - 11.20 | | |
| | 11.20 - 14.00 | | |
| | 14.00 - 16.80 | | |
| | 16.80 - 19.60 | | |
| | 19.60 - 22.40 | | |
| | 22.40 - 25.20 | | |
| | 25.20 - 28.00 | | |
| Maximun density | | 27.95% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Planar siliding | |
| Slope dip | | 79° | |
| Slope Dip direction | | 160° | |
| Friction angle | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Planar siliding (All) | 21 | 45 | 46.67% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 27° | 154° E |
| 2 | ■ | 63° | 121° D-1 |
| 3 | ■ | 34° | 15° D-2 |
| 4 | ■ | 79° | 160° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 988 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.23. Fallamiento con probabilidad de ruptura planar crítica de 46.67% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-02.



| Symbol | Feature | | |
|----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.80 | | |
| | 2.80 - 5.60 | | |
| | 5.60 - 8.40 | | |
| | 8.40 - 11.20 | | |
| | 11.20 - 14.00 | | |
| | 14.00 - 16.80 | | |
| | 16.80 - 19.60 | | |
| | 19.60 - 22.40 | | |
| | 22.40 - 25.20 | | |
| | 25.20 - 28.00 | | |
| Maximun density | | 27.95% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Wedge sliding | |
| Slope dip | | 79° | |
| Slope Dip direction | | 160° | |
| Friction angle | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Wedge sliding | 209 | 988 | 21.15% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 27° | 154° |
| 2 | ■ | 63° | 121° |
| 3 | ■ | 37° | 15° |
| 4 | ■ | 79° | 160° |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 988 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.24. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por cuña de 21.15% a favor del talud en función de la intersección de discontinuidades D-1 vs. E. Caracterización geomecánica EG-02.

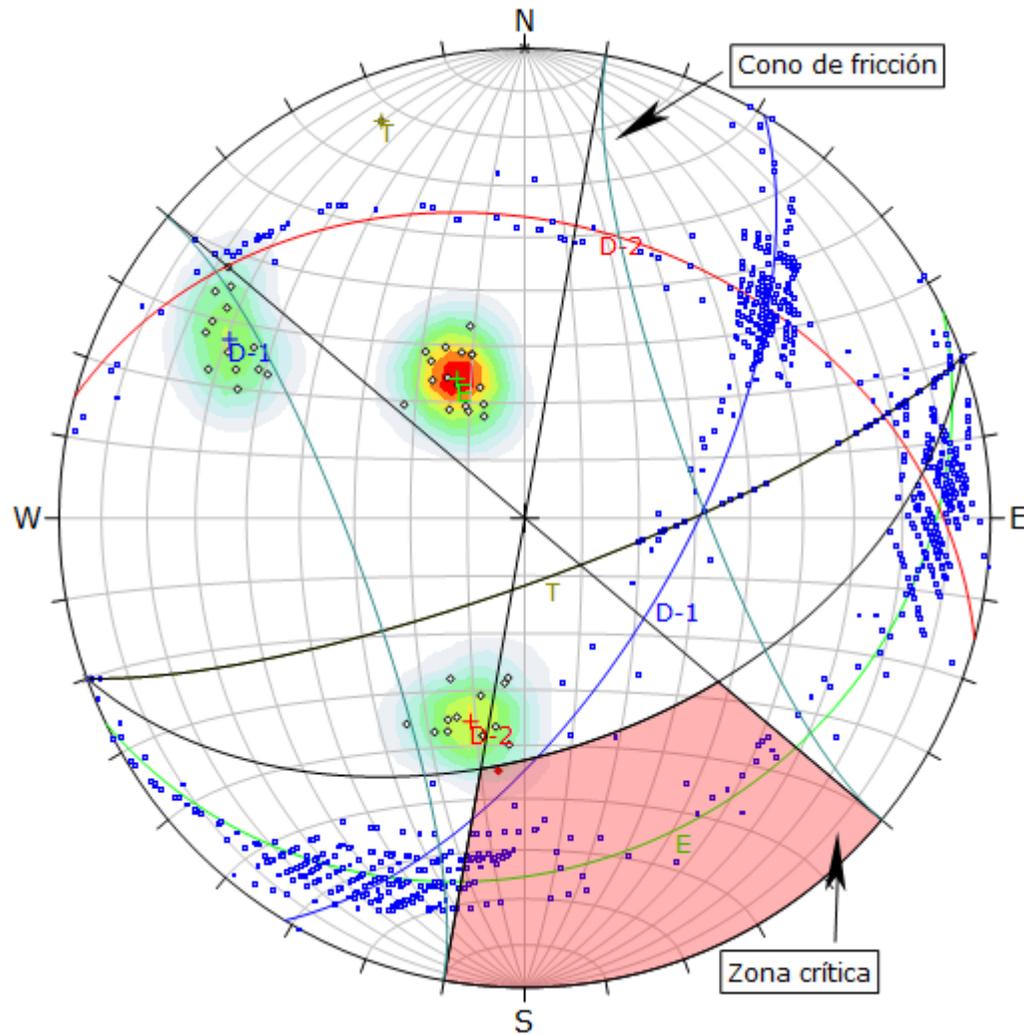


Figura 3.25. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por vuelco de 2.22% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad D-2. Caracterización geomecánica EG-02.

| Symbol | Feature | | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------|---------------|-------|
| ◇ | Polo vectors | | | |
| ◆ | Critical vectors | | | |
| ■ | Intersection | | | |
| Color | Density concentrations | | | |
| | 0.00 - 2.80 | | | |
| | 2.80 - 5.60 | | | |
| | 5.60 - 8.40 | | | |
| | 8.40 - 11.20 | | | |
| | 11.20 - 14.00 | | | |
| | 14.00 - 16.80 | | | |
| | 16.80 - 19.60 | | | |
| | 19.60 - 22.40 | | | |
| | 22.40 - 25.20 | | | |
| | 25.20 - 28.00 | | | |
| Maximun density | | 27.95% | | |
| Contour data | | Polo vectors | | |
| Contour distribution | | Fisher | | |
| Counting circle size | | 1.00% | | |
| Kinematic analysis | | Flexural toppling | | |
| Slope dip | | 79° | | |
| Slope Dip direction | | 160° | | |
| Friction angle | | 30° | | |
| Lateral limits | | 30° | | |
| | Critical | Total | % | |
| Flexural toppling (All) | 1 | 45 | 2.22% | |
| | Color | Dip | Dip direction | Label |
| User planes | | | | |
| 1 | ■ | 27° | 154° | E |
| 2 | ■ | 63° | 121° | D-1 |
| 3 | ■ | 37° | 15° | D-2 |
| 4 | ■ | 79° | 160° | T |
| Plot Mode | | Pole vectors | | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | | |
| Intersection mode | | Grid data planes | | |
| Intersections count | | 988 | | |
| Hemisphere | | Lower | | |
| Projection | | Equal area | | |

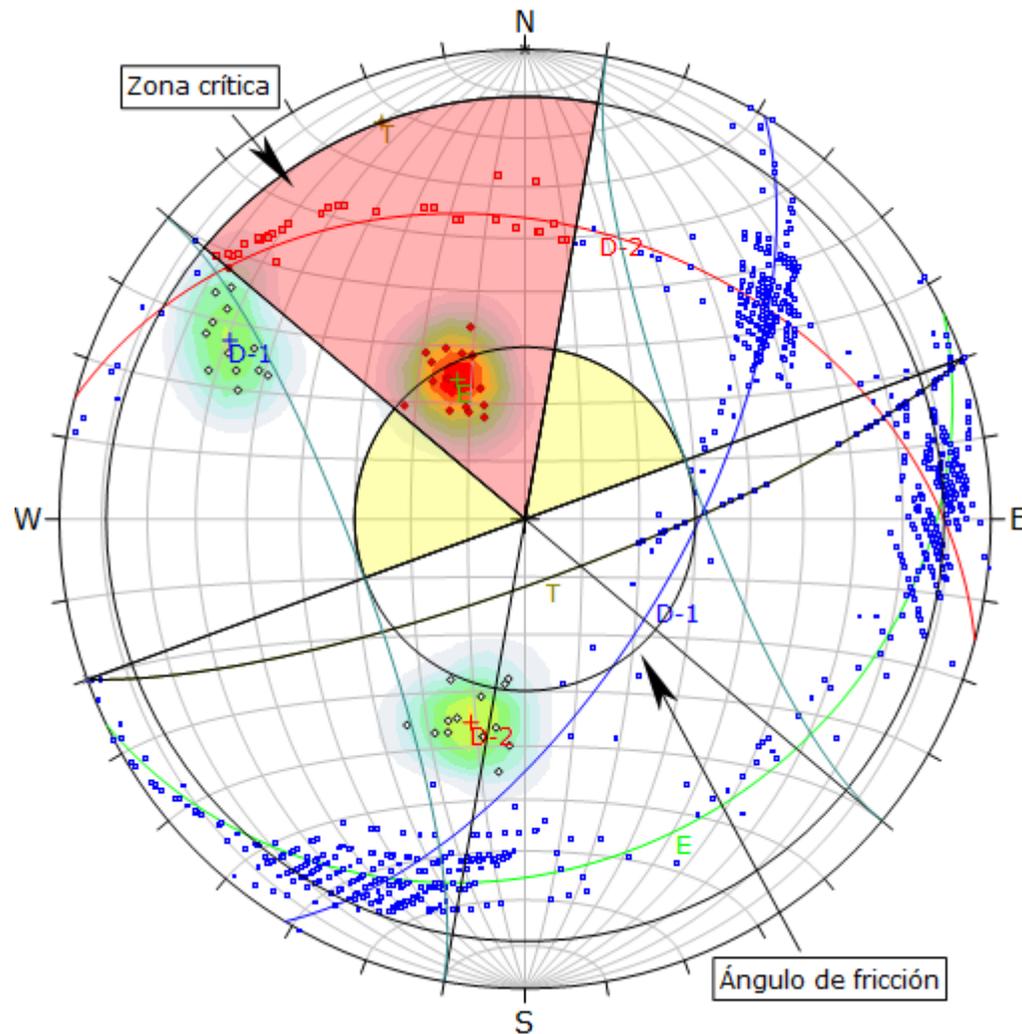


Figura 3.26. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por base deslizante de 42.22% a favor del talud en función de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-02.

| Symbol | Feature | | |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 2.80 | | |
| | 2.80 - 5.60 | | |
| | 5.60 - 8.40 | | |
| | 8.40 - 11.20 | | |
| | 11.20 - 14.00 | | |
| | 14.00 - 16.80 | | |
| | 16.80 - 19.60 | | |
| | 19.60 - 22.40 | | |
| | 22.40 - 25.20 | | |
| | 25.20 - 28.00 | | |
| Maximum density | 27.95% | | |
| Contour data | Polo vectors | | |
| Contour distribution | Fisher | | |
| Counting circle size | 1.00% | | |
| Kinematic analysis | Direct toppling | | |
| Slope dip | 79° | | |
| Slope Dip direction | 160° | | |
| Friction angle | 30° | | |
| Lateral milits | 30° | | |
| | Critical | Total | % |
| Direct toppling (Intersection) | 39 | 988 | 3.95% |
| Oblique toppling (Intersection) | 0 | 988 | 0.00% |
| Base plane (All) | 19 | 45 | 42.22% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 27° | 154° E |
| 2 | ■ | 63° | 121° D-1 |
| 3 | ■ | 37° | 15° D-2 |
| 4 | ■ | 79° | 160° T |
| Plot Mode | Pole vectors | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | |
| Intersections count | 988 | | |
| Hemisphere | Lower | | |
| Projection | Equal area | | |

3.9.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA - 03

Geomecánicamente el afloramiento rocoso tiene $\Psi_T = 72$ y $H = 20$ m. constituido por roca caliza con superficies: Rugosas, ligeramente rugosas, ondulada-lisa; con abertura: 1 mm. a 5 mm., con grado de alteración: Ligera a moderadamente alterado, por afectación de aguas meteóricas con superficies de oxidaciones de color: rojizo a anaranjado, afectando a la roca caliza. Al mismo tiempo las juntas están afectadas por permeabilidad: Primaria y secundaria, delimitada por tres discontinuidades formando blocosidades: Tabulares, cúbicas y prismáticas donde: $ND = 32$, $L = 2.20$ m., obteniendo $RQD = 57.32\%$, $RMR_{89} = 52$ y $GSI = 47$ de calidad rocosa regular. Por consiguiente, el movimiento cinemático por fallamiento: Planar 28.89%, cuña 30.23%, vuelco 0.00%, vuelco direccional 1.42%, vuelco oblicuo 1.72% y plano base 33.33%; obtenidos valores altos de ruptura rocosa para la extracción y cuarteado de roca.

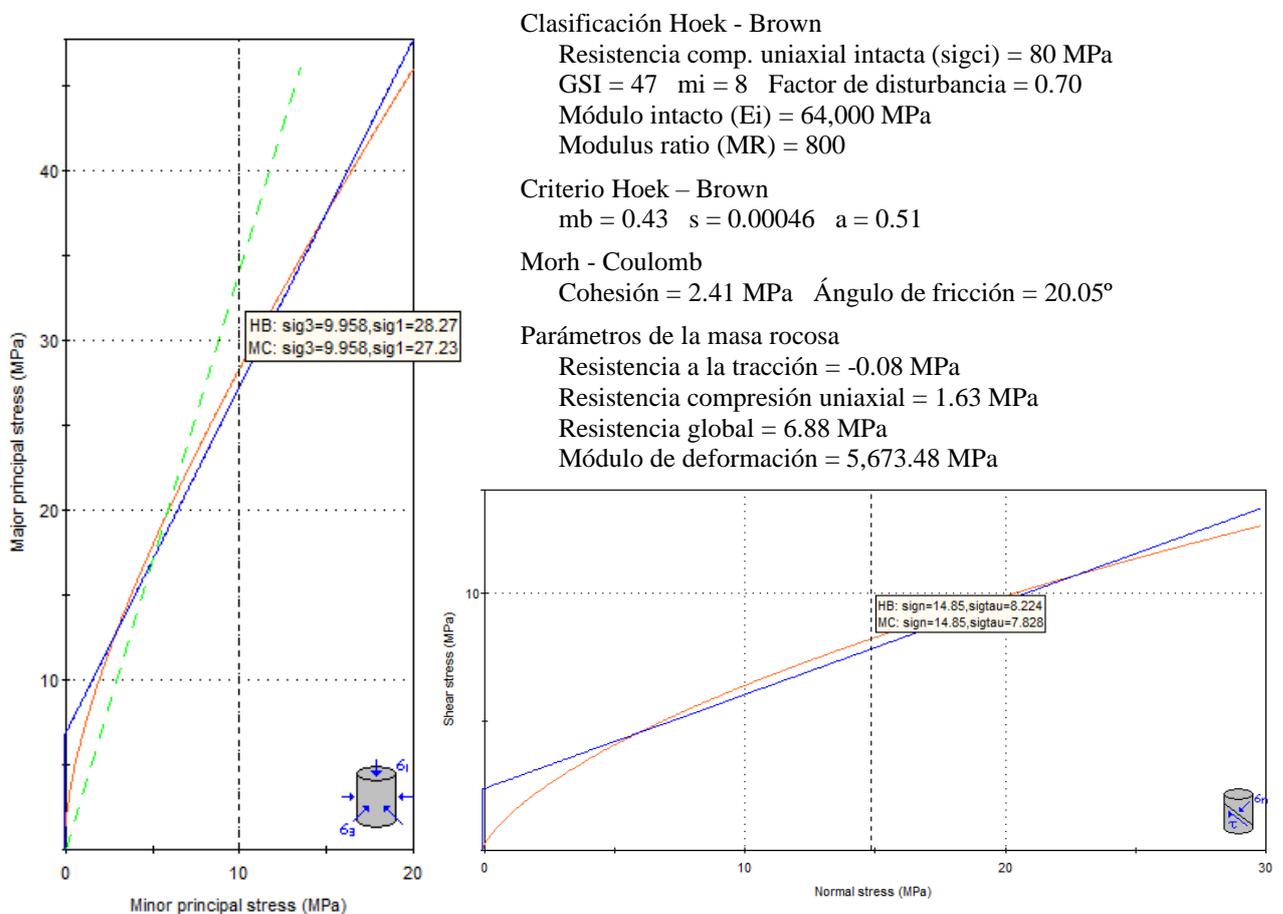
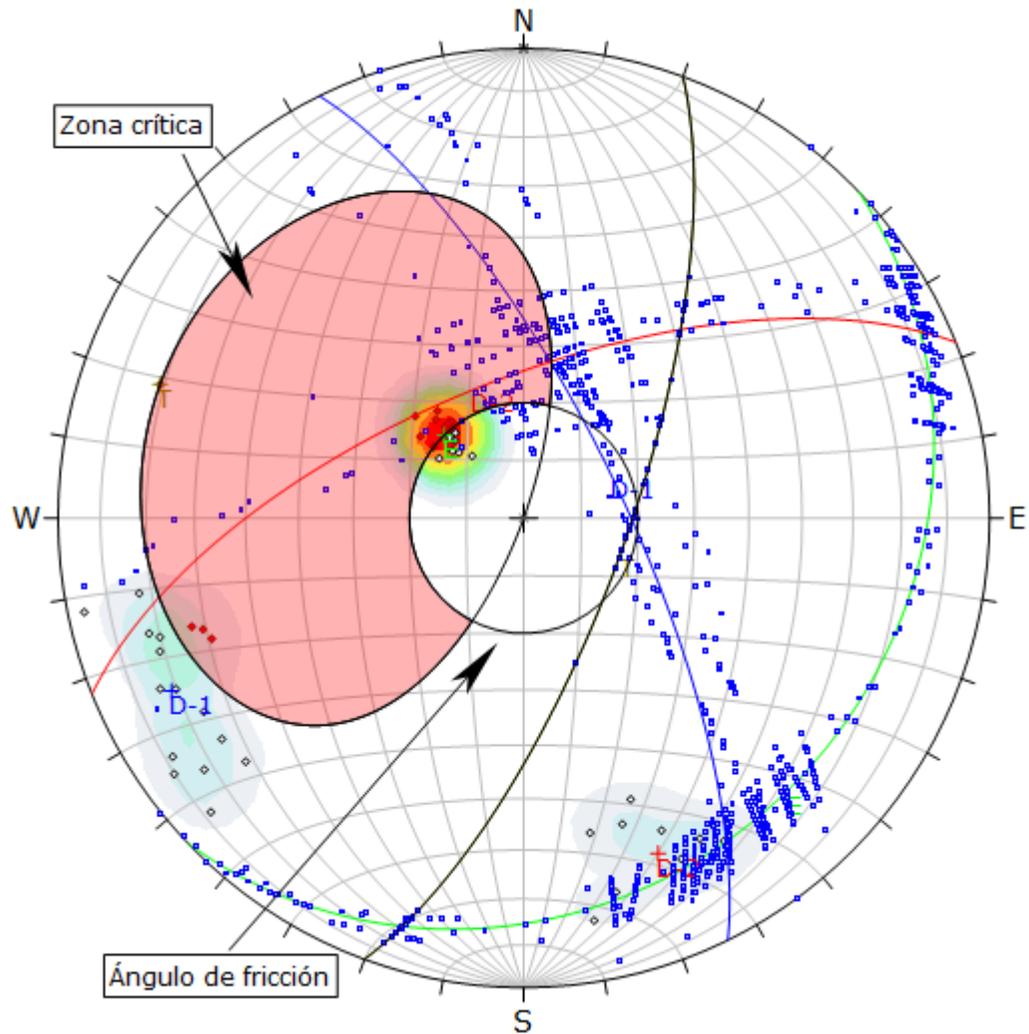


Figura 3.27. Correlación esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); aplicando método equivalencia de áreas. Caracterización geomecánica EG-03.



| Symbol | Feature | | |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 3.60 | | |
| | 3.60 - 7.20 | | |
| | 7.20 - 10.80 | | |
| | 10.80 - 14.40 | | |
| | 14.40 - 18.00 | | |
| | 18.00 - 21.60 | | |
| | 21.60 - 25.20 | | |
| | 25.20 - 28.80 | | |
| | 28.80 - 32.40 | | |
| | 32.40 - 36.00 | | |
| Maximun density | | 35.11% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Planar siliding | |
| Slope dip | | 72° | |
| Slope Dip direction | | 110° | |
| Friction angle | | 20° | |
| | Critical | Total | % |
| Planar siliding (All) | 13 | 45 | 28.89% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 20° | 136° E |
| 2 | ■ | 73° | 64° D-1 |
| 3 | ■ | 66° | 338° D-2 |
| 4 | ■ | 72° | 110° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 989 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.28. Fallamiento con probabilidad de ruptura planar crítica de 28.89% a favor del talud en función de los polos de las discontinuidades: E y D-1. Caracterización geomecánica EG-03.

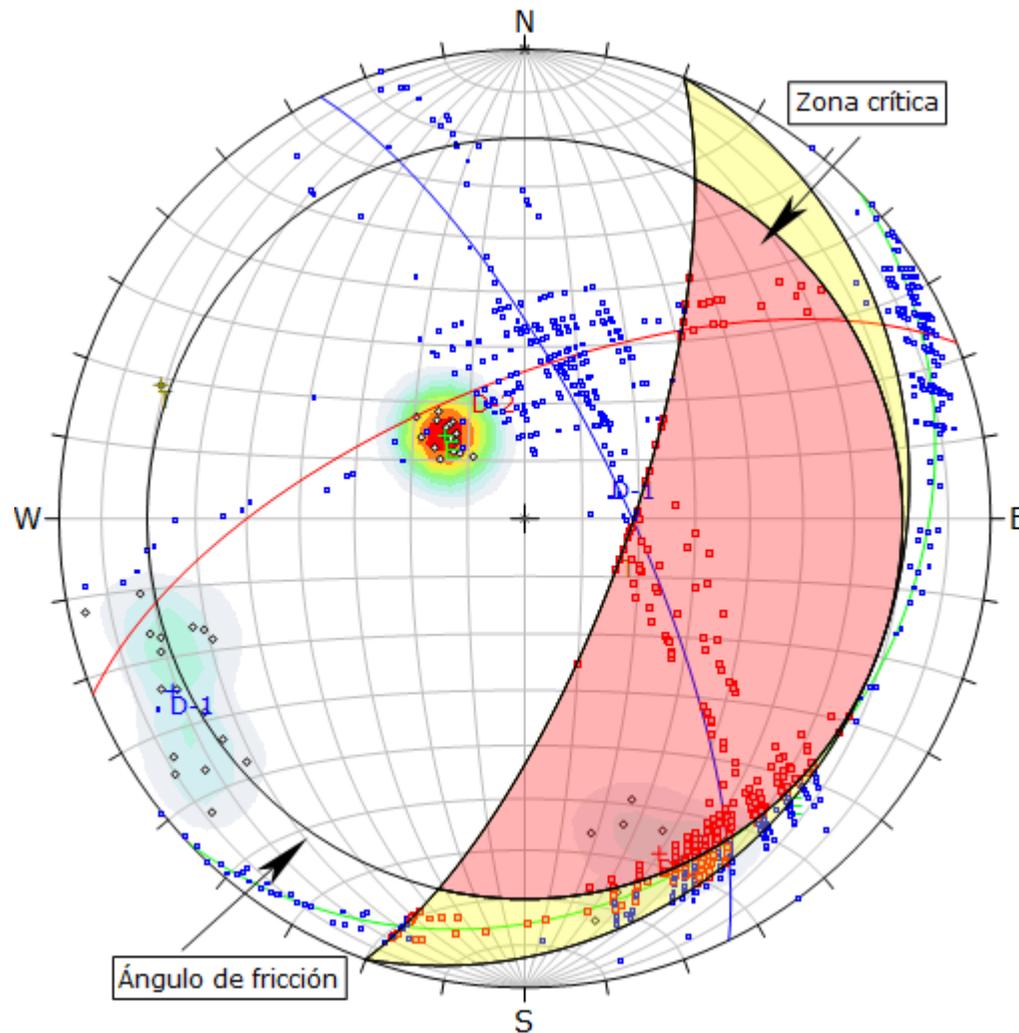
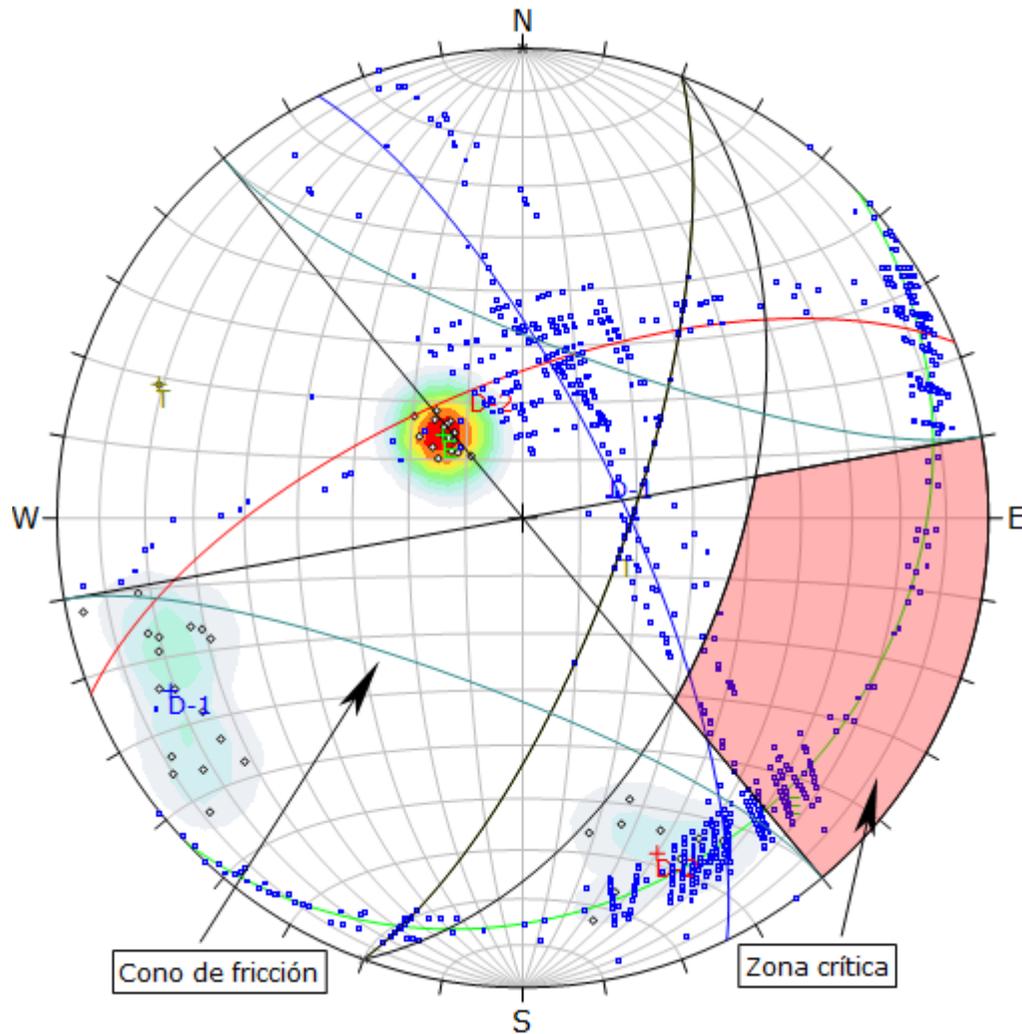


Figura 3.29. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por cuña de 30.23% a favor del talud en función de la intersección de las discontinuidades: D-1 vs. E y D-1 vs. D-2. Caracterización geomecánica EG-03.

| Symbol | Feature | | |
|----------------------|------------------------|------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 3.60 | | |
| | 3.60 - 7.20 | | |
| | 7.20 - 10.80 | | |
| | 10.80 - 14.40 | | |
| | 14.40 - 18.00 | | |
| | 18.00 - 21.60 | | |
| | 21.60 - 25.20 | | |
| | 25.20 - 28.80 | | |
| | 28.80 - 32.40 | | |
| | 32.40 - 36.00 | | |
| Maximun density | | 35.11% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Wedge sliding | |
| Slope dip | | 72° | |
| Slope Dip direction | | 110° | |
| Friction angle | | 20° | |
| | Critical | Total | % |
| Wedge sliding | 299 | 989 | 30.23% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 20° | 136° E |
| 2 | ■ | 73° | 64° D-1 |
| 3 | ■ | 66° | 338° D-2 |
| 4 | ■ | 72° | 110° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 989 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |



| Symbol | Feature | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 – 3.60 | | |
| | 3.60 – 7.20 | | |
| | 7.2 – 10.80 | | |
| | 10.8 – 14.40 | | |
| | 14.40 – 18.00 | | |
| | 18.00 – 21.60 | | |
| | 21.60 – 25.20 | | |
| | 25.20 – 28.80 | | |
| | 28.80 – 32.40 | | |
| | 32.40 – 36.00 | | |
| Maximun density | | 35.11% | |
| Contour data | | Polo vectors | |
| Contour distribution | | Fisher | |
| Counting circle size | | 1.00% | |
| Kinematic analysis | | Flexural toppling | |
| Slope dip | | 72° | |
| Slope Dip direction | | 110° | |
| Friction angle | | 20° | |
| Lateral limits | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Flexural toppling (All) | 0 | 45 | 0.00% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 20° | 136° |
| 2 | ■ | 73° | 64° |
| 3 | ■ | 66° | 338° |
| 4 | ■ | 72° | 110° |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 989 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.30. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por vuelco de 0.00% a favor del talud. Caracterización geomecánica EG-03.

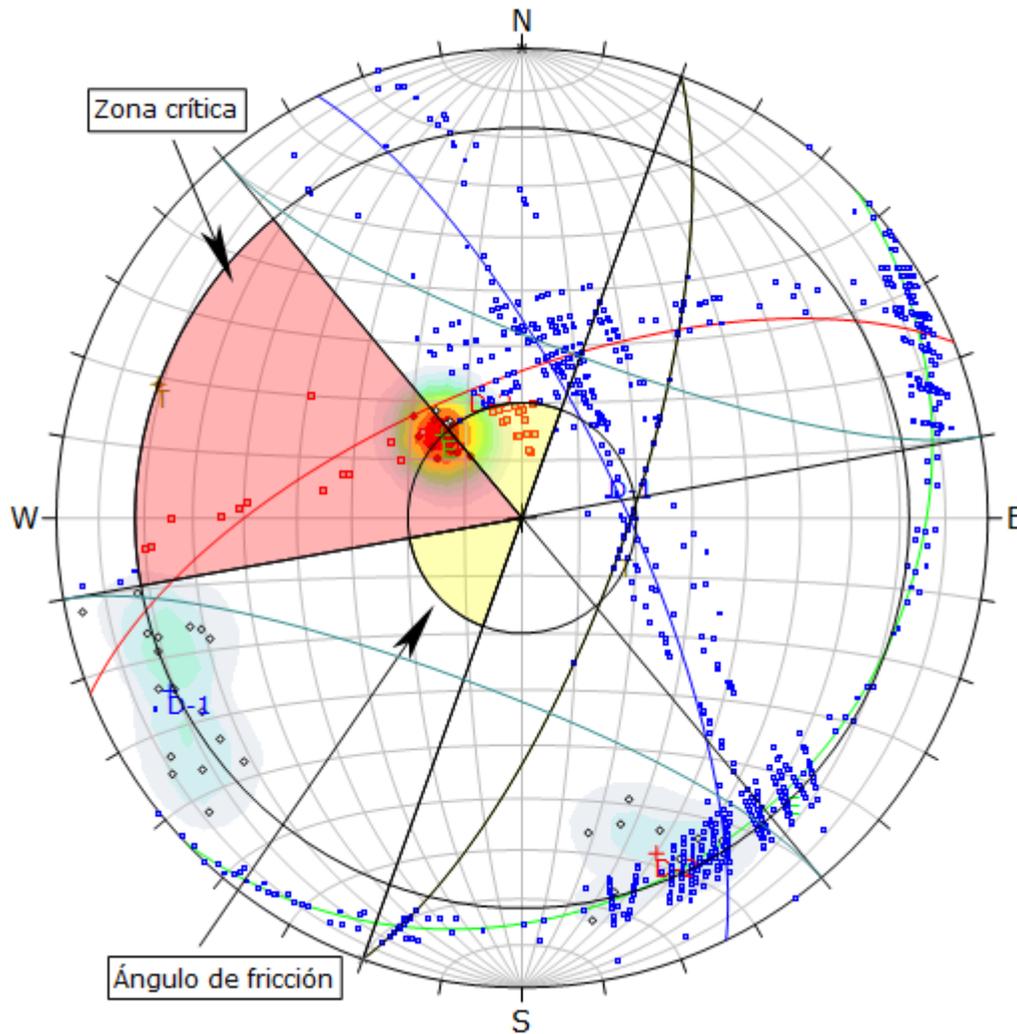


Figura 3.31. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por base deslizante de 33.33% a favor del talud en función de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-03.

| Symbol | Feature | | |
|---------------------------------|------------------------|-------|---------------|
| ◇ | Polo vectors | | |
| ◆ | Critical vectors | | |
| ■ | Critical intersection | | |
| ■ | Intersection | | |
| Color | Density concentrations | | |
| | 0.00 - 3.60 | | |
| | 3.60 - 7.20 | | |
| | 7.20 - 10.80 | | |
| | 10.8 - 14.40 | | |
| | 14.40 - 18.00 | | |
| | 18.00 - 21.60 | | |
| | 21.60 - 25.20 | | |
| | 25.20 - 28.80 | | |
| | 28.80 - 32.40 | | |
| | 32.40 - 36.00 | | |
| Maximum density | 35.11% | | |
| Contour data | Polo vectors | | |
| Contour distribution | Fisher | | |
| Counting circle size | 1.00% | | |
| Kinematic analysis | Direct toppling | | |
| Slope dip | 72° | | |
| Slope Dip direction | 110° | | |
| Friction angle | 20° | | |
| Lateral milits | 30° | | |
| | Critical | Total | % |
| Direct toppling (Intersection) | 14 | 989 | 1.42% |
| Oblique toppling (Intersection) | 17 | 989 | 1.72% |
| Base plane (All) | 15 | 45 | 33.33% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 20° | 136° E |
| 2 | ■ | 73° | 64° D-1 |
| 3 | ■ | 66° | 338° D-2 |
| 4 | ■ | 72° | 110° T |
| Plot Mode | Pole vectors | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | |
| Intersections count | 989 | | |
| Hemisphere | Lower | | |
| Projection | Equal area | | |

3.9.4 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA - 04

La caracterización geomecánica, está emplazada en una lomada rocosa, con recubrimiento de Depósito Deluvial. La estimación calcárea es de 115 MPa. de resistencia, con alteración de roca: Inalterada a ligeramente alterada, con bajo grado de fracturamiento, con espaciado: cerrado a 25 mm. afectado la estabilidad del talud rocoso. Obteniendo RQD = 84.57%, $RMR_{89} = 79$ y GSI = 74 de calidad buena; con cinemática de fallamiento: Planar 2.22%, cuña 6.87%, vuelco 2.22%, vuelco direccional 20.20%, vuelco oblicuo 0.81% y plano base 40%.

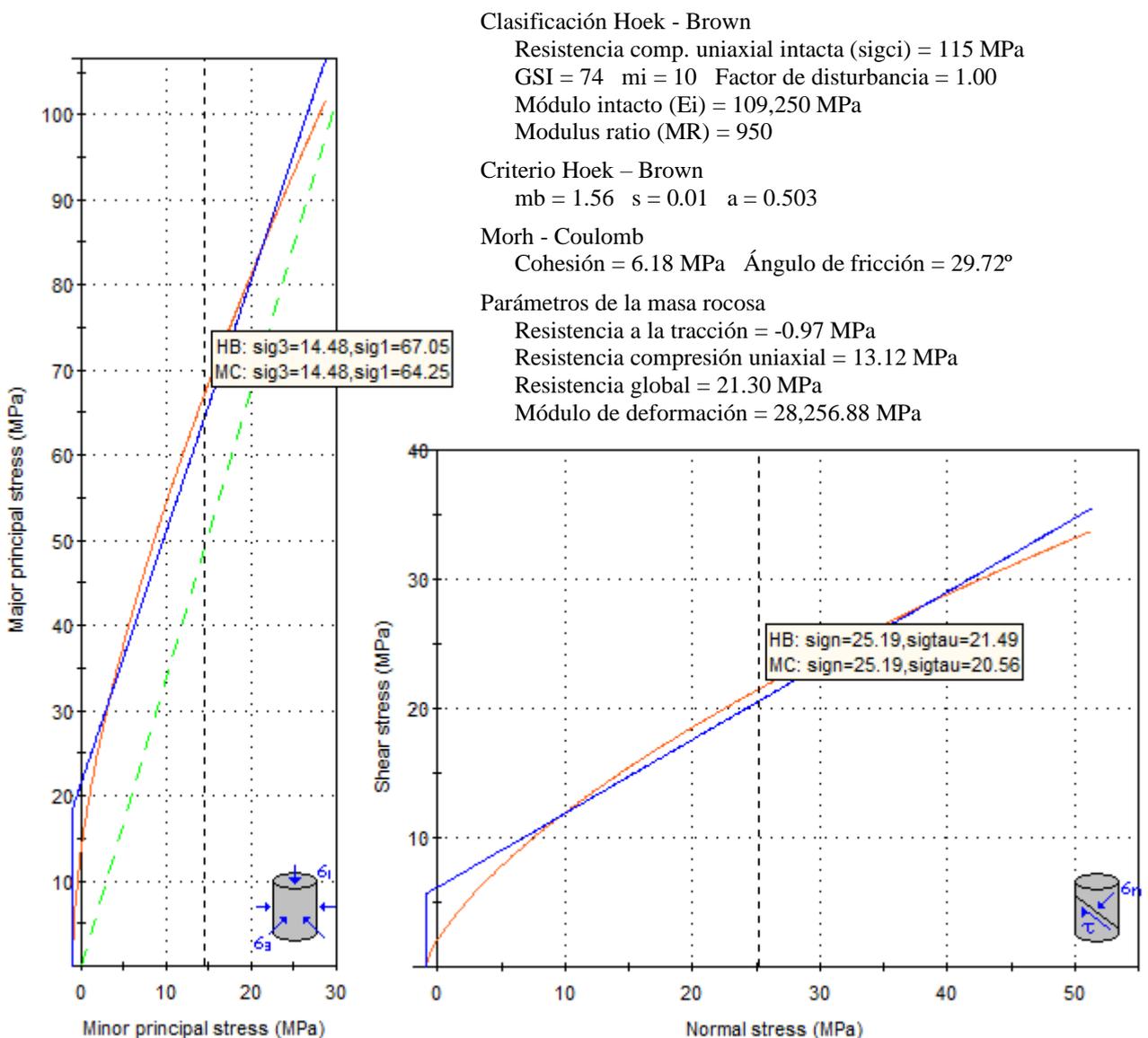
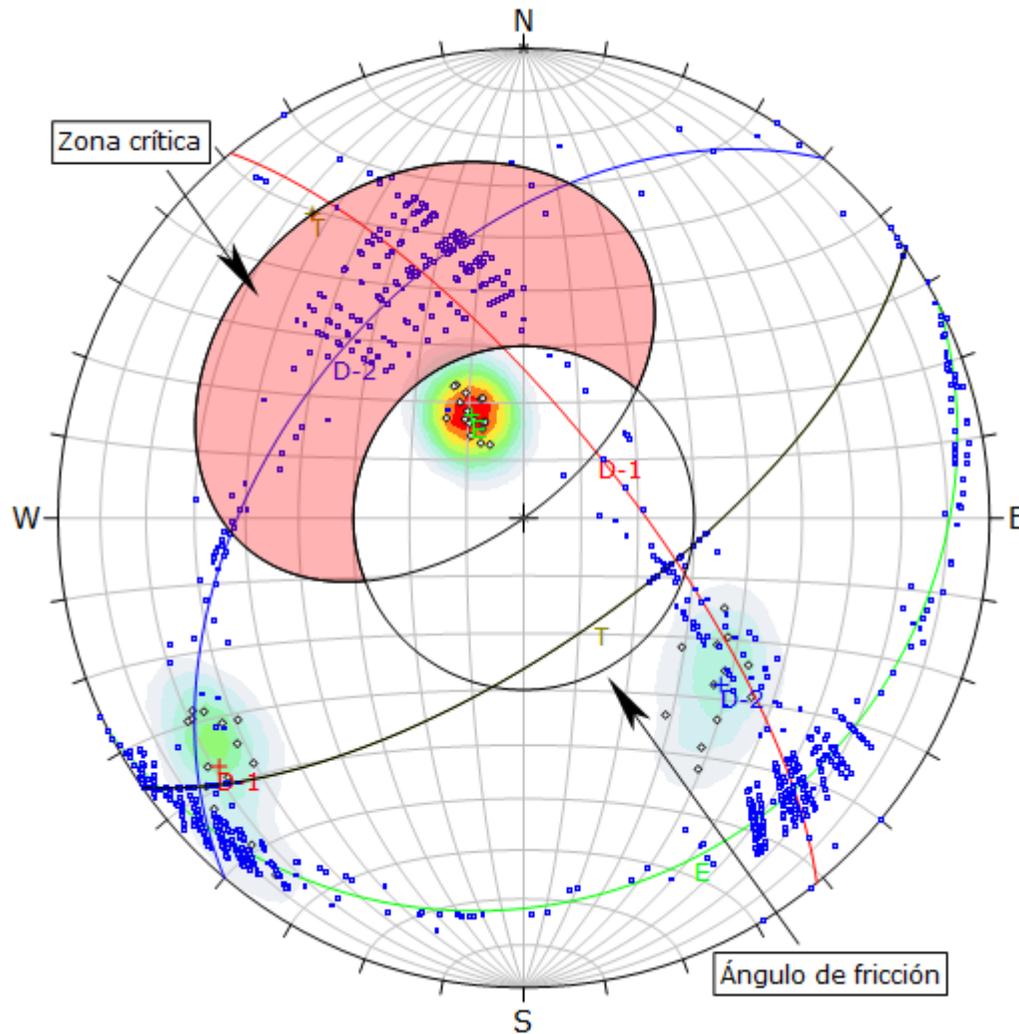


Figura 3.32. Correlación esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (Hoek - Brown) y esfuerzo: Corte y normal (Morh - Coulomb); aplicando método equivalencia de áreas. Caracterización geomecánica EG-04.



| 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 | | 68° | | |
| Slope Dip direction | | 145° | | |
| Friction angle | | 30° | | |
| | Critical | Total | % | |
| Planar siliding (All) | 1 | 45 | 2.22% | |
| | Color | Dip | Dip direction | Label |
| User planes | | | | |
| 1 | ■ | 20° | 153° | E |
| 2 | ■ | 73° | 51° | D-1 |
| 3 | ■ | 46° | 310° | D-2 |
| 4 | ■ | 68° | 145° | T |
| Plot Mode | | Pole vectors | | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | | |
| Intersection mode | | Grid data planes | | |
| Intersections count | | 990 | | |
| Hemisphere | | Lower | | |
| Projection | | Equal area | | |

Figura 3.33. Fallamiento con probabilidad de ruptura planar crítica de 2.22% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-04.

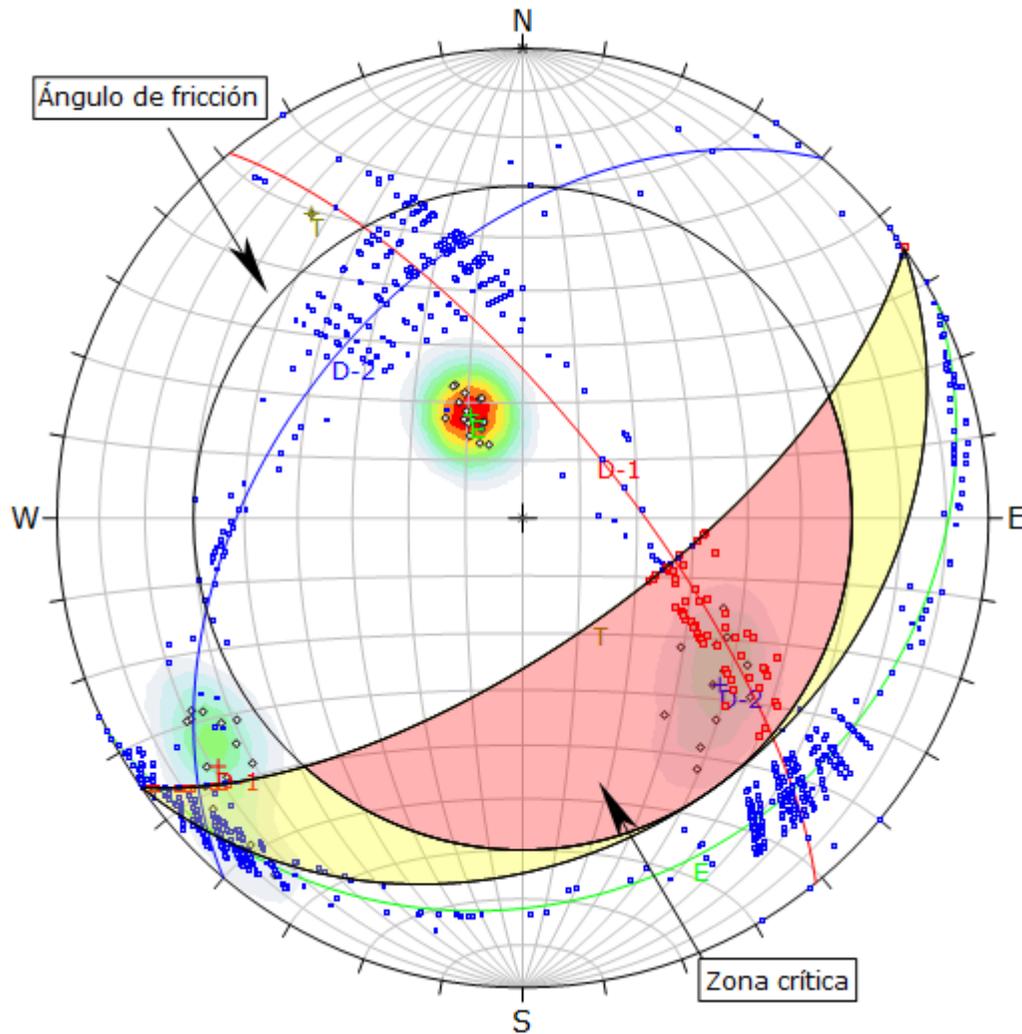
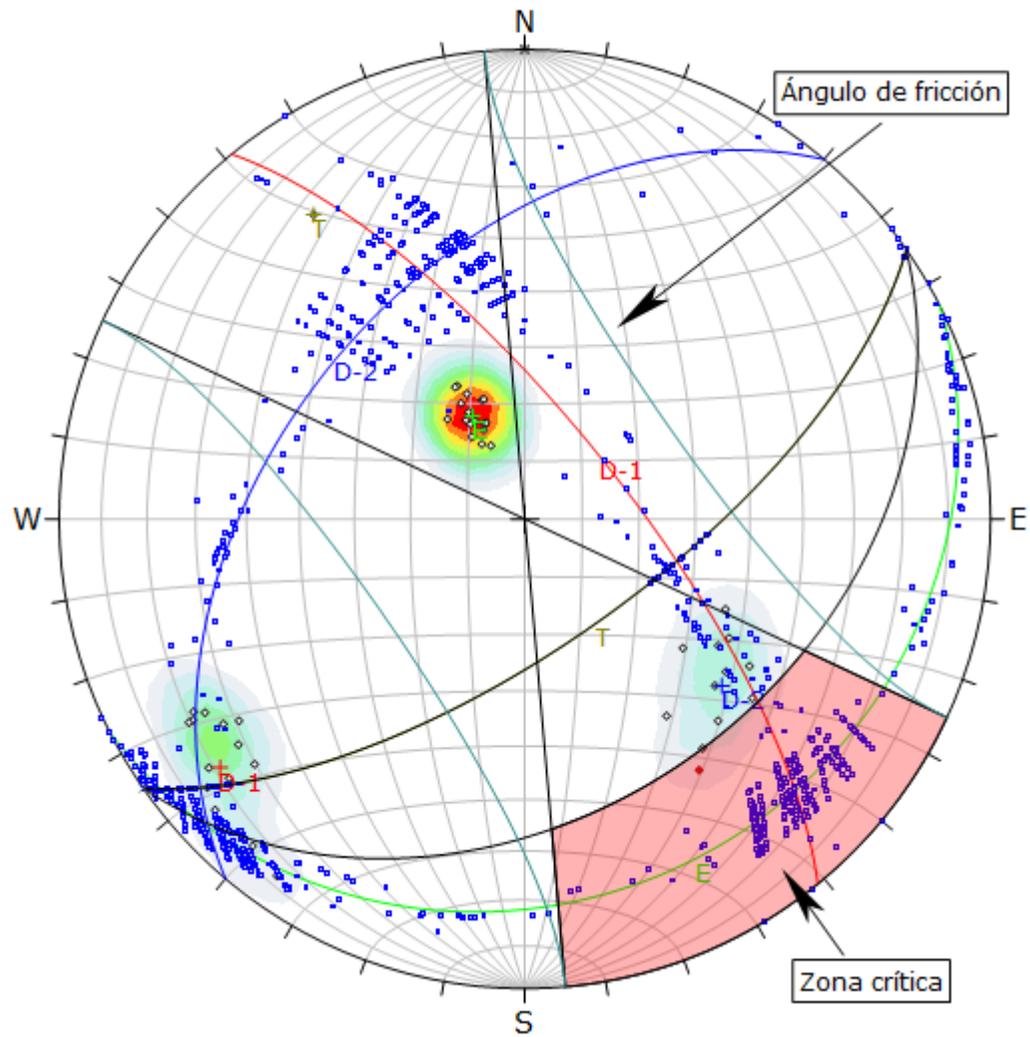


Figura 3.34. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por cuña de 6.87% a favor del talud en función de la intersección de discontinuidades D-1 vs. E. Caracterización geomecánica EG-04.

| 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 | | 68° | |
| Slope Dip direction | | 145° | |
| Friction angle | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Wedge sliding | 68 | 990 | 6.87% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 20° | 153° E |
| 2 | ■ | 73° | 51° D-1 |
| 3 | ■ | 46° | 310° D-2 |
| 4 | ■ | 68° | 145° T |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |



| 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 | | Flexural toppling | |
| Slope dip | | 68° | |
| Slope Dip direction | | 145° | |
| Friction angle | | 30° | |
| Lateral limits | | 30° | |
| | Critical | Total | % |
| Flexural toppling (All) | 1 | 45 | 2.22% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 20° | 153° |
| 2 | ■ | 73° | 51° |
| 3 | ■ | 46° | 310° |
| 4 | ■ | 68° | 145° |
| Plot Mode | | Pole vectors | |
| Vector count | | 45 (45 entries) | |
| Intersection mode | | Grid data planes | |
| Intersections count | | 990 | |
| Hemisphere | | Lower | |
| Projection | | Equal area | |

Figura 3.35. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por vuelco de 2.22% a favor del talud en función del polo de la discontinuidad D-1. Caracterización geomecánica EG-04.

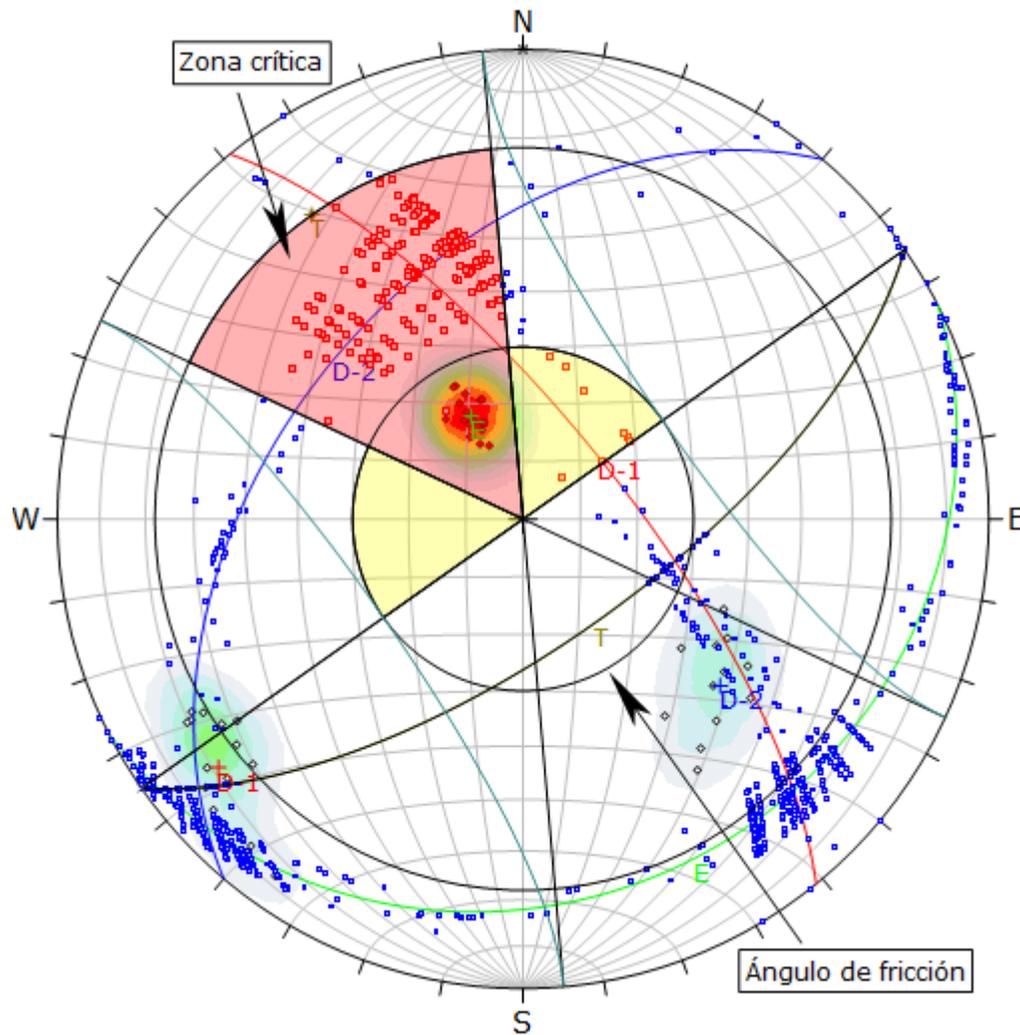


Figura 3.36. Fallamiento con probabilidad de ruptura crítica por base deslizante de 40.00% a favor del talud en función de la discontinuidad E. Caracterización geomecánica EG-04.

| 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 | 68° | | |
| Slope Dip direction | 145° | | |
| Friction angle | 30° | | |
| Lateral milits | 30° | | |
| | Critical | Total | % |
| Direct toppling (Intersection) | 200 | 990 | 20.20% |
| Oblique toppling (Intersection) | 8 | 990 | 0.81% |
| Base plane (All) | 18 | 45 | 40.00% |
| | Color | Dip | Dip direction |
| User planes | | | |
| 1 | ■ | 20° | 153° E |
| 2 | ■ | 73° | 51° D-1 |
| 3 | ■ | 46° | 310° D-2 |
| 4 | ■ | 68° | 145° T |
| Plot Mode | Pole vectors | | |
| Vector count | 45 (45 entries) | | |
| Intersection mode | Grid data planes | | |
| Intersections count | 990 | | |
| Hemisphere | Lower | | |
| Projection | Equal area | | |

3.10 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El método de explotación de la cantera de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., está basada con autorizaciones del MEM – DREM Cajamarca, mediante el ingreso de expedientes técnicos aprobatorios ya sea del terreno como concesión minera. Por consiguiente, la aprobación de operaciones mineras a tajo abierto por terrazas de banqueo por ser un yacimiento masivo, realizándose las operaciones mineras extractivas en una sola cara libre o tajo, siendo desbrosado en varios sectores de acuerdo con el avance y calidad de roca.



Figura 3.37. Método explotación a tajo abierto utilizado por la Minera Nueva Unión E.I.R.L., siendo actualmente un solo banco de explotación de altura de 15 m.

Actualmente se proyecta el inicio de una nueva cota 3025 msnm. por ser extraída casi en su totalidad de la parte alta del yacimiento no metálico, en tal sentido se plantea una evaluación geomecánica del basamento rocoso, diseñará los nuevos bancos o barreras de explotación, mediante la caracterización geomecánica de la roca reportando como roca de calidad: Buena a regular,

planteando los siguientes parámetros de diseño: altura de banco = 6.00 m., quebradura = 1.61 m., ancho de berma = 4.00 m., ancho rampa = 8.00 m., ángulo de banco = 75° y ángulo final del talud = 84°. Considerando así mismo el perfil de la maquinaria que se utiliza como: Bocat, retroexcavadora, volquete, camioneta, compresora, perforadora jackleg.

Así mismo se complementa la extracción de roca mediante: perforación y voladura, utilizando taladros de: 3 pies, 5 pies, 8 pies y 10 pies, para mejores avances de desbroce de roca, ayudando a la perforación inclinada (por el buzamiento a favor de la cara libre) para mejores desplazamientos desde la cara libre para la formación de la pila de escombros (desbroce y seleccionamiento de la roca). Utilizando: Anfo, fulminante y mecha lenta.

3.11 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.11.1 TIPO, NIVEL, DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Tipo: Correlaciona información del tajo de explotación, para definir el método de explotación que utilizará la empresa minera, relacionándolo con la orientación de la roca y parámetros geomecánicos, utilizando técnicas explicativas para mayor avance para el desbroce roca y menores costos en la utilización en insumos de voladura.

Nivel: Basado en el enfoque descriptivo de las condiciones geológicas geomecánicas de la roca, definido por: Grado estabilidad, resistencia, producción y comercialización, fijando la vida útil del yacimiento minero. El aspecto aplicativo está enfocado al yacimiento minero no metálico de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., definiendo las características óptimas de extracción y avance.

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

Método: Se buscó definir la descripción de la investigación basada en información: Real y pertinente, para el enfoque analítico desde el punto de vista ingenieril e interpretativo de las condiciones que presenta el afloramiento rocoso.

3.11.2 POBLACIÓN

Presenta un frente de explotación con orientación NW, extrayéndose roca caliza de diferentes sectores de acuerdo con la blocosidad de roca calcárea, presentando un área superficial de 3.45 Ha.

3.11.3 MUESTRA

Al presentar un frente de explotación con orientación NW, se realizó varios puntos aleatorios de control geomecánico, relacionados con estaciones geomecánicas en la cantera de explotación de roca caliza, para obtener muestras representativas, para el procesamiento de información y así definir el método de explotación óptimo para el yacimiento minero y diseño del tajo.

3.11.4 UNIDAD DE ANÁLISIS

Lo conforman variables como: Litología, geoestructuras, precipitación, infiltración y sismicidad; siendo importantes para definir aspecto: Diseño de bancos; acompañados de parámetros geomecánicos con las variables mencionadas para la investigación.

3.11.5 ETAPAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Está basado en la obtención de información de área superficial del yacimiento minero no metálico de la Minera Nueva Unión E.I.R.L., mediante cartografiados: geológico y geomecánicos. Sectorizado en cinco etapas:

Primera etapa - Aspecto preliminar de gabinete: Fundamentada en la definición de objetivos, delimitación del área del tajo de explotación, recopilación, análisis y procesamiento de la información, seleccionada en el área del proyecto; y finalmente seleccionamiento de materiales cartográficos como: Mapas, planos, fotos aéreas, etc.

Segunda etapa – Campo: Se basó en recorridos y cartografiados generales y detallados, para evaluar la situación actual del área de influencia directa del proyecto, así como para levantar información relacionada con la geología. Así mismo la verificación de componentes actuales como: Producción, formación geológica, método de explotación, desbroce de roca y propuesta del nuevo tajo.

Tercera etapa – Procesamiento de información: Se basó en la información recopilada, obteniendo resultados de los trabajos realizados por las diferentes variables planteadas por la investigación (Litología, geoestructuras, precipitación, infiltración y sismicidad); así mismo la integración de los resultados de las distintas variables; para obtener el análisis de la situación geomecánica de la cantera y su influencia con el desbroce de roca.

Cuarta etapa - Planificación geológica-geomecánica: El análisis geológico-geomecánico para el diseño del minado superficial, se basó: Identificación, evaluación y caracterización de los parámetros del basamento rocoso, que tienen que ver con la producción de roca y operación del proyecto; determinando el estudio geomecánico del yacimiento; y obteniendo como producto final secciones de corte del diseño del corte geométrico para mejorar, productividad de roca caliza.

Quinta etapa - Revisión y edición: Se elaboró planos temáticos que muestren la calidad de información del yacimiento minero; y finalmente se fundamentó mediante la redacción y edición final de la tesis.

3.11.6 EQUIPOS Y SOPORTE DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Equipos de recolección de información: Está en equipos, instrumentos y registros (Planos, fichas técnicas y libretas), siendo fundamentales para obtener información, que muestren la realidad del yacimiento no metálico. Los equipos reportaron la información de campo y gabinete: Cualitativa y cuantitativa, en función del análisis de las variables propuestas en la investigación, sin embargo, tienen vinculaciones con programas ingenieriles de cartografiado y procesamiento: ArcGis, AutoCAD, Civil3D y SASPLANET, y evaluación del afloramiento rocoso: RocData y Dips, para finalmente obtener reportes de información: Real, concisa y objetiva del área de estudio.

Soporte técnico procesamiento: Está constituido por:

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

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

SASPlanet: Utilizado para ubicar puntos georreferenciados y descargar imágenes satelitales de alta resolución y mapas convencionales.

Rocdata: Permitió obtener las constantes elásticas del macizo rocoso de manera empírica, siendo de vital importancia el ingreso de parámetros geomecánicos a software Dips, para su correspondiente procesamiento.

Dips: Utilizado para proyectar juntas, discontinuidades y obtener la y probabilidad de ruptura del macizo rocoso, mediante la orientación de discontinuidades y constante elástica del macizo rocoso.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

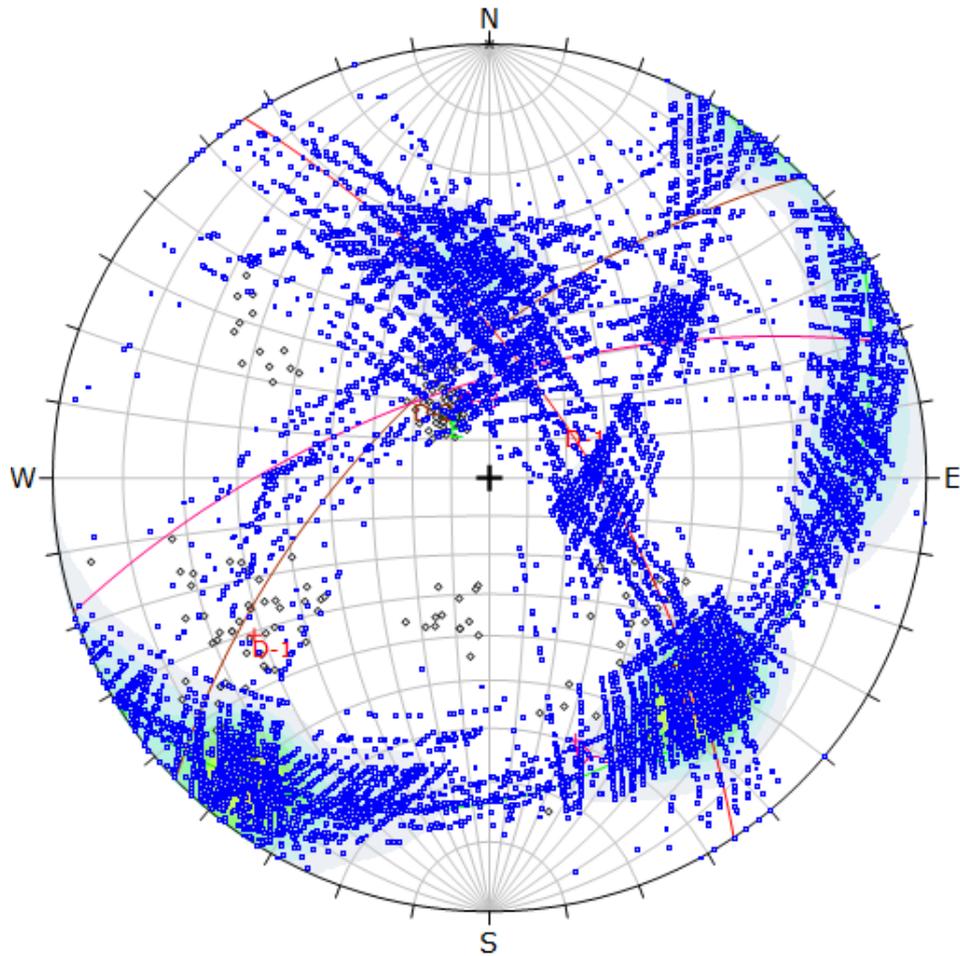
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Litológicamente está emplazada en la Formación Cajamarca constituida por bancos de espesor: 0.80 m. a 2.50 m. de orientación (Az/Bz) N56°/23°SE, caliza mudstone de textura fina, con fracturamiento concoidal, con $\sigma_{ci} = 80$ MPa. a 120 MPa., presentando blocosidades de forma: Tabulares a cúbicos, en el tajo de explotación, de calidad: Regular, buena a muy buena; con bancos calcáreos de secciones de corte: 10:1 y 8:2. Por consiguiente se evidencio un proceso de descarbonatación en el tajo siendo contactos irregulares de simetría ondulada entre planos estratigráficos, producidos por la disolución de rocas calcáreas; habiéndose sido sometidas a presiones elevadas presentando entre ambos planos de estratos materiales arcillosos con bandeamientos de 1 mm a 2 mm. de espesor, conformando espesor total 1 cm. a 2.50 cm., por la acumulación de residuos minerales insolubles disminuyendo la permeabilidad de la roca.

Por lo contrario, el basamento rocoso está cubierto por Depósitos Cuaternarios de origen: Deluvial, Eluvial y Antrópico, variando su espesor desde 2.50 m a 8.00. **Depósito Deluvial** de color castaño a marrón claro, siendo materiales de consistencia firme y estructura fisurada, distribuidos generalmente por materiales finos de coloraciones rojizas a anaranjadas, rellenando en algunos casos las geoformas kársticas. **Deposito Eluvial** lo conforma un sector del frente de explotación siendo materiales rocosos de mala a muy mala calidad, altamente fracturados con resistencia $\sigma_{ci} = 25$ MPa. a 35 MPa., generados por la meteorización física y química de la Formación Cajamarca, habiendo afectado las zonas muy frágiles y susceptibles a inestabilidades; y los **Depósitos Antrópicos** se encuentran ubicados en los hornos de calcinación y tajo de extracción de roca,

siendo conformados por materiales < 13 pulg. y > 3 pulg. de diámetro, siendo mezclado internamente en las operaciones mineras para ser vendido como material de afirmado, así evitando acumulaciones excesivas de material desechable.

Las geoestructuras están constituidas por: Grado de fracturamiento, fallas geológicas y plegamientos; del macizo rocoso, a nivel: Local y regional. Sin embargo, los alineamientos tectónicos de la cordillera andina, se ubica en el flanco izquierdo del sinclinal - Apan Bajo de orientación WNW-ESE, originando plegamiento del Cretáceo: Superior e Inferior, formando estructura asimétrica de $Bz = 13^\circ$ a 20° SW-NE; y esfuerzos tectónicos SSW-NNE. Disipándose los esfuerzos principales por medio de movimientos tectónicos, así como materiales brechosos de diámetros: 0.025 m. a 0.075 m., constituidos por clastos angulosos y matriz cementante carbonatada conformando espesores: 0.10 m. a 0.15 m., del tipo pull-apart/falla normal, siendo el movimiento tectónico principal. Por consiguiente los fragmentos calcáreos de 0.01 m. a 0.05 m., formaron estructuras brechosas englobadas por gouge de color castaño de movimiento cinemático orientación $(Az/Bz) = N330^\circ/69^\circ$ NE y pitch = 28° - falla dextral, así mismos fallamientos de movimiento sinestral con orientación $(Az/Bz) = N350^\circ/81^\circ$ NE y pitch = 29° ; afectado por brecha de falla de espesor: 0.35 m. a 0.40 m. conformado por fragmentos de rocas angulosas de 0.035m. a 0.05 m. y matriz cementante calcárea. Siendo también delimitado por estructuras menores definiendo la blocosidad de forma: Tabular, cúbica y prismática, de acuerdo: Calidad de roca, dimensiones de bloque (0.30 m. a 1.50 m.) y diaclasamientos: Sub-horizontal y vertical, por la sobreexcavación del frente de explotación por: Intersección de juntas y polos, aumentando los fallamientos: Planares, cuneiforme y vuelco, de la Formación Cajamarca, así mismo delimitadas tres discontinuidades (Az/Bz) : $N64^\circ/19^\circ$ SE, $N332^\circ/81^\circ$ NE y $N235^\circ/68^\circ$ SW.



| Symbol | Feature |
|--------|--------------|
| ○ | Pole Vectors |
| ■ | Intersection |

| Color | Density Concentrations |
|-------|------------------------|
| | 0.00 - 1.30 |
| | 1.30 - 2.60 |
| | 2.60 - 3.90 |
| | 3.90 - 5.20 |
| | 5.20 - 6.50 |
| | 6.50 - 7.80 |
| | 7.80 - 9.10 |
| | 9.10 - 10.40 |
| | 10.40 - 11.70 |
| | 11.70 - 13.00 |

| | | |
|----------------------|--|---------------|
| Maximum Density | | 12.07% |
| Contour Data | | Intersections |
| Contour Distribution | | Fisher |
| Counting Circle Size | | 1.0% |

| | Color | Dip | Dip Direction | Label |
|-------------|-------|-----|---------------|-------|
| User Planes | | | | |
| 1 | ■ | 19 | 148 | E |
| 2 | ■ | 66 | 56 | D-1 |
| 3 | ■ | 62 | 316 | D-2 |
| 4 | ■ | 65 | 342 | D-3 |

| | |
|---------------------|-------------------|
| Plot Mode | Pole Vectors |
| Vector Count | 178 (178 Entries) |
| Intersection Mode | Grid Data Planes |
| Intersections Count | 15745 |
| Hemisphere | Lower |
| Projection | Equal Angle |

Figura 4.1. Proyección de las discontinuidades del tajo Empresa Minera Nueva Unión E.I.R.L., conformada por cuatro geoestructuras de diaclasamiento del tajo de explotación.

Sin embargo, la caracterización geomecánica fue basada para definir la calidad del basamento rocoso aplicando criterios empíricos geomecánicos como: RQD, RMR y GSI, así mismo fundamentada por las teorías: Mohr-Coulomb (M-C) y Hoek-Brown (H-B); para precisar el modelo geológico-geomecánico mediante modelos numéricos como: RocData y Dips, aplicados en el yacimiento minero del tajo de explotación. Así mismo la caracterización está basada por información: Cuantitativa y cualitativa, obteniendo resultados numéricos de las constantes elásticas y probabilidad de fallamientos del macizo rocoso, en relación de cada estación geomecánica.

Cuadro 4.1. Caracterización geomecánica y constantes elásticas, del tajo de explotación de la Formación Cajamarca - Minera Nueva Unión E.I.R.L.

| Criterios empíricos | | | EG-1 | EG-2 | EG-3 | EG-4 |
|----------------------|---------------------|--------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| σ_{ci} (MPa) | | | 125 | 105 | 80 | 115 |
| RQD (%) | Puntaje | Cuantitativo | 93.84 | 81.86 | 57.32 | 84.57 |
| | | Cualitativo | Excelente | Buena | Regular | Buena |
| RMR | Puntaje | Cuantitativo | 84 | 78 | 52 | 79 |
| | | Cualitativo | Buena | Buena | Media | Buena |
| GSI | Puntaje | Cuantitativo | 79 | 73 | 47 | 74 |
| | | Cualitativo | Buena | Buena | Regular | Buena |
| Constantes elásticas | m_i | | 11 | 11 | 8 | 10 |
| | D | | 1.00 | 1.00 | 0.70 | 1.00 |
| | MR | | 1,000 | 950 | 800 | 950 |
| | E_i (MPa) | | 125,000 | 99,750 | 64,000 | 109,250 |
| | m_b | | 2.45 | 1.60 | 0.43 | 1.56 |
| | s | | 0.03 | 0.01 | 0.00046 | 0.01 |
| | a | | 0.501 | 0.502 | 0.510 | 0.503 |
| | c (MPa) | | 8.20 | 5.58 | 2.41 | 6.18 |
| | ϕ° | | 33.39° | 29.96° | 20.05° | 29.72 |
| | σ_t (MPa) | | -1.54 | -0.73 | -0.08 | -0.97 |
| | σ_{cu} (MPa) | | 21.67 | 11.01 | 1.63 | 13.12 |
| | σ_{cg} (MPa) | | 30.45 | 19.33 | 6.88 | 21.30 |
| | E_m (MPa) | | 39,370.03 | 24,671.68 | 5,673.48 | 28,256.88 |

Por lo contrario las constantes elásticas de las cuatro caracterizaciones geomecánicas muestran factor de disturbancia - D : 0.70 a 1.00, de acuerdo con la geometría de alteración del frente del tajo, con valores s : 0.00046 a 0.03 definido como roca fracturada del macizo rocoso, con mb siendo el valor reducido del mi en función del tipo de roca, textura, tamaño de grano, diaclasamiento, alteración, meteorización, blocosidad y estado tensional; para aplicar el criterio generalizado H-B diferente a 1/2 desde: 0.501 a 0.51, por estar conformado por el medio discontinuo, con cohesión = 2.41 MPa a 8 MPa se reportó tres parámetros de resistencia: Tracción (-1.54 MPa a 0.08 MPa), compresión uniaxial (1.63 MPa a 21.67 MPa) y compresión triaxial (6.88 MPa a 30.45 MPa). Así mismo la probabilidad de fallamiento se tomó como valor importante el $\phi = 20^\circ$ a 33° y orientación de discontinuidades, reportando valores de fallamiento: Planar (2.22% a 46.67%), cuña (6.87% a 44.95%), vuelco (0.00% a 2.22%) y vuelco de base deslizante (3.33% a 68.89%) mediante: Polos e intersección de planos, delimitando la envolvente de luz, ángulo de fricción, cono de fricción y límites laterales, obtenido la zona crítica de caída de rocas en función de la discontinuidad o diaclasa.

Cuadro 4.2. Análisis de probabilidad de fallamiento cinemático - software Dips, a las caracterizaciones geomecánicas del tajo - Minera Nueva Unión E.I.R.L.

| Estación | Probabilidad de fallamiento | | | | | | | | |
|----------|-----------------------------|---------|-------|-----------|----------|-------------|-----------|-------------------|-------|
| | Planar | | Cuña | | Vuelco | | | | |
| | % | Junta | % | Junta | Vuelco % | Dirección % | Oblicuo % | Base deslizante % | Junta |
| EG-1 | 40 | D-1 | 44.95 | D-1 y D-2 | 0.00 | 3.74 | 0.20 | 68.89 | D-1 |
| EG-2 | 46.67 | E | 21.15 | D-1 y E | 2.22 | 3.95 | 0.00 | 42.22 | E |
| EG-3 | 28.89 | E y D-1 | 30.23 | D-1 y E | 0.00 | 1.42 | 1.72 | 33.33 | E |
| EG-4 | 2.22 | E | 6.87 | D-1 y E | 2.22 | 20.20 | 0.81 | 40 | E |

| | | | | | | |
|--------------------------|------|--|----------|--|------|--|
| Condición de estabilidad | baja | | Moderada | | Alta | |
|--------------------------|------|--|----------|--|------|--|

Sin embargo, Gutiérrez (2019) plantea un sistema convencional de explotación a tajo abierto de la extracción de roca caliza obteniendo valores de calidad rocosa con: RMR = 42 a 51 y SMR = 39 a 57, de las 28 estaciones geomecánicas distribuidas en el tajo de explotación siendo delimitados por tres sistemas de geoestructuras de orientación DD/D = $319^\circ/52^\circ$, $127^\circ/54^\circ$ y $226^\circ/57^\circ$. Por otro lado, Terán (2019) plasma un sistema de extracción por terrazas a tajo abierto del basamento calcáreo con orientación Az/Bz = $N55^\circ/20^\circ$ SE a favor del

talud, siendo roca de calidad: Buena a muy buena, con $\sigma_{ci} = 105 \text{ MPa}$ a 210 MPa de estimación R5, delimitando por ruptura: Planar, cuña y vuelco, con baja probabilidad de falla $> 20\%$, de 190 valores; y la ruptura en cuña tiene mayor incidencia a 2,293 zonas críticas en la cara libre; siendo el parámetro a tajo abierto: Altura de banco = 2.00 m., quebradura = 0.35 m., ancho rampa = 4.50 m., ancho berma = 2.40 m., ángulo de banco = 80° y ángulo final del talud = 33° . Fundamentada por Montoya (2018), obteniendo valores de la roca caliza de la Formación Cajamarca de espesor: 0.60 m. a 1.30 m, con ley de pureza de $\text{CaCO}_3 = 92\%$, obteniendo reservas de 1'536,979.236 TM, con producción diaria de 95 TM/día, equivalente a una vida útil 47 años, el cartografiado geomecánico muestra rocas con RQD = 75%, RMR = 70 y GSI = 65 de calidad buena y clase II, conformado por tres familias de discontinuidades método de explotación por terrazas - cielo abierto, con parámetros: altura de banco = 1.20 m., ancho de banco = 2.40 m., quebradura = 0.33 m. y ángulo de talud = 75° .

Sin embargo, lo aportes científicos por las tres investigaciones son muy importantes por haberse realizado en roca caliza de la Formación Cajamarca, presentando resultados de la roca caliza de buena a muy buena calidad, con espero casi equivalente entre: 0.50 m. a 1.20 m., con orientación de orientación (Az/Bz) $N56^\circ$ a $N42^\circ/23^\circ\text{SE}$ a 19°SE , aplicando método de explotación por terrazas - cielo abierto, por la estructura masiva calcárea, generando algunos modificación por la orientación del talud y el tipo de maquina a utilizar en el tajo de explotación por parte de Terán (2019) y Montoya (2018). Sin embargo, Gutiérrez (2019), presenta rocas de calidad media utilizando otros parámetros de diseño del tajo por su calidad de roca calcárea, al mismo tiempo el sistema de extracción es a mayor escala en comparación con Terán (2019) y Montoya (2018), aplicando sistemas mecánicos de menor proporción del diseño de banquetas.

4.2 CONTRATACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El comportamiento geomecánico está constituida por bancos de caliza de espesor: 0.80 m. a 2.50 m. de la Formación Cajamarca de orientación (Az/Bz) N56°/23°SE, caliza mudstone de textura fina, con fracturamiento: Concoidal a ganchuda, con $\sigma_{ci} = 80$ MPa. a 120 MPa., presentando blocosidad de forma: Tabular, cúbica y prismática, de calidad: Regular, buena a muy buena; con bancos calcáreos de secciones de corte: 10:1 y 8:2. Presentando fallamiento: Planar (2.22% a 46.67%), cuña (6.87% a 44.95%), vuelco (0.00% a 2.22%) y vuelco de base deslizante (3.33% a 68.89%) con resultados de inestabilidad: Baja a alta, favoreciendo en la acumulación de escombros de roca.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se determinó en análisis del comportamiento de probabilidad de fallamiento cinemático - software Dips, por: Planar del 46.67% EG-2 (P_E) al 2.22% EG-4 (P_E); cuña del 44.95% EG-1 ($I_{D-1/D-2}$), al 6.87% EG-4 ($I_{D-1/E}$); vuelco del 0.00% EG-1 al 2.22% EG-4 (P_{D-1}); y base deslizante del 68.89% EG-1 ($D-1$) al 33.33% EG-3 (E).

El cartografiado geológico muestra que la roca calcárea pertenece al Mesozoico-Cretácico Superior, constituida por bancos de espesor: 0.80 m. a 2.50 m. de roca caliza de la Formación Cajamarca de orientación (Az/Bz) $N56^\circ/23^\circ SE$, caliza mudstone con $\sigma_{ci} = 80$ MPa. a 120 MPa., presentando blocosidades de forma: Tabulares, cúbicos y prismática, de calidad: Regular, buena a muy buena.

Se determinó las propiedades geomecánicas en cuatro estaciones rocosas: E-1 (RQD = 93.84%, RMR = 84 y GSI = 79, de calidad buena) con $\sigma_{ci} = 125$ MPa., E-2 (RQD = 81.86%, RMR = 78 y GSI = 73, de calidad buena) con $\sigma_{ci} = 105$ MPa., E-3 (RQD = 57.32%, RMR = 52 y GSI = 47, de calidad regular) con $\sigma_{ci} = 80$ MPa. y E-4 (RQD = 84.57%, RMR = 79 y GSI = 74, de calidad buena) con $\sigma_{ci} = 115$ MPa.; con estimación de resistencia: R4 – 2 golpes y R5 – 3 golpes.

Las geoestructuras están definidas por el sinclinal - Apan Bajo de orientación WNW-ESE, originando plegamiento del Cretácico: Superior e Inferior, formando una estructura asimétrica de $Bz = 13^\circ$ a 20° SW-NE; y esfuerzos tectónicos SSW-NNE.

El diseño del tajo de explotación a cielo abierto está constituido por parámetros geométricos por: $hb = 6.00$ m., $b = 3.20$ m., $qb = 1.61$ m., $\alpha b = 75$, $\alpha o = 47$, y $ho = 15.00$ m., realizándose por bancos por la forma del yacimiento y el análisis geotécnico (resistencia de la roca).

5.2 RECOMENDACIONES

La empresa debe realizar ensayos triaxiales para complementar la investigación.

Se debe realizar cartografiados y actualizaciones geomecánicas más seguidas del tajo de explotación, por presentar ampliaciones de extracción en función de la profundidad y ancho del tajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álfaro, F (2003). *Geología u geotécnica: estabilidad de taludes*. Universidad Nacional de rosario.
- Alonso, Ch; Garcia, N; Almires, C; Monte, M. (2008). *Análisis de los tipos de inestabilidades del macizo rocoso de la Virgen de la Peña (Huelva, España)*. Revista Geogaceta 44 (2008), 43 - 46.
- Berrocal, M. 2015. *Estabilidad de Excavaciones Subterráneas*. Lima - Perú: Ventura Graf.
- Bieniawski, Z. T. (1973) *Engineering classification of jointed rock masses*. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs, 15(12): 335–44.
- Bieniawski, Z. T. (1976) *Rock mass classifications in rock engineering*. Exploration for Rock Engineering (ed. Z. T. Bieniawski), 1: 97–106. A. A. Balkema: Cape Town.
- Brady, B., y Brown, E. (2006). *Rock mechanics for underground mining 3ra edition*. Trad. Franklin Montoya. Ámsterdam - The Netherlands: Springer.
- Carhuatanta, R., y Tantajulca, M. (2020). *Análisis estructural de macizo rocoso para determinar el facto de seguridad en taludes de la carretera Cochabamba – Cutervo – Puerto Chiple* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo.
- Consuelo, Y. (2022). *Caracterización geomecánica de la pared oeste del tajo abierto Toromocho, Mina Chinalco* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Recuperado de <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/0bc4545a-2687-4b9d-8f97-e2a961bca219>
- Dávila, B. (2011). *Diccionario geológico*. Callao – Perú: INGEMMET.
- 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.

- Dunham, R. (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional textura*. En: Ham, W. E. (ed.) *Classification of carbonate rocks. A Symposium*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108–121
- Echeveste, H. (2018). *Manual de levantamiento geológico: Introducción de la geología de campo*. Buenos Aires – Argentina: Universidad de la plata.
- Ergueta, M. (2014). *Análisis de estabilidad de taludes en roca caso práctico: Talud izquierdo del vertedor de la C.H. La Yesca* (Tesis posgrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de estudios superiores Acatlán.
- Folk, R. (1962). *Spectral subdivision of limestone types*. En: Ham, W. E. (ed.) *Classification of carbonate rocks. A Symposium*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 62-84.
- Ford, D., y Williams, P. (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology*. Londres – Inglaterra: Jhon Wiley & Sons Ltd.
- GEOMA (2006). *Estudio de estabilidad de taludes Talud 2: Cantera Coma de S’AIGUA”*. Geología de Mallorca S.L.
- González, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid – España: Prentice Hall.
- Gavilanes, J., y Andrade, H. (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizo rocosos*. Quito – Ecuador: Editorial: AIME.
- Gutiérrez, K. (2019). *Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicadas en la cantera de caliza de la empresa UNACEM S.A.A.* Revista Industrial Data 22(2): págs. 27-46 (2019) ISSN: 1560-9146 (Impreso)/ ISSN: 1810-9993 (Electrónico). Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/download/15615/14715?inline=1>
- 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
- Hoek, E., Kaiser, P., & Bawdwn, W. (1995) *Support of Underground excavations in Hard Rock*. Balkema, Rotterdam.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., y Martin, R. (2013). *Open pit mine planning & design*. Editorial: CRC Press, Taylor & Francis Group, an informa business Boca

- Raton, London, New York y Leiden. Tercera edición. volumen 1 – fundamentos.
- IngeTúneles, (1998). *Ingeniería de túneles*. Madrid - España.
- Priest, S., y Hundson, D. (1976). *Estimation of discontinuity spacing and trace length using scan line surveys*. International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts, págs. 138-197.
- 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/>
- Lisle. R., y Lesión, P. (2002). *Técnicas de proyección estereográfica para geólogos e ingenieros civiles, 2da. edición*.
- Lopez, E. (2016). *Estudio geotécnico y diseño de talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNMS_8ca5a13d64868a64dd9fcaed763e5b88
- López, R., y Paramo, R. (2012). *Corrección de un talud de margas en el Alto de Foradada del Toscar*. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 215, 2012, págs. 11-17. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3984411>
- Mamani, M. (2019). *Caracterización geomecánica en minería superficial: Un caso de estudio* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_30316050a562964fa8a89d59e0d21e8c/Details
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2019). *Norma técnica: E.30 Diseño sismorresistente*. Resolución ministerial N° 043-2019-vivienda. Lima - Perú: Ministerio de vivienda. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf
- Muñoz y González, (1987). *Aplicaciones de las clasificaciones geomecánicas al estudio de excavaciones subterráneas*. Henares, Rev Geol., 1: pág. 71-76.

- Monte, I. (2020). *Análisis de estabilidad de taludes en roca mediante el método de elemento finitos* (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción.
- Montoya, F. (2018). Expediente técnico del proyecto minero No Metálico – Agustín De La Cruz Vásquez. Ministerio de energía y minas.
- Palmstrom, A. (1975). *Characterizaation of degree of jointing and rock mass quality*. Intem. Report ing. A.B. Berdel, A. S.Oslo.
- 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.
- Herrera, J. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. Universidad Politécnica de Madrid – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Minas.
- Lillo, J., y Oyarzun, R. (2013). *Geología estructural aplicada a la minería y exploración minera: Principios básicos*. Móstoles – España: Ediciones GEMM.
- 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>
- Pérez, E. (2014). *Implementación de rozadoras en tajos de baja potencia Uniminas S.A. municipio de Guachetá, Cundinamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/items/49531a62-757c-4898-a546-abdf8a3ec186>
- Pozo, M., González J., y Giner, J. (2021). *Geología aplicada: Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas*. Madrid – España: Alhambra
- 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, O., y Alejano, M. (2013). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Universidad Politécnica de Madrid y en la de Vigo, en el Master Internacional. Recuperado de http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
- Ramírez, P., De La Cuadra, L., Laín, R., y Grijalbo, E. (2008). *Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea*. Instituto geológico y minero de España.
- Read, J., y Stacey, P. (2009). *Guidelines for: Open pit slope design*. Austria: CSIRO PUBLISHING – CRC.
- Rojas, C. (2018). *Comportamiento geotécnico de los taludes críticos de la carretera Lajas – El Tayal provincia de Chota* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- 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.
- Suarez, L. (2015). *Análisis de estabilidad de taludes: Con aplicaciones de MATLAB 1ra edición*. Medellín – Colombia.
- 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. (2002). *Aplicaciones del Índice GSI para el Mapeo Geomecánico y la definición del Sosténimiento de labores Mineras subterráneas*. XI Congreso Peruano de Geología. Lima – Perú.
- 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

ANEXO A
AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA



MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L.

- Producción y comercialización de óxido de calcio
- Extracción y comercialización de carbón de piedra, otros

Bambamarca 28, de enero del 2024

CARTA N° 001-2024-RR. HH/MNU EIRL

SEÑOR: Jhonatan Chuquimango Castrejón
Ex. Alumno de la Universidad Nacional de Cajamarca – (Facultad de
Ingeniería de Minas)
CAJAMARCA

ASUNTO: Respuesta a Solicitud de autorización para realizar Tesis en el Tajo de
explotación de la Minera Nueva Unión E.I.R.L.

REFERENCIA: SOLICITUD

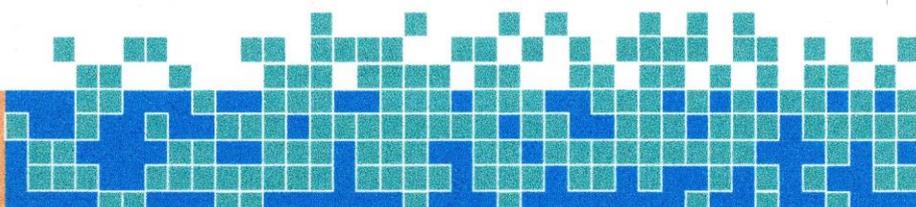
Sr. Jhonatan Chuquimango Castrejón, reciba un cordial saludo a nombre la
empresa **MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L** con **RUC: 20495778348**; recibida su
**SOLICITUD: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TESIS EN EL TAJO I DE
EXPLOTACIÓN**, se concede el permiso para realizar tesis en el tajo ya mencionado
con el tema: **“ANÁLISIS GEOMECANICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA
MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. – DISTRITO, PROVINCIA DE HUALGAYOC –
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA”**, para optar el grado de Ingeniero de Minas.

Sin otro particular, me despido, aprovechando la oportunidad para reiterar a Usted las
muestras de mi consideración y estima.

Atentamente:

Minera "Nueva Union" E.I.R.L.

Francisco Ruiz Cabrera
DERENTE



ANEXO B
CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO

Cuadro 5.1. Registro geológico - geomecánico, EG-01.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO | | | | TESIS | ANÁLISIS GEOMECAÁNICO DEL TAJÓ DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | | | | | | | | | | BENIAWSKY RMR (1989) | | Superficie | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|------------|--------------|---|--|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|-----------|-----------|-----|-------------|----------------------|---------|-------------------|-----------------|----------------|-------------|---------------|-------------|--------------|--|---------|--|------------------|--|------|--|------------------------|--|
| E-1 | | | | UBICACIÓN | TAJO DE EXPLOTACIÓN MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CÓDIGO | Jhonatan Chuquimango Castrejón | | | HOJA N° | 1 | DE | - | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | |
| RESPONSABLE | WGS | | | ZONA 175 | EJECUTADO POR | Jhonatan Chuquimango Castrejón | FECHA | 22/06/2024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIS. Nro | DATA GPS | | | MACIZO ROCOSO | | | | TIPOS | | RESIST. COMP. UNIAJ. | | RQD TRAMO | | ORIENTACIÓN | | | ESPACIAMIENTO (m) | | PERSIST. (m) | | ABERTURA (mm) | | RUGOS. | | RELLENO | | ALTERAC. METEOR. | | AGUA | | CALIDAD DE INFORMACIÓN | |
| | ESTE (m.) | NORTE (m.) | COTA (msnm.) | METEORIZACIÓN N | GRADO FRACT. | GSJ | E=Estratificada D=Diaclasa | RESIST. COMP. UNIAJ. | ND | 10 | DIRECCIÓN | Z/R | DIP | DD | 1=>2 | 1=<1 | 1=Nada | 1=Muy Rug. | TIPO | DUREZA | 1=Inalterada | 1=Seco | 1=Lec. Real | | | | | | | | | |
| | | | | LITOLOGÍA FORMAC. | 1=Fresco | 1=Alto | 1=Bloq-Regul. | Fn=F.Normal | oci | L | 2.50 | | | | 2=2-0.6 | 2=1-3 | 2=<0.1 | 2=Rugosa | 2=Qz | 2=Duro<5mm | 2=Lig. Alt. | 2=Lig. Húm. | 2=Lec. Apar. | | | | | | | | | |
| | | | | | 2=Lev. Met. | 2=Mediano | 2=Bloq-Irreg. | Fi=F.Inversa | | A | 4.00 | | | | 3=0.6-0.2 | 3=1-3 | 3=0.1-1 | 3=Lig. Rug. | 3=Calcita | 3=Duro<5mm | 3=Mod. Alt. | 3=Humedo | 3=Lec. Proy. | | | | | | | | | |
| | | | | | 3=Mod | 3=Bajo | 3=Bloq-Capas | Fd=F.Directa | | | | | | | 4=0.2-0.06 | 4=10-20 | 4=1-5 | 4=Ondulad.-lisa | 4=Óxidos | 4=Suave<5mm | 4=Muy Alt. | 4=Goteando | | | | | | | | | | |
| | | | | | 4=Alt. Met. | | 4=Fract-Intens | mf=Microfalla | Prom. Golpes | | | | | | 5=<0.06 | 5=>20 | 5=>5 | 5=Suave | 5=Roca Tritur. | 5=Suave<5mm | 5=Descomp. | 5=Flujo | | | | | | | | | | |
| | | | | | 5=Compl. | | Agregar MB,B,M,P,MP | SE=Sombreres. C=Contacto | 3 Golp. | Yp | | | | | | | | | 6=Bx | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 7=Panizo | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8=Veta | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9=Epsonita | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10=Aragonito | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11=Pirolusita | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 769903.12 | 9255327.24 | 3039.00 | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 62 | 18 | 152 | 1 | 4 | 4 | 4 | - | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando blocosidades tabulares. | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 55 | 20 | 145 | 2 | 3 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 52 | 21 | 142 | 2 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 2 | 2 | 1 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 61 | 24 | 151 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 58 | 19 | 148 | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 61 | 15 | 151 | 2 | 3 | 5 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 52 | 25 | 142 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 64 | 17 | 154 | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 49 | 26 | 139 | 2 | 3 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 59 | 16 | 149 | 2 | 2 | 1 | 4 | - | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 68 | 24 | 158 | 3 | 3 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 57 | 27 | 147 | 3 | 4 | 5 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (125 MPa) | 93.84 | 63 | 21 | 153 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 330 | 67 | 60 | 2 | 3 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 325 | 62 | 55 | 3 | 2 | 5 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 321 | 58 | 51 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 332 | 64 | 62 | 2 | 2 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 324 | 51 | 54 | 3 | 3 | 5 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando blocosidades tabulares. | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 318 | 59 | 48 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 329 | 52 | 59 | 3 | 2 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 331 | 64 | 61 | 2 | 3 | 5 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 336 | 60 | 66 | 2 | 3 | 4 | 2 | - | - | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 328 | 59 | 58 | 3 | 2 | 5 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 320 | 68 | 50 | 3 | 2 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 338 | 52 | 68 | 2 | 3 | 5 | 2 | - | - | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 324 | 50 | 54 | 2 | 2 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 330 | 59 | 60 | 3 | 3 | 5 | 3 | - | - | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 322 | 53 | 52 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 326 | 54 | 56 | 3 | 2 | 5 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 331 | 61 | 61 | 2 | 3 | 5 | 3 | - | - | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 220 | 76 | 310 | 1 | 1 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | Calizas gris azuladas, de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando blocosidades tabulares. | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 218 | 64 | 308 | 2 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 221 | 72 | 311 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 212 | 62 | 302 | 3 | 1 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 35 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 210 | 59 | 300 | 1 | 2 | 5 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 36 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 208 | 54 | 298 | 3 | 2 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 37 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 213 | 68 | 303 | 2 | 2 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 38 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 219 | 73 | 309 | 2 | 2 | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 39 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 215 | 60 | 305 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 214 | 53 | 304 | 2 | 1 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 41 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 212 | 64 | 302 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 42 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 218 | 72 | 308 | 2 | 1 | 5 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 43 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 223 | 52 | 313 | 3 | 2 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 44 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (125 MPa) | 93.84 | 211 | 49 | 301 | 2 | 2 | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | Talud | | | 345 | 78 | 75 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

Cuadro 5.2. Registro geológico - geomecánico, EG-02.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO | | | | TESIS | ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | | | | | | | | | | BENIAWSKY RMR (1989) | | Superficie | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|------------|--------------|---|---|----------------|----------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|----------|----------------------|--------------|--------------|---------------|----------|--------------|------------|------------------|-----------|------------------------|------------|-------------|
| E-2 | | | | UBICACIÓN | TAJO DE EXPLOTACIÓN MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CÓDIGO | Jhonatan Chuquimango Castrejón | | | HOJA N° | 2 | DE | - | A | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | | | | |
| RESPONSABLE | Jhonatan Chuquimango Castrejón | | | EJECUTADO POR | 2 | DE | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | | | | |
| SISTEMA | WGS 84 ZONA 17S | | | EJECUTADO POR | Jhonatan Chuquimango Castrejón | FECHA | 22/06/2024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIS. Nro | DATA GPS | | | MACIZO ROCOSO | | | | TIPOS | RESIST. COMP. UNIAJ. | | RQD TRAMO | | ORIENTACIÓN | | | ESPACIADO(m) | PERSIST. (m) | ABERTURA (mm) | RUGOS. | RELLENO | | ALTERAC. METEOR. | AGUA | CALIDAD DE INFORMACIÓN | | |
| | ESTE (m.) | NORTE (m.) | COTA (msnm.) | LITOLOGÍA FORMAC. | METEORIZACIÓN N | GRADO FRACT. | GSI | E=Estratificada | D=Diaclasa | F=Normal | Fi=Inversa | Fd=Directa | ND | 17 | DIRECCIÓN | | | 1=>2 | 1=<1 | 1=Nada | 1=Muy Rug. | 1=Arcilloso | 1=Ninguna | 1=Inalterada | 1=Seco | 1=Lec. Real |
| | | | | | 2=Lev. Met. | 2=Mediano | 2=Bloq-Irreg. | Fi=Inversa | 3=Mod | 3=Bajo | 3=Bloq-Capas | F=Normal | F=Normal | F=Normal | | | | L | 2.20 | 2=2-0.6 | 2=1-3 | 2=<0.1 | 2=Rugosa | 2=Qz | 2=Duro<5mm | 2=Lig. Alt. |
| | | | | | 4=Alt. Met. | 4=Fract-Intens | 4=Fract-Intens | mF=Microfalla | 3=Prom. Golpes | A | 7.73 | 3=0.6-0.2 | 3=3-10 | 3=0.1-1 | 3=Lig. Rug. | 3=Calcita | 3=Duro<5mm | 3=Mod. Alt. | 3=Humedo | 3=Lec. Proy. | | | | | | |
| 5=Compl. | Agregar MB,B,M,P,MP | SE=Sombr. | C=Contacto | 3 Golp. | Yp | | 4=0.2-0.06 | 4=10-20 | 4=1-5 | 4=Ondulad.-lisa | 4=Óxidos | 4=Muy Alt. | 4=Goteando | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 5=<0.06 | 5=>20 | 5=>5 | 5=Suave | 5=Roca Tritur. | 5=Suave<5mm | 5=Descomp. | 5=Flujo | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 769904.31 | 9255348.67 | 3039.00 | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 74 | 35 | 164 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 2 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando blocosidades tabulares a cúbicas | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 72 | 30 | 162 | 1 | 3 | 2 | 5 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 3 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 61 | 28 | 151 | 3 | 3 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 4 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 62 | 21 | 152 | 2 | 3 | 2 | 4 | - | - | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 5 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 59 | 32 | 149 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 6 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 43 | 29 | 133 | 2 | 3 | 2 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 7 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 59 | 34 | 149 | 3 | 3 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 8 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 62 | 22 | 152 | 3 | 4 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 9 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 72 | 30 | 162 | 3 | 3 | 4 | 5 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 10 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 56 | 29 | 146 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 11 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 70 | 21 | 160 | 1 | 3 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 12 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 65 | 33 | 155 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 13 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 71 | 24 | 161 | 3 | 3 | 4 | 5 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 14 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 68 | 19 | 158 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 15 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 63 | 26 | 153 | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 16 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 55 | 23 | 145 | 3 | 4 | 4 | 5 | - | - | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 17 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (105 MPa) | 81.86 | 69 | 31 | 159 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 18 | | | | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 40 | 72 | 130 | 3 | 2 | 4 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 19 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando blocosidades tabulares a cúbicas | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 38 | 69 | 128 | 4 | 1 | 2 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 20 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 32 | 58 | 122 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 21 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 29 | 62 | 119 | 4 | 1 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 22 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 36 | 71 | 126 | 3 | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 23 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 25 | 64 | 115 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 24 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 30 | 68 | 120 | 4 | 1 | 4 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 25 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 29 | 55 | 119 | 3 | 2 | 4 | 3 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 26 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 27 | 59 | 117 | 3 | 1 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 27 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 35 | 67 | 125 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 28 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 32 | 68 | 122 | 4 | 1 | 1 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 29 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 24 | 57 | 114 | 3 | 1 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 30 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 29 | 53 | 119 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 31 | | | | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 290 | 40 | 20 | 3 | 3 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 32 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies inalteradas de juntas, formando blocosidades tabulares a cúbicas | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 281 | 39 | 11 | 3 | 2 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 33 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 276 | 45 | 6 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 34 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 289 | 37 | 19 | 3 | 2 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 35 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 274 | 40 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 36 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 295 | 31 | 25 | 4 | 3 | 5 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 37 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 276 | 28 | 6 | 3 | 2 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 38 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 291 | 38 | 21 | 3 | 3 | 5 | 5 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 39 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 300 | 42 | 30 | 4 | 3 | 5 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 40 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 278 | 37 | 8 | 3 | 2 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 41 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 277 | 29 | 7 | 3 | 3 | 5 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 42 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 293 | 41 | 23 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 43 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 284 | 32 | 14 | 3 | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 44 | | | | | 1 | 3 | 2 | Disc-2 | R5 (105 MPa) | 81.86 | 281 | 39 | 11 | 4 | 2 | 5 | 4 | 3 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| | | | | | | | | Talud | | | 70 | 79 | 160 | | | | | | | | | | | | | |

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

Cuadro 5.3. Registro geológico - geomecánico, EG-03.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO | | | | UBICACIÓN | ANÁLISIS GEOMECAÁNICO DEL TAJÓ DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | | | | | | | | | | BENIAWSKY RMR (1989) | | Superficie | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------|--------------|---|--|-----------|-------|-----------------|--------------|----------------------|--------|------------|-----------|-------------|----------------------|-------------|---------------|--------|--------------|---------------|-----------|--------------|--------|------------------|--------------|------------------------|
| E-3 | | | | TRAMÓ | TAJO DE EXPLOTACIÓN MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESPONSABLE | | | | HOJA N° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMA | | | | EJECUTADO POR | FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WGS 84 ZONA 17S | | | | Ihonatan Chuquimango Castrejón | 22/06/2024 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIS. Nro | DATA GPS | | | MACIZO ROCOSO | | | | TIPOS | | RESIST. COMP. UNIAJ. | | RQD TRAMO | | ORIENTACIÓN | | | ESPACIADO (m) | | PERSIST. (m) | ABERTURA (mm) | RUGOS. | RELLENO | | ALTERAC. METEOR. | AGUA | CALIDAD DE INFORMACIÓN |
| | ESTE (m.) | NORTE (m.) | COTA (msnm.) | LITOLOGÍA FORMAC. | METEORIZACIÓN | | GSI | E=Estratificada | | oci | ND | 32 | 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. | D=Diaclasa | | | | | | | | | | | | | | | | Fn=F.Normal | |
| | | | | | 2=Lev. Met. | 2=Mediano | | 2=Bloq-Irreg. | Fi=F.Inversa | | | | | | | | | | | | | | | | Fi=F.Inversa | |
| 3=Mod | 3=Bajo | 3=Bloq-Capas | Fd=F.Directa | Fd=F.Directa | Prom. Golpes | A | 14.55 | 1=>2 | 2=2-0.6 | 2=1-3 | 2=<0.1 | 2=Rugosa | 2=Qz | 2=Duro<5mm | 2=Lig. Alt. | 2=Lig. Húm. | 2=Lec. Apar. | | | | | | | | | |
| 4=Alt. Met. | 4=Fract-Intens | mf=Microfalla | SE=Soobres. | SE=Soobres. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5=Compl. | Agregar MB,B,M,P,MP | C=Contacto | C=Contacto | C=Contacto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 2 Golp. | | Yp | | Z/R DIP DD | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 769923.36 | 9255363.75 | 3038.00 | Ks-Ca | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 53 | 21 | 143 | 3 | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 2 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies alteradas con oxidaciones, formando bocosidades prismáticas. | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 48 | 18 | 138 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 3 | | | | | 3 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 51 | 24 | 141 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 4 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 45 | 16 | 135 | 3 | 3 | 5 | 2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | | | | |
| 5 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 38 | 20 | 128 | 4 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 6 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 50 | 14 | 140 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 7 | | | | | 3 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 47 | 19 | 137 | 4 | 2 | 5 | 2 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 8 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 51 | 21 | 141 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 9 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 35 | 18 | 125 | 4 | 3 | 4 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 10 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 46 | 20 | 136 | 4 | 3 | 5 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 11 | | | | | 3 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 38 | 23 | 128 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 12 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 51 | 19 | 141 | 3 | 3 | 5 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 13 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 49 | 21 | 139 | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 14 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 43 | 17 | 133 | 3 | 2 | 5 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 15 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 51 | 19 | 141 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 16 | | | | | 3 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 48 | 23 | 138 | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 17 | | | | | 2 | 2 | 1 | E | R4 (80 MPa) | 57.32 | 43 | 26 | 133 | 3 | 3 | 5 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 18 | | | | Ks-Ca | 3 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 348 | 86 | 78 | 3 | 1 | 4 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 19 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies alteradas con oxidaciones, formando bocosidades prismáticas. | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 335 | 75 | 65 | 4 | 2 | 5 | 4 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 20 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 342 | 71 | 72 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 21 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 329 | 69 | 59 | 3 | 1 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 22 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 317 | 81 | 47 | 3 | 1 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 23 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 334 | 72 | 64 | 4 | 2 | 4 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 24 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 326 | 80 | 56 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 25 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 341 | 62 | 71 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 1 | | | | |
| 26 | | | | | 3 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 349 | 73 | 79 | 3 | 1 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 27 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 324 | 69 | 54 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 28 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 339 | 61 | 69 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 29 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 343 | 73 | 73 | 3 | 2 | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | | | | |
| 30 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 340 | 72 | 70 | 4 | 1 | 5 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 31 | | | | Ks-Ca | 3 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 319 | 68 | 49 | 3 | 1 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 32 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies alteradas con oxidaciones, formando bocosidades prismáticas. | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 324 | 82 | 54 | 3 | 2 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | | | | |
| 33 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 342 | 64 | 72 | 4 | 1 | 5 | 4 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 34 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-1 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 322 | 76 | 52 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 35 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 260 | 76 | 350 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 5 | 3 | 1 | 1 | | | | |
| 36 | | | | | 3 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 245 | 69 | 335 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 37 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 256 | 71 | 346 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 38 | | | | | 3 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 258 | 58 | 348 | 4 | 1 | 3 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 39 | | | | | 3 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 239 | 74 | 329 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 40 | | | | | 3 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 241 | 67 | 331 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | | | | |
| 41 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 252 | 58 | 342 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| 42 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 246 | 62 | 336 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 43 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 238 | 70 | 328 | 4 | 2 | 4 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 44 | | | | | 2 | 2 | 1 | Disc-2 | R4 (80 MPa) | 57.32 | 249 | 54 | 339 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | | | | |
| | | | | | | | | Talud | | | 20 | 72 | 110 | | | | | | | | | | | | | |

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

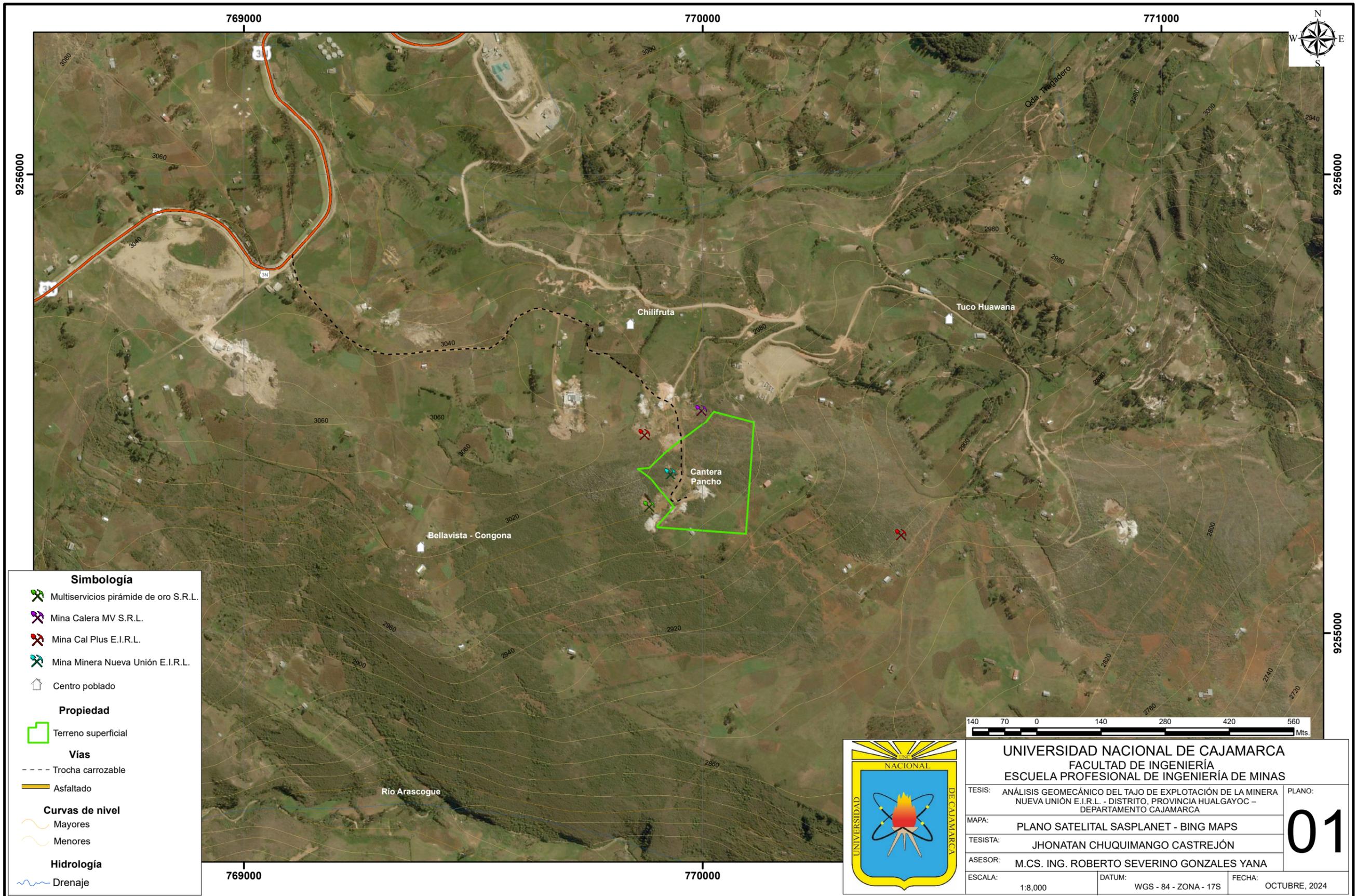
Cuadro 5.4. Registro geológico - geomecánico, EG-04.

| REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO | | | | UBICACIÓN | ANÁLISIS GEOMECAÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | | | | | | | | | | BENIAWSKY RMR (1989) | | Superficie | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|---------------|--------------|--|--|-----------|-----|-----------------|--------------|----------------------|--------|-----------|-----------|-------------|----------------------|-------------|-------------------|---------|----------------|-------------|---------------|--------------|------------|--------------|--------------|--|------------------|--|------|--|------------------------|--|
| E-4 | | | | TRAMO | TAJO DE EXPLOTACIÓN MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jhonatan Chuquimango Castrejón | | | | HOJA N° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WGS 84 | | | | ZONA 17S | Jhonatan Chuquimango Castrejón | | | | | | | | | | FECHA | | 22/06/2024 | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIS. Nro | DATA GPS | | | MACIZO ROCOSO | | | | TIPOS | | RESIST. COMP. UNIAJ. | | RQD TRAMO | | ORIENTACIÓN | | | ESPACIAMIENTO (m) | | PERSIST. (m) | | ABERTURA (mm) | | RUGOS. | | RELLENO | | ALTERAC. METEOR. | | AGUA | | CALIDAD DE INFORMACIÓN | |
| | ESTE (m.) | NORTE (m.) | COTA (msnm.) | LITOLOGÍA FORMAC. | METEORIZACIÓN | | GSI | E=Estratificada | | oci | ND | 16 | 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. | D=Diaclasa | | | | | | | | | | | | | | | | Fn=F.Normal | | | | | | | |
| | | | | | 2=Lev. Met. | 2=Mediano | | 2=Bloq-Irreg. | Fi=F.Inversa | | | | | | | | | | | | | | | | Fd=F.Directa | | | | | | | |
| 3=Mod | 3=Bajo | 3=Bloq-Capas | Fd=F.Directa | 3 Golp. | Yp | Z/R | DIP | DD | 2=2-0.6 | 2=1-3 | 2=<0.1 | 2=Rugosa | 2=Qz | 2=Duro<5mm | 2=Lig. Alt. | 2=Lig. Húm. | 2=Lec. Apar. | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4=Alt. Met. | 4=Fract-Intens | mf=Microfalla | 3=0.6-0.2 | 3=3-10 | | | | | | | | | | | | | | 3=0.1-1 | 3=Lig. Rug. | 3=Calcita | 3=Duro<5mm | 3=Mod. Alt. | 3=Humedo | 3=Lec. Proy. | | | | | | | | |
| 5=Compl. | Agregar MB,B,M,P,MP | SE=Sobrees. | 4=0.2-0.06 | 4=10-20 | | | | | | | | | | | | | | 4=1-5 | 4=Ondulad.-lis | 4=Óxidos | 4=Suave<5mm | 4=Muy Alt. | 4=Goteando | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 769936.06 | 9255386.37 | 3039.00 | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 61 | 23 | 151 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies inalteradas, formando blocosidades tabulares a cúbicas. | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 60 | 19 | 150 | 2 | 3 | 5 | 3 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 63 | 26 | 153 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 65 | 14 | 155 | 3 | 3 | 5 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 67 | 18 | 157 | 3 | 2 | 5 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 70 | 22 | 160 | 2 | 3 | 4 | 3 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 59 | 20 | 149 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 65 | 17 | 155 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 63 | 19 | 153 | 2 | 3 | 5 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 62 | 21 | 152 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 62 | 26 | 152 | 3 | 2 | 4 | 2 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 68 | 18 | 158 | 2 | 3 | 4 | 3 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 71 | 22 | 161 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 65 | 24 | 155 | 2 | 2 | 5 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 60 | 15 | 150 | 2 | 3 | 4 | 3 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 57 | 17 | 147 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | 1 | 3 | 1 | E | R5 (115 MPa) | 84.57 | 52 | 22 | 142 | 2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 310 | 84 | 40 | 3 | 2 | 4 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies inalteradas, formando blocosidades tabulares a cúbicas. | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 329 | 72 | 59 | 2 | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 322 | 75 | 52 | 3 | 3 | 1 | 3 | - | - | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 326 | 67 | 56 | 3 | 2 | 1 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 317 | 80 | 47 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 320 | 78 | 50 | 3 | 3 | 4 | 4 | - | - | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 325 | 64 | 55 | 3 | 2 | 4 | 3 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 329 | 69 | 59 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 330 | 71 | 60 | 2 | 3 | 3 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 310 | 80 | 40 | 3 | 2 | 5 | 4 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 318 | 67 | 48 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 329 | 73 | 59 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 305 | 82 | 35 | 2 | 3 | 1 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | Ks-Ca | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 322 | 67 | 52 | 3 | 2 | 5 | 3 | - | - | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | Calizas gris azuladas de grano fino, con superficies inalteradas, formando blocosidades tabulares a cúbicas. | 1 | 3 | 1 | Disc-1 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 319 | 73 | 49 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 226 | 50 | 316 | 2 | 1 | 5 | 4 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 213 | 48 | 303 | 2 | 2 | 3 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 35 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 234 | 43 | 324 | 3 | 1 | 1 | 4 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 36 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 218 | 52 | 308 | 2 | 2 | 5 | 5 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 37 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 221 | 45 | 311 | 2 | 2 | 1 | 4 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 38 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 210 | 42 | 300 | 3 | 2 | 3 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 39 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 204 | 39 | 294 | 2 | 1 | 4 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 213 | 41 | 303 | 2 | 2 | 2 | 4 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 41 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 219 | 36 | 309 | 2 | 2 | 5 | 5 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 42 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 232 | 52 | 322 | 3 | 1 | 5 | 4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 43 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 217 | 45 | 307 | 2 | 1 | 3 | 4 | - | - | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 44 | | | | | 1 | 3 | 1 | Disc-2 | R5 (115 MPa) | 84.57 | 235 | 55 | 325 | 3 | 2 | 1 | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | Talud | | | 55 | 68 | 145 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

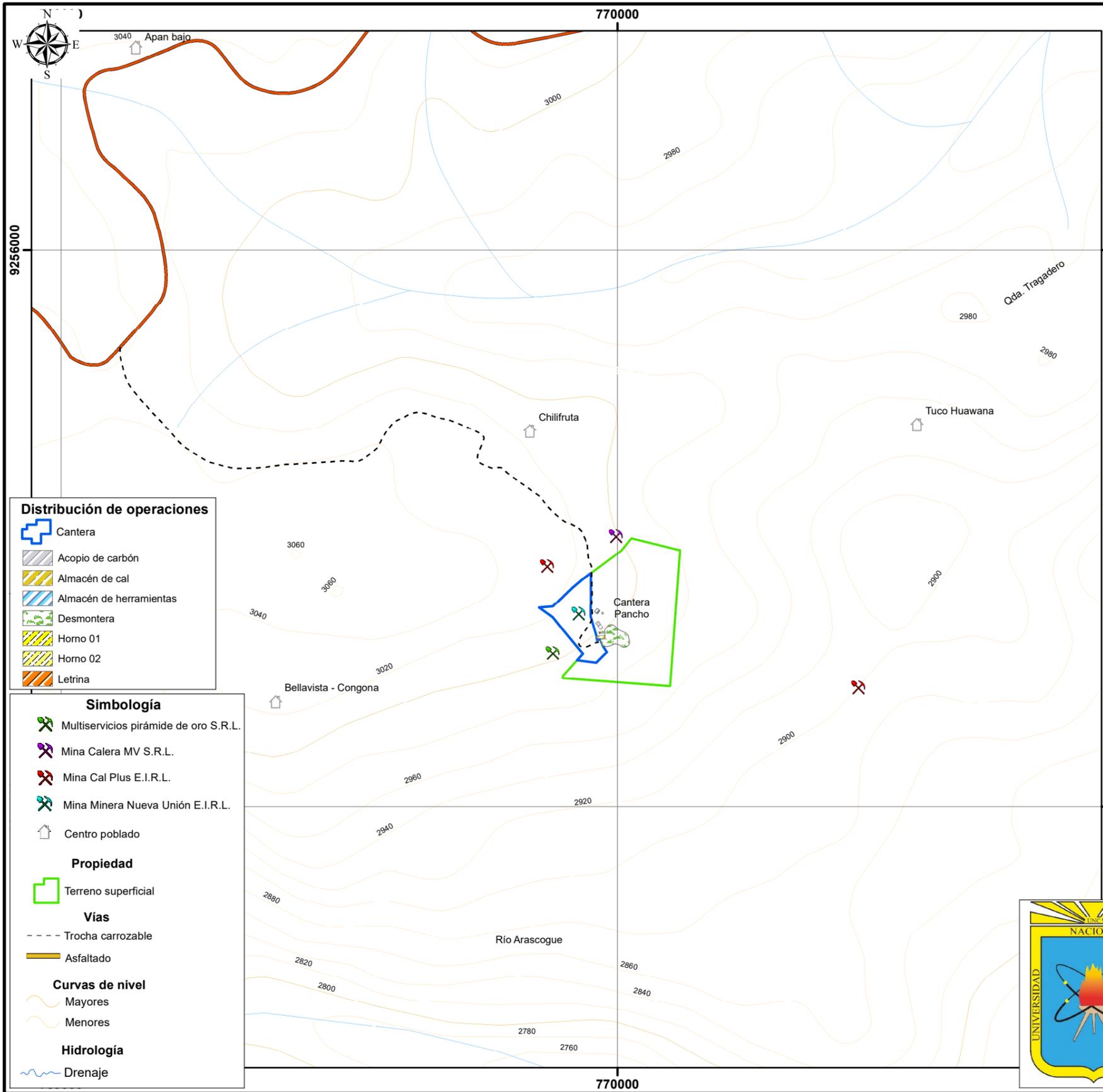
Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

ANEXO C
PLANOS

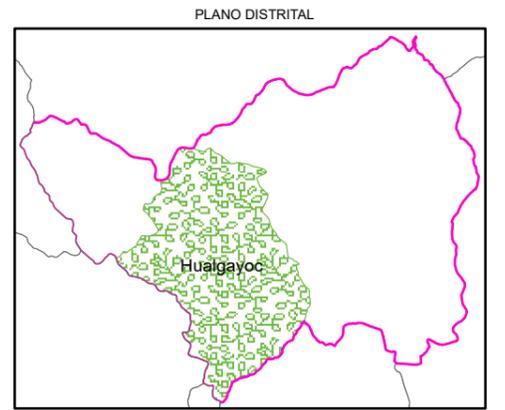
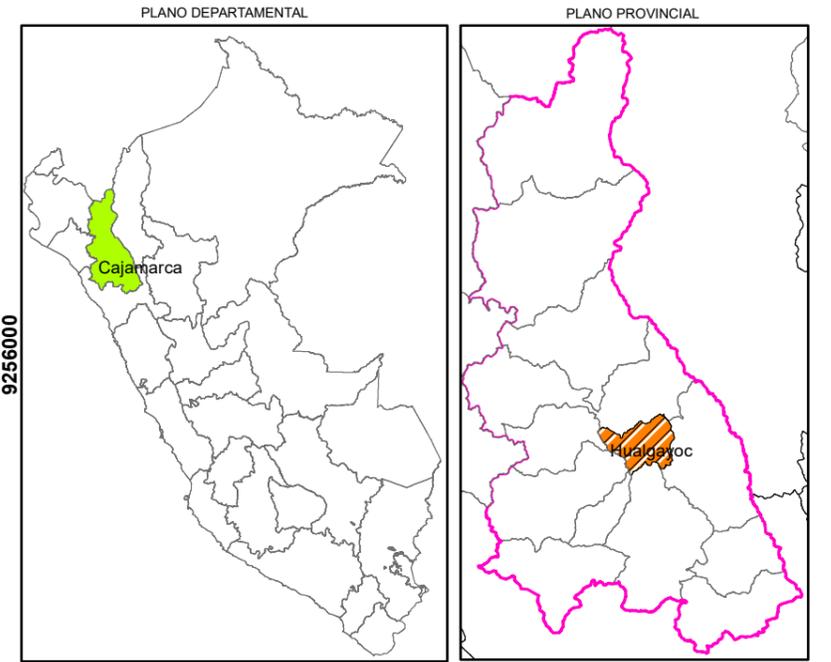


| | | |
|--|------------------------------|--|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | PLANO: | |
| MAPA: PLANO SATELITAL SASPLANET - BING MAPS | 01 | |
| TESISISTA: JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN | | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | |
| ESCALA: 1:8,000 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | |
| | FECHA: OCTUBRE, 2024 | |

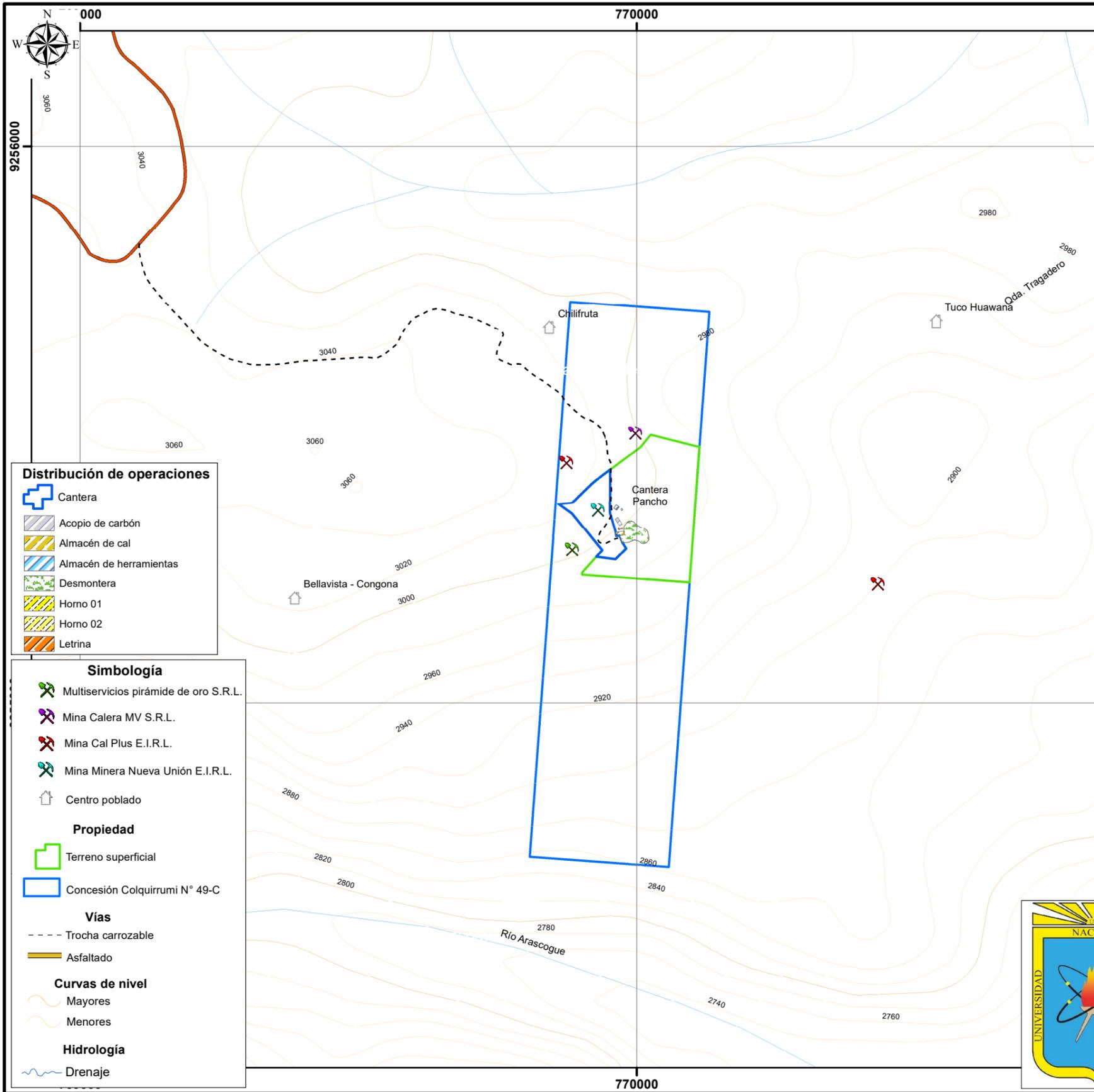


- Distribución de operaciones**
- Cantera
 - Acopio de carbón
 - Almacén de cal
 - Almacén de herramientas
 - Desmontera
 - Horno 01
 - Horno 02
 - Letrina

- Simbología**
- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
 - Mina Calera MV S.R.L.
 - Mina Cal Plus E.I.R.L.
 - Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.
 - Centro poblado
- Propiedad**
- Terreno superficial
- Vías**
- Trocha carrozable
 - Asfaltado
- Curvas de nivel**
- Mayores
 - Menores
- Hidrología**
- Drenaje

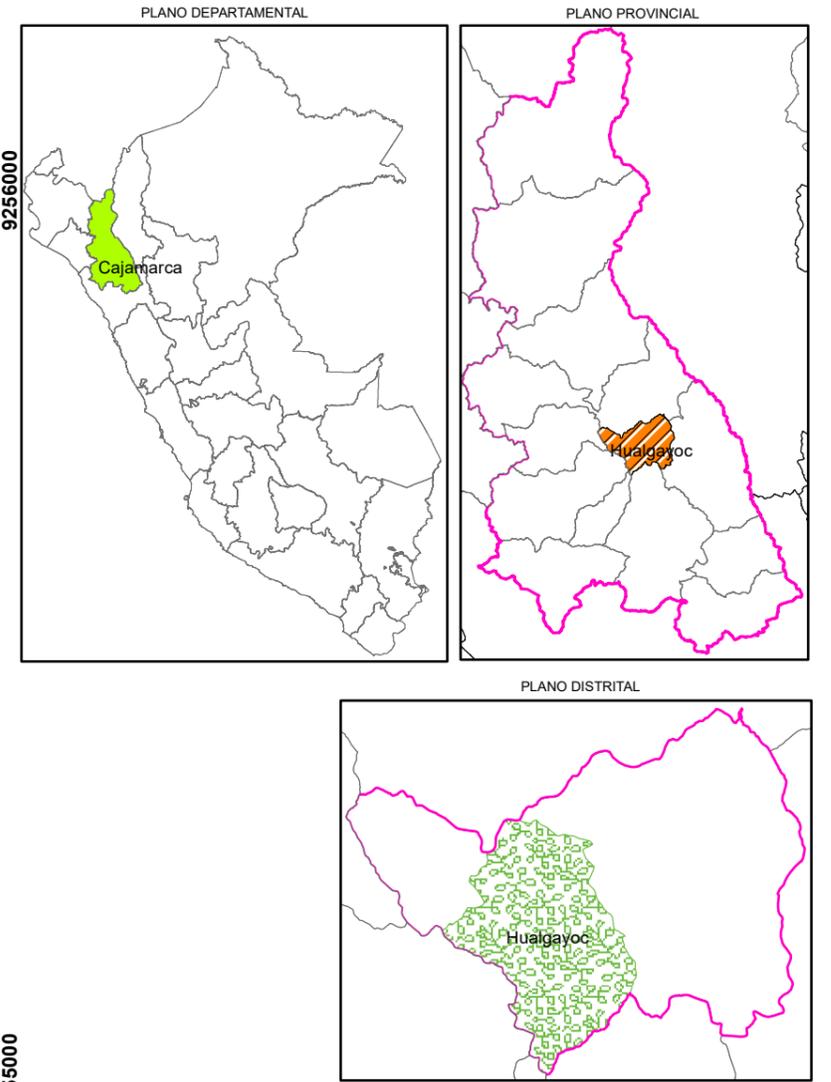


| | | |
|--|------------------------------|----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | PLANO: | 02 |
| MAPA: MDT - MDE - UBICACIÓN | | |
| TESISTA: JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN | | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | |
| ESCALA: 1:8,000 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: OCTUBRE, 2024 |

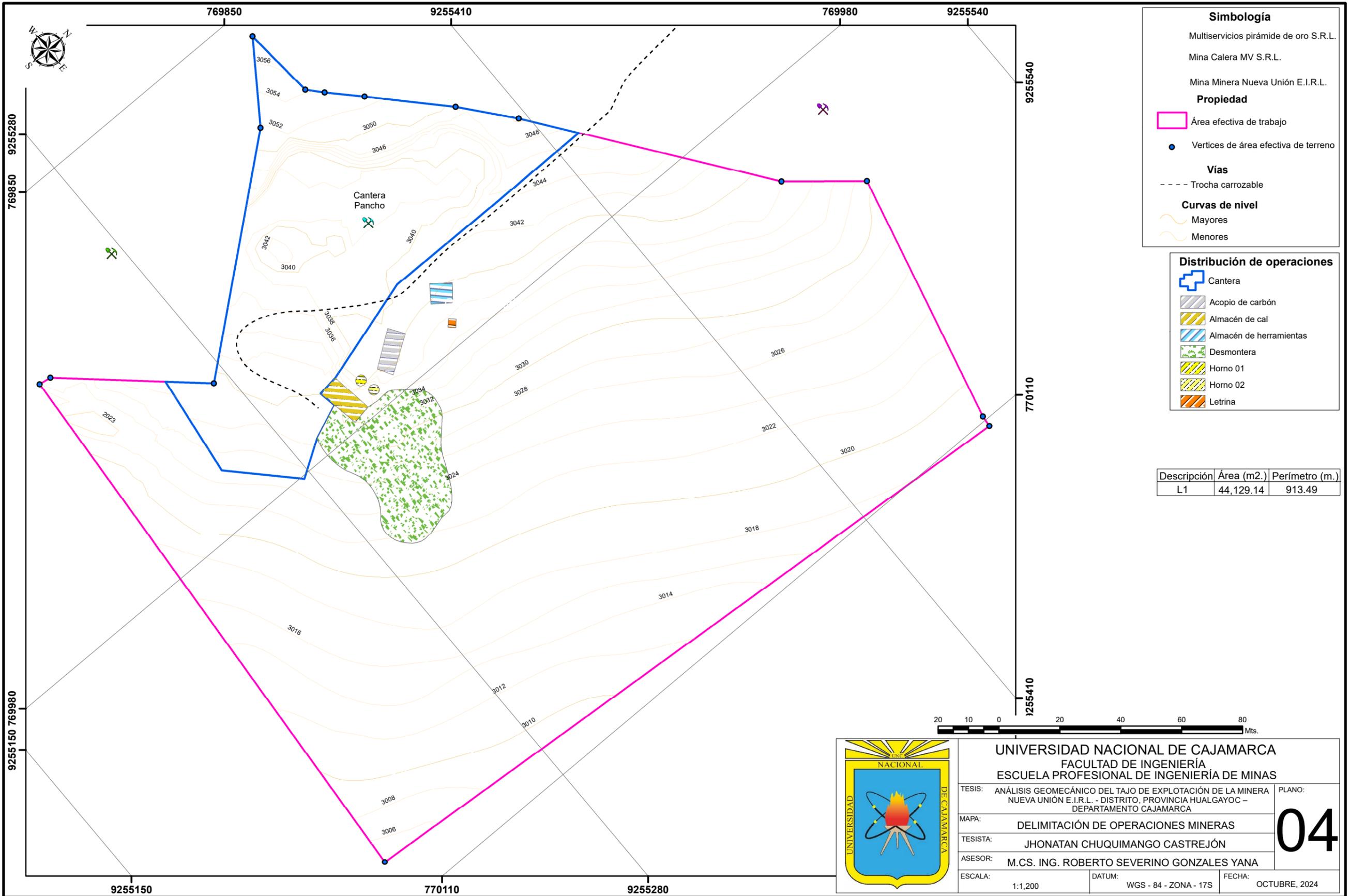


- Distribución de operaciones**
- Cantera
 - Acopio de carbón
 - Almacén de cal
 - Almacén de herramientas
 - Desmontera
 - Horno 01
 - Horno 02
 - Letrina

- Simbología**
- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
 - Mina Calera MV S.R.L.
 - Mina Cal Plus E.I.R.L.
 - Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.
 - Centro poblado
- Propiedad**
- Terreno superficial
 - Concesión Colquirrumi N° 49-C
- Vías**
- Trocha carrozable
 - Asfaltado
- Curvas de nivel**
- Mayores
 - Menores
- Hidrología**
- Drenaje



| | | |
|--|------------------------------|----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | PLANO: | 03 |
| MAPA: SUPERPOSICIÓN TERRENO Y PETITORIO MINERO | | |
| TESISTA: JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN | | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | |
| ESCALA: 1:8,000 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: OCTUBRE, 2024 |



Simbología

- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Mina Calera MV S.R.L.
- Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.

Propiedad

- Área efectiva de trabajo
- Vertices de área efectiva de terreno

Vías

- Trocha carrozable

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Distribución de operaciones

- Cantera
- Acopio de carbón
- Almacén de cal
- Almacén de herramientas
- Desmontera
- Horno 01
- Horno 02
- Letrina

| Descripción | Área (m ²) | Perímetro (m.) |
|-------------|------------------------|----------------|
| L1 | 44,129.14 | 913.49 |



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

TESIS: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

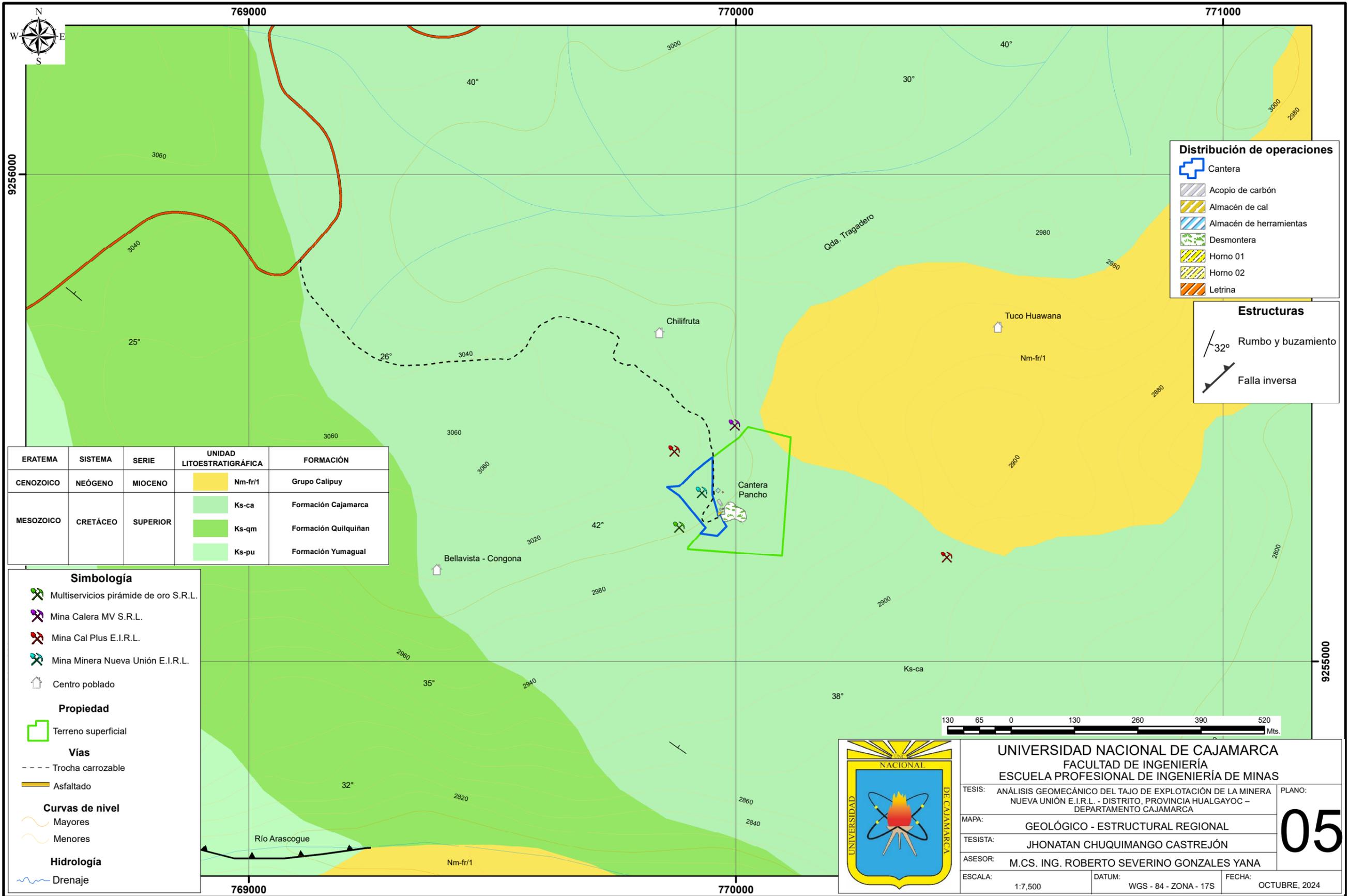
MAPA: DELIMITACIÓN DE OPERACIONES MINERAS

TESISTA: JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN

ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

ESCALA: 1:1,200 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2024

PLANO: **04**



Distribución de operaciones

- Cantera
- Acopio de carbón
- Almacén de cal
- Almacén de herramientas
- Desmontera
- Horno 01
- Horno 02
- Letrina

Estructuras

- 32° Rumbo y buzamiento
- Falla inversa

| 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 Yumagual |

Simbología

- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Mina Calera MV S.R.L.
- Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.
- Centro poblado

Propiedad

- Terreno superficial

Vías

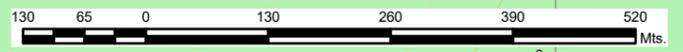
- Trocha carrozable
- Asfaltado

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Hidrología

- Drenaje



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

TESIS: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

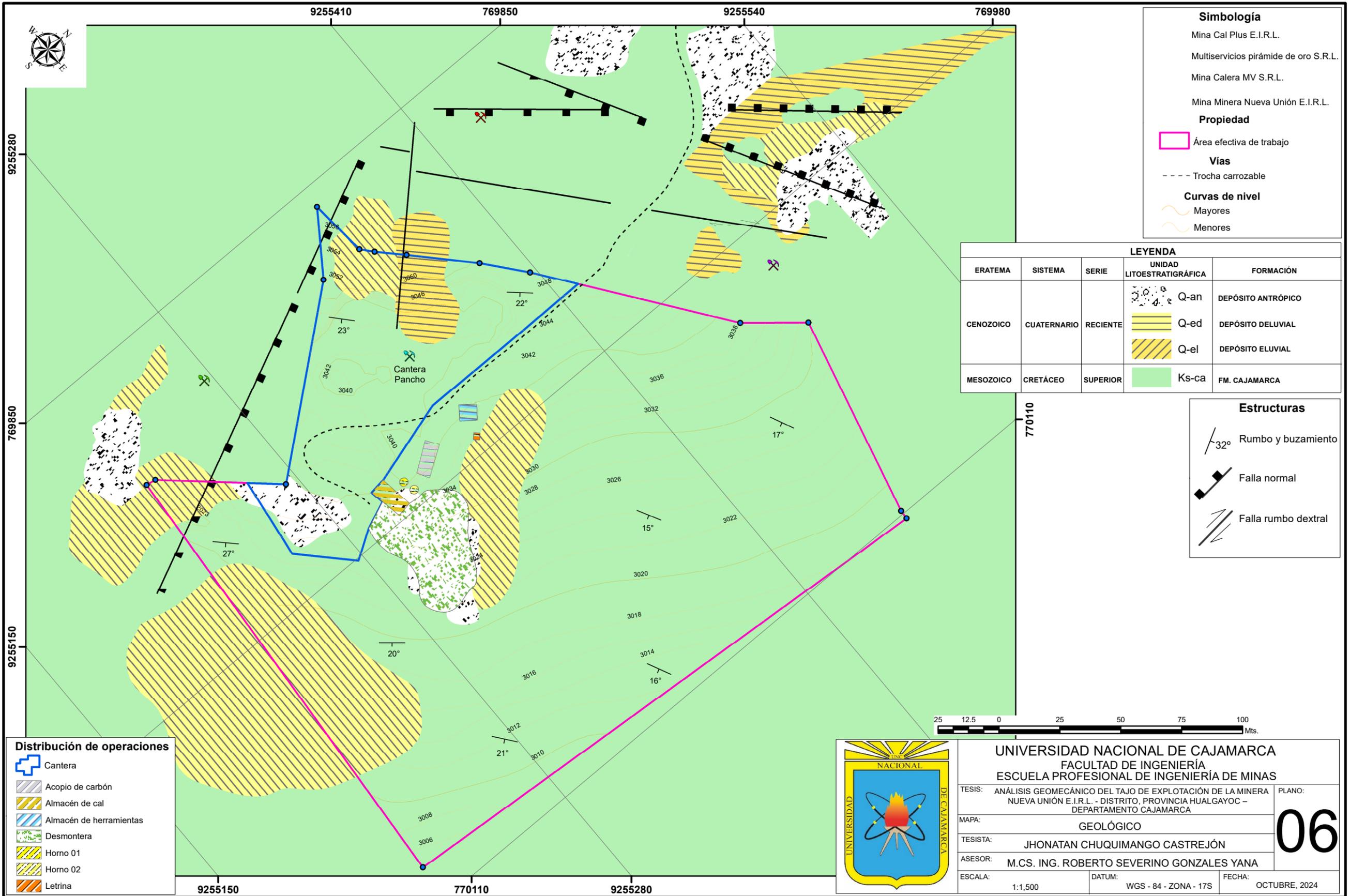
MAPA: **GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL REGIONAL**

TESISTA: **JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN**

ASESOR: **M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA**

ESCALA: 1:7,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2024

PLANO: **05**



Simbología

Mina Cal Plus E.I.R.L.
 Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
 Mina Calera MV S.R.L.
 Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.

Propiedad

Área efectiva de trabajo

Vías

Trocha carrozable

Curvas de nivel

Mayores
 Menores

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

Estructuras

32° Rumbo y buzamiento
 Falla normal
 Falla rumbo dextral

Distribución de operaciones

Cantera
 Acopio de carbón
 Almacén de cal
 Almacén de herramientas
 Desmontera
 Horno 01
 Horno 02
 Letrina



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

TESISTA: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

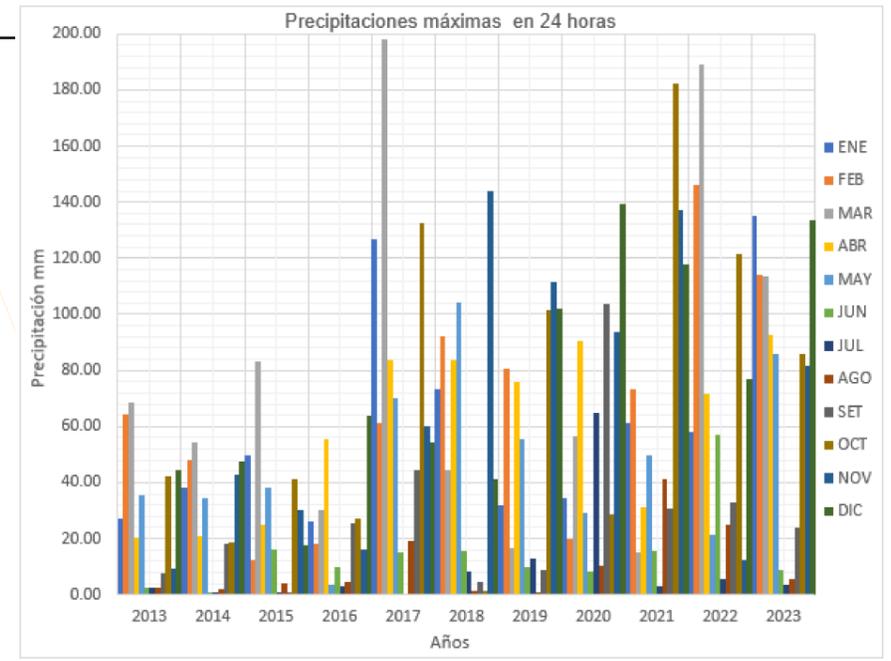
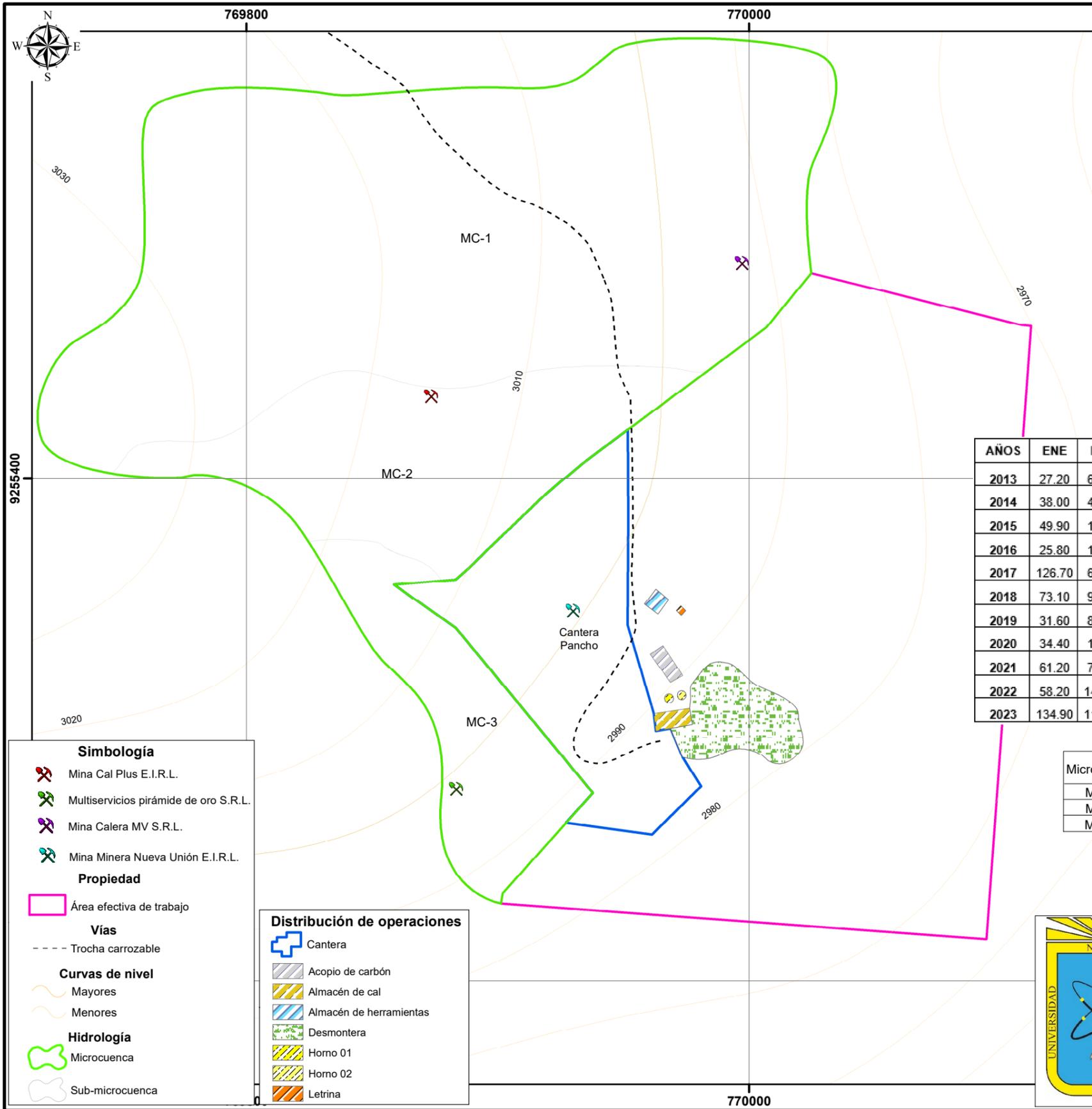
MAPA: **GEOLÓGICO**

TESISTA: **JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN**

ASESOR: **M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA**

ESCALA: 1:1,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2024

PLANO: **06**



| 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 |
| 2023 | 134.90 | 114.20 | 113.60 | 92.80 | 85.75 | 8.90 | 3.70 | 5.40 | 24.20 | 86.05 | 81.60 | 133.60 | 134.90 |

- Simbología**
- Mina Cal Plus E.I.R.L.
 - Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
 - Mina Calera MV S.R.L.
 - Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.
- Propiedad**
- Área efectiva de trabajo
- Vías**
- Trocha carrozable
- Curvas de nivel**
- Mayores
 - Menores
- Hidrología**
- Microcuenca
 - Sub-microcuenca

- Distribución de operaciones**
- Cantera
 - Acopio de carbón
 - Almacén de cal
 - Almacén de herramientas
 - Desmontera
 - Horno 01
 - Horno 02
 - Letrina

Parámetros hidrológicos de la microcuenca de la Minera Nueva Unión E.I.R.L.

| Microcuenca | Área (m ² .) | Longitud del cauce principal (m.) | Cota mayor (msnm.) | Cota menor (msnm.) | Pendiente (m/m) | Tc (min.) |
|-------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------|
| MC-1 | 34,575.64 | 295.42 | 3,037 | 2,984 | 18 | 9.66 |
| MC-2 | 9,698.96 | 115.90 | 3,034 | 3,007 | 23 | 5.10 |
| MC-3 | 5,626.35 | 144.62 | 3,021 | 2,988 | 23 | 5.96 |

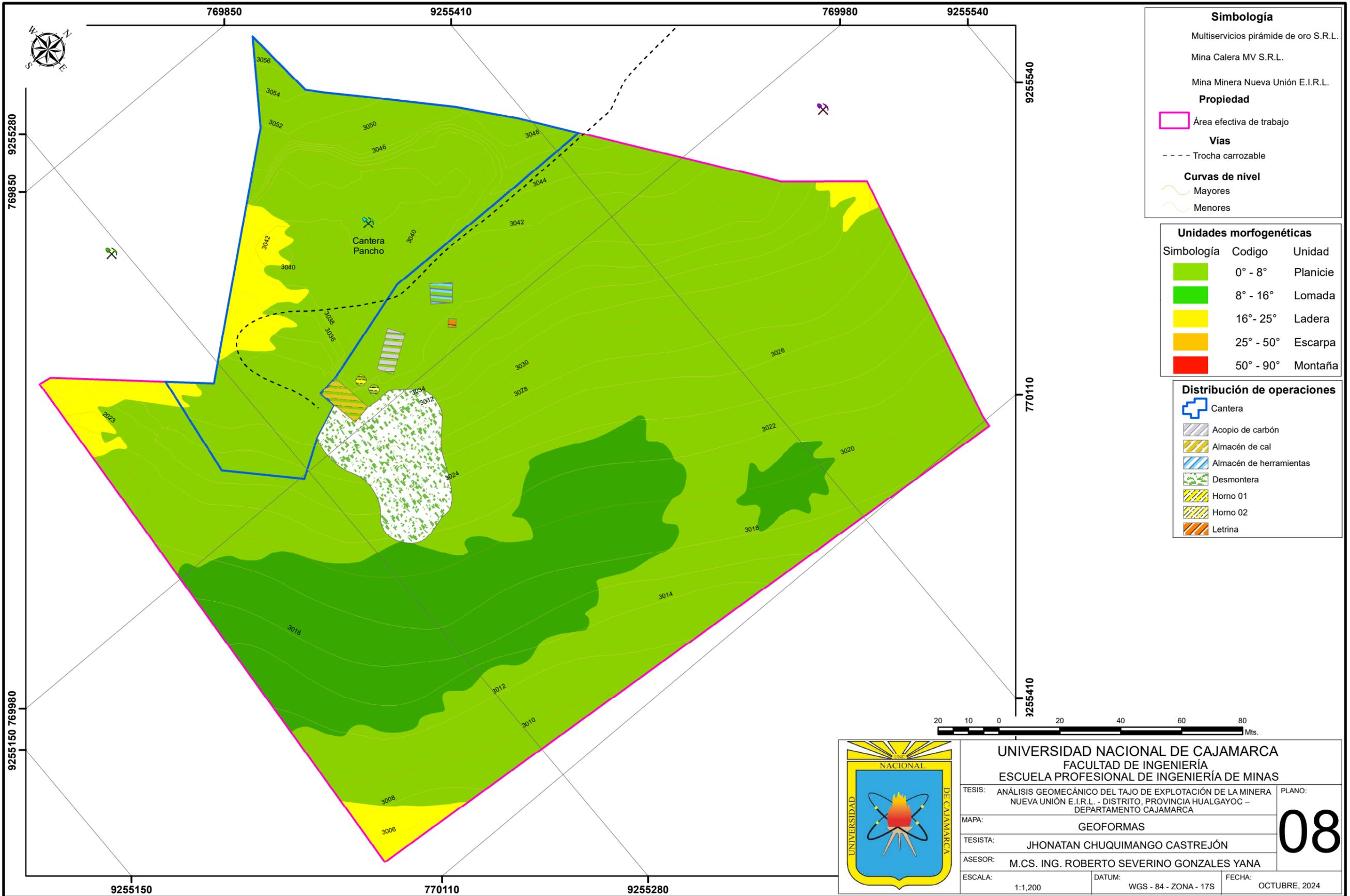


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESISTA: JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN
 ASESOR: M.C.S. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

MAPA: CUENCAS HIDROLÓGICAS
 ESCALA: 1:1,570
 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S
 FECHA: OCTUBRE, 2024

PLANO: **07**



Simbología

- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Mina Calera MV S.R.L.
- Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.

Propiedad

- Área efectiva de trabajo

Vías

- Trocha carrozable

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Unidades morfo-genéticas

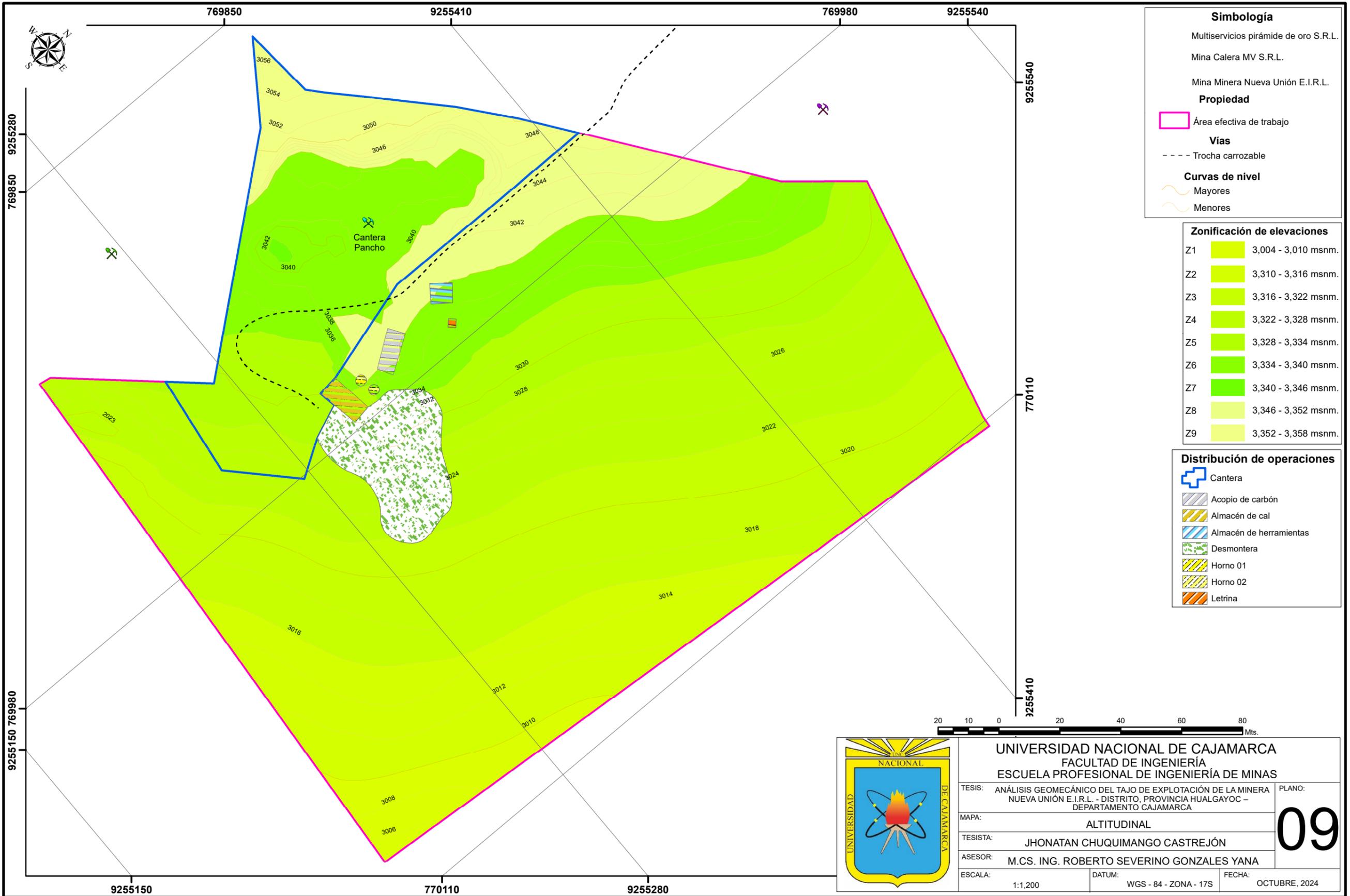
| Simbología | Codigo | Unidad |
|--------------|-----------|----------|
| Light Green | 0° - 8° | Planicie |
| Medium Green | 8° - 16° | Lomada |
| Yellow | 16° - 25° | Ladera |
| Orange | 25° - 50° | Escarpa |
| Red | 50° - 90° | Montaña |

Distribución de operaciones

| | |
|---|-------------------------|
| Blue outline | Cantera |
| Diagonal lines (top-left to bottom-right) | Acopio de carbón |
| Diagonal lines (bottom-left to top-right) | Almacén de cal |
| Blue diagonal lines | Almacén de herramientas |
| Green stippled pattern | Desmontera |
| Yellow diagonal lines | Horno 01 |
| Orange diagonal lines | Horno 02 |
| Red diagonal lines | Letrina |



| | | |
|--|------------------------------|----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | 08 |
| FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | | PLANO: |
| MAPA: GEOFORMAS | | |
| TESISTA: JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN | | |
| ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | |
| ESCALA: 1:1,200 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: OCTUBRE, 2024 |



Simbología

- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Mina Calera MV S.R.L.
- Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.

Propiedad

- Área efectiva de trabajo

Vías

- Trocha carrozable

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Zonificación de elevaciones

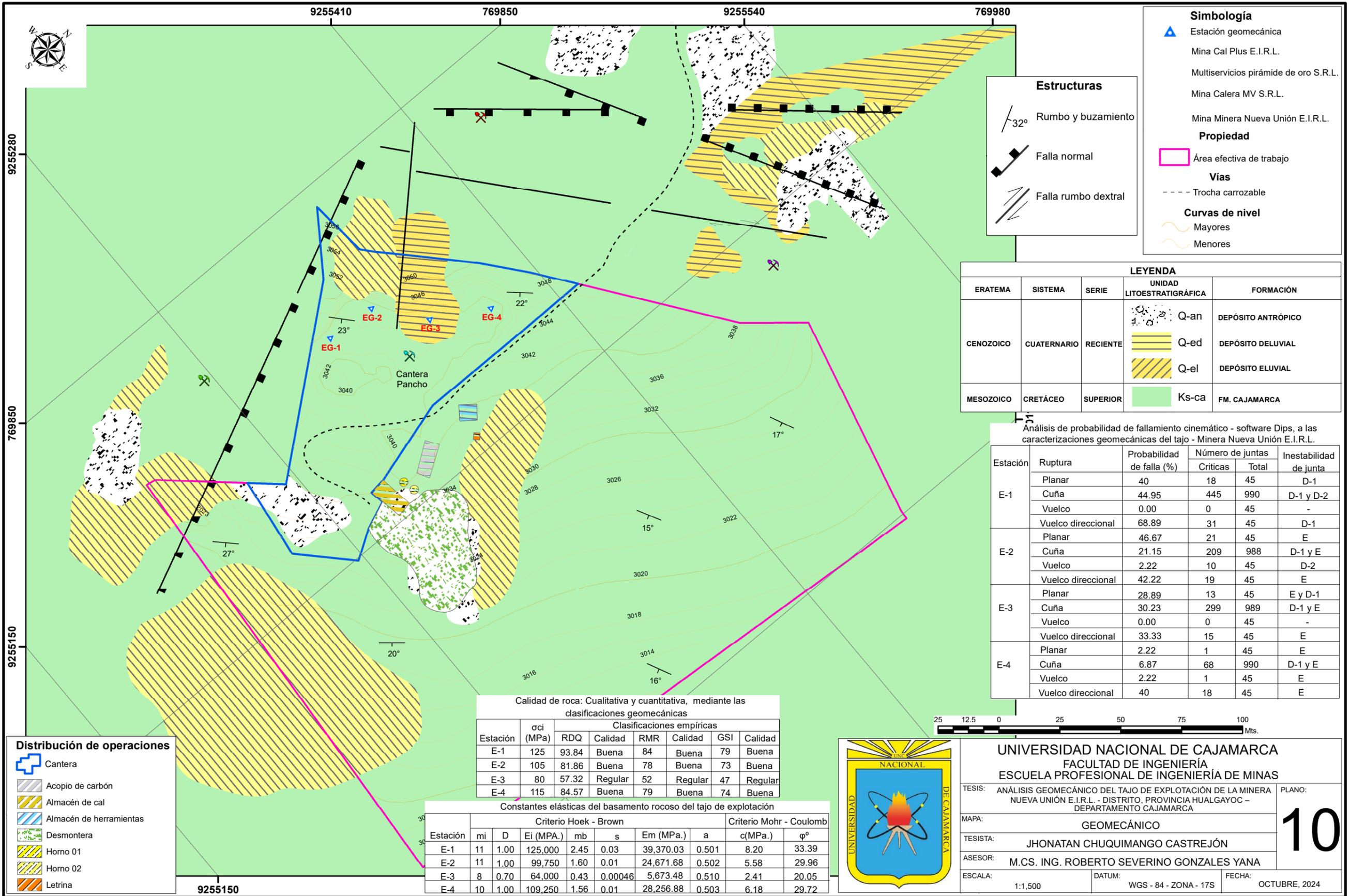
| | |
|----|---------------------|
| Z1 | 3,004 - 3,010 msnm. |
| Z2 | 3,310 - 3,316 msnm. |
| Z3 | 3,316 - 3,322 msnm. |
| Z4 | 3,322 - 3,328 msnm. |
| Z5 | 3,328 - 3,334 msnm. |
| Z6 | 3,334 - 3,340 msnm. |
| Z7 | 3,340 - 3,346 msnm. |
| Z8 | 3,346 - 3,352 msnm. |
| Z9 | 3,352 - 3,358 msnm. |

Distribución de operaciones

- Cantera
- Acopio de carbón
- Almacén de cal
- Almacén de herramientas
- Desmontera
- Horno 01
- Horno 02
- Letrina



| | | |
|--|---|-----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| TESIS: | ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA | PLANO: |
| MAPA: | ALTITUDINAL | 09 |
| TESISTA: | JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN | |
| ASESOR: | M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | |
| ESCALA: | 1:1,200 | DATUM: |
| | | WGS - 84 - ZONA - 17S |
| | | FECHA: |
| | | OCTUBRE, 2024 |



Simbología

- Estación geomecánica
- Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Mina Calera MV S.R.L.
- Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.

Propiedad

- Área efectiva de trabajo

Vías

- Trocha carrozable

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Estructuras

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

LEYENDA

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

Análisis de probabilidad de fallamiento cinemático - software Dips, a las caracterizaciones geomecánicas del tajo - Minera Nueva Unión E.I.R.L.

| Estación | Ruptura | Probabilidad de falla (%) | Número de juntas | | Inestabilidad de junta |
|----------|--------------------|---------------------------|------------------|-------|------------------------|
| | | | Criticas | Total | |
| E-1 | Planar | 40 | 18 | 45 | D-1 |
| | Cuña | 44.95 | 445 | 990 | D-1 y D-2 |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Vuelco direccional | 68.89 | 31 | 45 | D-1 |
| E-2 | Planar | 46.67 | 21 | 45 | E |
| | Cuña | 21.15 | 209 | 988 | D-1 y E |
| | Vuelco | 2.22 | 10 | 45 | D-2 |
| | Vuelco direccional | 42.22 | 19 | 45 | E |
| E-3 | Planar | 28.89 | 13 | 45 | E y D-1 |
| | Cuña | 30.23 | 299 | 989 | D-1 y E |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Vuelco direccional | 33.33 | 15 | 45 | E |
| E-4 | Planar | 2.22 | 1 | 45 | E |
| | Cuña | 6.87 | 68 | 990 | D-1 y E |
| | Vuelco | 2.22 | 1 | 45 | E |
| | Vuelco direccional | 40 | 18 | 45 | E |

Distribución de operaciones

- Cantera
- Acopio de carbón
- Almacén de cal
- Almacén de herramientas
- Desmontera
- Horno 01
- Horno 02
- Letrina

Calidad de roca: Cualitativa y cuantitativa, mediante las clasificaciones geomecánicas

| Estación | σ _{ci} (MPa) | Clasificaciones empíricas | | | | | |
|----------|-----------------------|---------------------------|---------|-----|---------|-----|---------|
| | | RDQ | Calidad | RMR | Calidad | GSI | Calidad |
| E-1 | 125 | 93.84 | Buena | 84 | Buena | 79 | Buena |
| E-2 | 105 | 81.86 | Buena | 78 | Buena | 73 | Buena |
| E-3 | 80 | 57.32 | Regular | 52 | Regular | 47 | Regular |
| E-4 | 115 | 84.57 | Buena | 79 | Buena | 74 | Buena |

Constantes elásticas del basamento rocoso del tajo de explotación

| Estación | Criterio Hoek - Brown | | | | | | Criterio Mohr - Coulomb | | |
|----------|-----------------------|------|-----------|------|---------|-----------|-------------------------|----------|-------|
| | mi | D | Ei (MPa.) | mb | s | Em (MPa.) | a | c (MPa.) | φ° |
| E-1 | 11 | 1.00 | 125,000 | 2.45 | 0.03 | 39,370.03 | 0.501 | 8.20 | 33.39 |
| E-2 | 11 | 1.00 | 99,750 | 1.60 | 0.01 | 24,671.68 | 0.502 | 5.58 | 29.96 |
| E-3 | 8 | 0.70 | 64,000 | 0.43 | 0.00046 | 5,673.48 | 0.510 | 2.41 | 20.05 |
| E-4 | 10 | 1.00 | 109,250 | 1.56 | 0.01 | 28,256.88 | 0.503 | 6.18 | 29.72 |



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

TESISTA: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

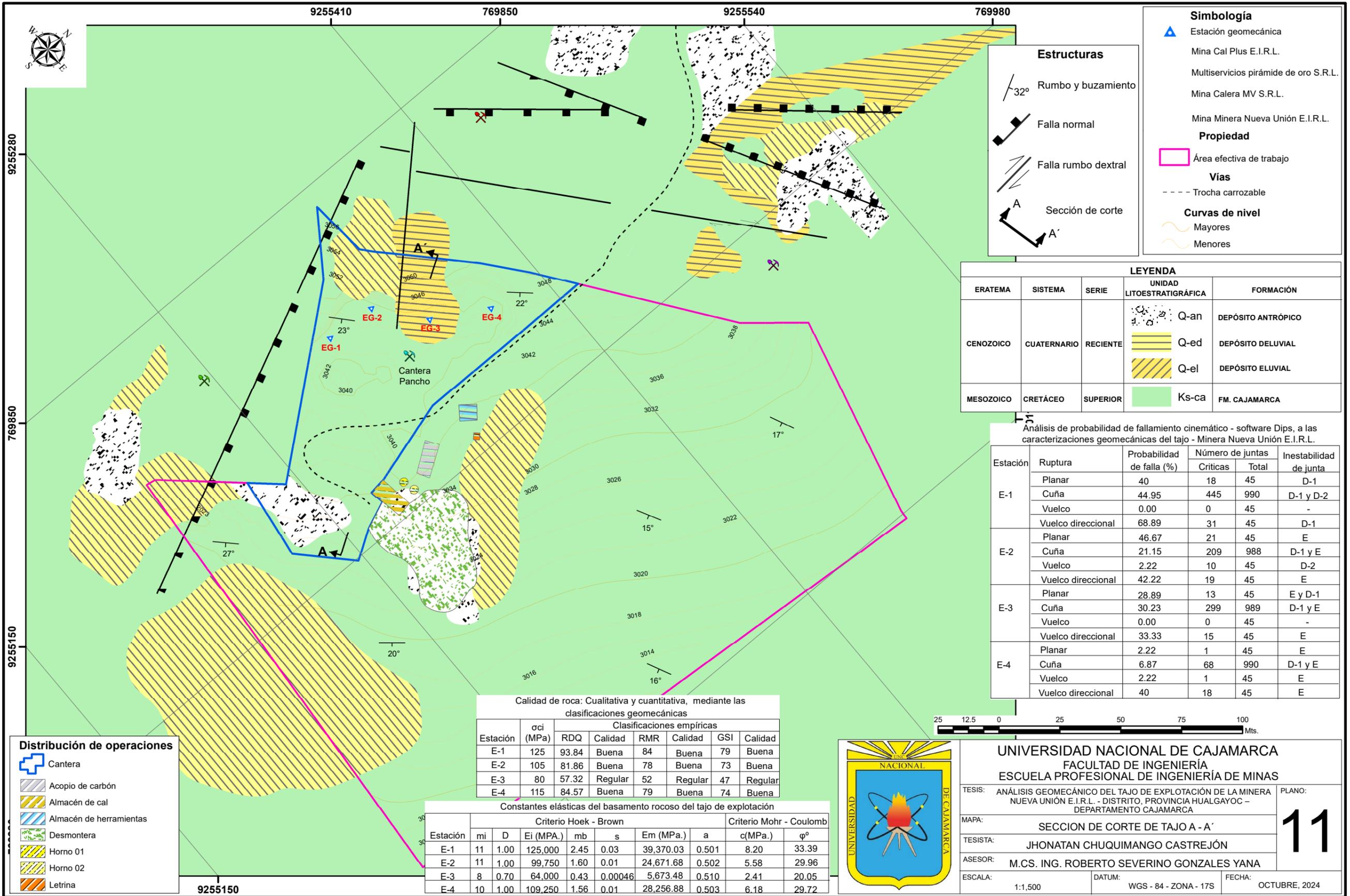
MAPA: **GEOMECÁNICO**

TESISTA: **JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN**

ASESOR: **M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA**

ESCALA: 1:1,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2024

PLANO: 10



Simbología

- Estación geomecánica
- Mina Cal Plus E.I.R.L.
- Multiservicios pirámide de oro S.R.L.
- Mina Calera MV S.R.L.
- Mina Minera Nueva Unión E.I.R.L.

Propiedad

- Área efectiva de trabajo

Vías

- Trocha carrozable

Curvas de nivel

- Mayores
- Menores

Estructuras

- Rumbo y buzamiento
- Falla normal
- Falla rumbo dextral
- Sección de corte

LEYENDA

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

Análisis de probabilidad de fallamiento cinemático - software Dips, a las caracterizaciones geomecánicas del tajo - Minera Nueva Unión E.I.R.L.

| Estación | Ruptura | Probabilidad de falla (%) | Número de juntas | | Inestabilidad de junta |
|----------|--------------------|---------------------------|------------------|-------|------------------------|
| | | | Criticas | Total | |
| E-1 | Planar | 40 | 18 | 45 | D-1 |
| | Cuña | 44.95 | 445 | 990 | D-1 y D-2 |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Vuelco direccional | 68.89 | 31 | 45 | D-1 |
| E-2 | Planar | 46.67 | 21 | 45 | E |
| | Cuña | 21.15 | 209 | 988 | D-1 y E |
| | Vuelco | 2.22 | 10 | 45 | D-2 |
| | Vuelco direccional | 42.22 | 19 | 45 | E |
| E-3 | Planar | 28.89 | 13 | 45 | E y D-1 |
| | Cuña | 30.23 | 299 | 989 | D-1 y E |
| | Vuelco | 0.00 | 0 | 45 | - |
| | Vuelco direccional | 33.33 | 15 | 45 | E |
| E-4 | Planar | 2.22 | 1 | 45 | E |
| | Cuña | 6.87 | 68 | 990 | D-1 y E |
| | Vuelco | 2.22 | 1 | 45 | E |
| | Vuelco direccional | 40 | 18 | 45 | E |

Distribución de operaciones

- Cantera
- Acopio de carbón
- Almacén de cal
- Almacén de herramientas
- Desmontera
- Horno 01
- Horno 02
- Letrina

Calidad de roca: Cualitativa y cuantitativa, mediante las clasificaciones geomecánicas

| Estación | σ _{ci} (MPa) | Clasificaciones empíricas | | | | | |
|----------|-----------------------|---------------------------|---------|-----|---------|-----|---------|
| | | RDQ | Calidad | RMR | Calidad | GSI | Calidad |
| E-1 | 125 | 93.84 | Buena | 84 | Buena | 79 | Buena |
| E-2 | 105 | 81.86 | Buena | 78 | Buena | 73 | Buena |
| E-3 | 80 | 57.32 | Regular | 52 | Regular | 47 | Regular |
| E-4 | 115 | 84.57 | Buena | 79 | Buena | 74 | Buena |

Constantes elásticas del basamento rocoso del tajo de explotación

| Estación | Criterio Hoek - Brown | | | | | | Criterio Mohr - Coulomb | | |
|----------|-----------------------|------|-----------|------|---------|-----------|-------------------------|----------|-------|
| | mi | D | Ei (MPa.) | mb | s | Em (MPa.) | a | c (MPa.) | φ° |
| E-1 | 11 | 1.00 | 125,000 | 2.45 | 0.03 | 39,370.03 | 0.501 | 8.20 | 33.39 |
| E-2 | 11 | 1.00 | 99,750 | 1.60 | 0.01 | 24,671.68 | 0.502 | 5.58 | 29.96 |
| E-3 | 8 | 0.70 | 64,000 | 0.43 | 0.00046 | 5,673.48 | 0.510 | 2.41 | 20.05 |
| E-4 | 10 | 1.00 | 109,250 | 1.56 | 0.01 | 28,256.88 | 0.503 | 6.18 | 29.72 |



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

TESIS: ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO CAJAMARCA

MAPA: SECCION DE CORTE DE TAJO A - A'

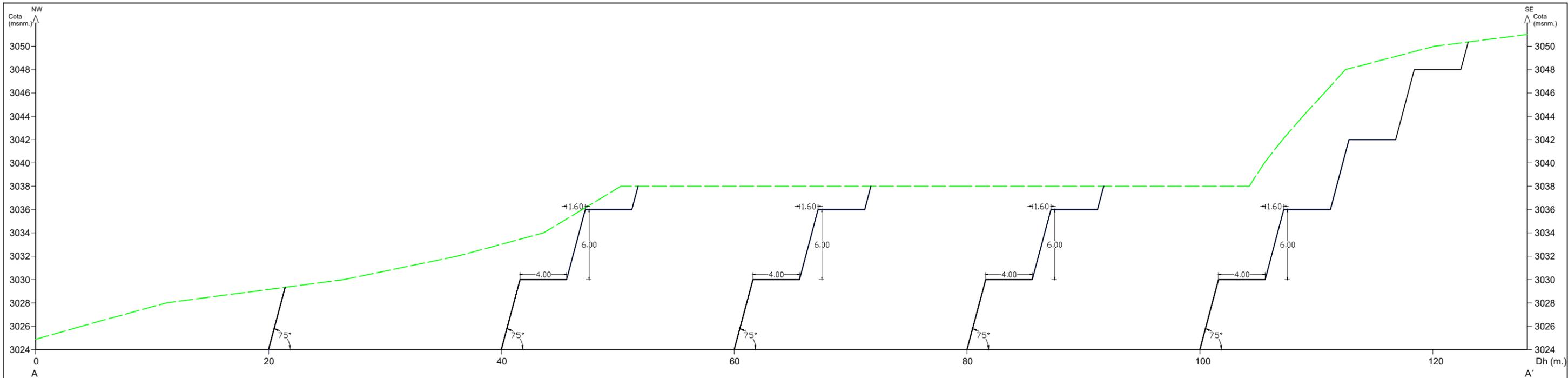
TESISTA: JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN

ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA

ESCALA: 1:1,500 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: OCTUBRE, 2024

PLANO: **11**

ANEXO D
DISEÑO GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN



Sección de corte A - A'
 Topografía original
 Sección de proyectada del tajo de explotación

| | | | |
|--|--|-------------------------|--|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS | | |
| | ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TAJO DE EXPLOTACIÓN DE LA MINERA NUEVA UNIÓN E.I.R.L. - DISTRITO, PROVINCIA HUALGAYOC - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA | | |
| TESIS: DISEÑO GEOMECÁNICO DE EXPLOTACIÓN DEL TAJO | PLAN: S-01 | | |
| TESISISTA: JHONATAN CHUQUIMANGO CASTREJÓN | | | |
| ASESOR: MCS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA | | | |
| ESCALA: Ev = 1/350 Eh = 1/1500 | DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S | FECHA: OCTUBRE, 2024 | |