

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL
TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA,
PROVINCIA HUALGAYOC**

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

Autor

Bach. Limay Malca Milton Berlit

Asesor

M.Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Cajamarca - Perú

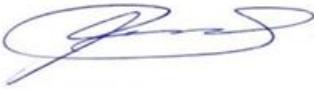
2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** LIMAY MALCA MILTON BERLIT
DNI: 71985328
Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
- Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC
Fecha de evaluación: 05/06/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 10%
- Código Documento:** Oide:3117:464844442
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 05/06/2025

		Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 05/06/2025 20:47:22-0500
<hr/> FIRMA DEL ASESOR Roberto Severino Gonzales Yana	<hr/> UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI	



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC.*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0480-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 12 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintidós días del mes de agosto de 2025**, siendo las ocho horas (08:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

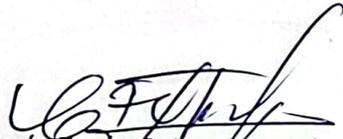
- Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
- Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
- Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC*, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas *MILTON BERLIT LIMAY MALCA*, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 4 PTS.
 EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
 EVALUACIÓN FINAL : 15 PTS. QUINCO (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de QUINCO acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 9:00 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


 Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
 Presidente


 Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
 Vocal


 M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
 Secretario


 M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
 Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme: Capacidad, conocimiento y sabiduría; en cada momento de mi vida, también por: Guiarme y protegerme hacia el éxito profesional. También tengo emotivas palabras para la Universidad Nacional de Cajamarca, por pertenecer a la ciudadela universitaria llena aprendizaje y estudio para egresar como profesional universitario. Así mismo a los docentes de Ingeniería de Minas y Geología, por su dedicación y paciencia, para mejorar cada día. Por consiguiente, también a mi: Papá, mamá y hermanos; por apoyarme constantemente en mi formación como: Hijo y persona; y Finalmente al M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana por ser parte del asesoramiento para mejorar la tesis relacionada con la investigación científica a la geomecánica.

MBLM

DEDICATORIA

Dedico estas palabras a mis padres: José y Faustina, hermanos: Wilson y Vanessa; por siempre guiarme e inculcarme respeto; a ser mejor cada vez; así mismo por apoyarme constantemente para lograr los objetivos trazados. Gracias a uds. por siempre estar a mi lado.

MBLM

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	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.....	3
2.1.1 INTERNACIONALES.....	3
2.1.2 NACIONALES.....	4
2.1.3 LOCALES.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS.....	7
2.2.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO.....	7
2.2.2 RUPTURAS EN TALUDES ROCOSOS.....	13
2.2.3 MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS CAÍDAS DE ROCAS.....	17
2.2.4 ESTABILIDAD DE TALUDES.....	18
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	21

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	23
3.2 ACCESIBILIDAD.....	23
3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.3.1 TIPO, NIVEL Y DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.3.2 POBLACIÓN.....	27
3.3.3 MUESTRA.....	27
3.3.4 UNIDAD DE ANÁLISIS.....	27

	Pág.
3.3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	27
3.3.6 MATERIALES, EQUIPOS Y SOPORTE COMPUTACIONAL.....	29
3.4 GEOLOGÍA LOCAL	31
3.4.1 FORMACIÓN CAJAMARCA	31
3.4.2 FORMACIÓN CELENDÍN.....	32
3.4.3 DEPÓSITO ANTRÓPICO	32
3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	33
3.6 MORFOGÉNESIS	36
3.7 SISMICIDAD	38
3.8 GEOMECANICA DE TAJO	39
3.8.1 ESTACIÓN GEOMECANICA 01	42
3.8.2 ESTACIÓN GEOMECANICA 02	47
3.8.3 ESTACIÓN GEOMECANICA 03	52
3.8.4 ESTACIÓN GEOMECANICA 04	57
3.9 ESTABILIZACIÓN DEL TAJO.....	62

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	70

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1 CONCLUSIONES.....	71
5.2 RECOMENDACIONES	72

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
---------------------------------	----

ANEXOS.....	77
-------------	----

ANEXO A: AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA	78
---	----

ANEXO B: CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO	80
--	----

ANEXO C: PLANOS.....	85
----------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de posicionamiento global.
UNC	:	Universidad Nacional de Cajamarca.
M.Cs.	:	Maestro en Ciencias.
Ing.	:	Ingeniero.
E.I.R.L.	:	Empresa individual de responsabilidad limitada.
S.R.L.	:	Sociedad comercial de responsabilidad limitada.
S.A.C.	:	Sociedad anónima cerrada.
Ingemmet	:	Instituto geológico minero y metalúrgico del Perú.
Osinergmin	:	Organismo supervisor de la inversión en energía y minería.
Senamhi	:	Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú.
RHRS	:	Sistema de estimación del peligro de caídas de rocas.
TRB	:	Transportation Research Board.
S.S.H.H.	:	Servicios higiénicos.
ACI	:	American Concrete Institute
AIME	:	Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador
TAM	:	Tamaulipas.
MDT	:	Modelo digital del terreno.
MDE	:	Modelo digital de elevaciones.
MDP	:	Modelo digital de pendientes.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
TIN	:	Redes irregulares de triángulos.
M-C	:	Morh-Coulomb.
H-B	:	Hoek-Brown.
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.
m_i	:	Constante de Hoek & Brown.
m_b	:	Constante de Hoek & Brown.
s, a	:	Constantes de Hoek & Brown.
c	:	Cohesión.
ϕ	:	Ángulo de fricción.
ν	:	Módulo de poisson.
E_i	:	Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.
E_m	:	Módulo de deformación.

D	:	Factor de disturbancia.
RQD	:	Índice de calidad de roca.
RMR	:	Valoración de la masa rocosa.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
SRM	:	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.
Ψ_T	:	Buzamiento del talud
H	:	Altura de talud
Vb	:	Volumen de bloque
Jc	:	Factor de estado de diaclasa.
AVR	:	Riesgo medio vehicular.
SD	:	Porcentaje de reacción.
DSD	:	Distancia de reacción.
RMV	:	Riesgo medio por vehículo.
SD	:	Porcentaje de visibilidad.
ADT	:	Trafico promedio diario.
L	:	Longitud de área de caída de rocas.
S	:	Limite de velocidad establecida.
DA	:	Distancia de visibilidad.
LC	:	Ancho de calzada.
Db	:	Tamaño de bloque.
h	:	Condición climática.
f	:	Frecuencia de caída bloques.
TNT	:	Trinitrotolueno.
Z2	:	Zona sísmica
g	:	Gravedad
Sh	:	Sísmica horizontal
Sv	:	Sísmica vertical.
S1,..	:	Perfil de roca.
S	:	Factor de suelo.
TP	:	Periodo que define la plataforma del factor C.
TL	:	Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.
E.30	:	Norma técnica peruana.
EG-1,..	:	Estación geomecánica.
J1,..	:	Junta o diaclasa.
I,II....	:	Clase o tipo de roca.

R2, R3..	:	Grado de estimación de roca.
λ	:	Landa.
L	:	Longitud.
ND	:	Número de discontinuidades.
α_T	:	Ángulo de talud.
α_{TFINAL}	:	Ángulo global de talud
b	:	Ancho de berma.
h_b	:	Ancho de banco.
V:H	:	Sección de corte de talud.
W%	:	Contenido de humedad.
δ	:	Peso específico.
Pe	:	Peso específico.
n	:	Porosidad.
e	:	Índice de poros.
S	:	Grado de saturación.
@	:	Cada.
L/A	:	Relación largo y ancho.
D-1	:	Número de junta.
E	:	Estrato.
T1,...	:	Talud.
14-f	:	Cuadrángulo geológico.
Az.	:	Azimut.
Bz.	:	Buzamiento.
Esc.	:	Escala.
D	:	Dip.
DD	:	Dip direction.
FS	:	Factor de Seguridad.
T.T	:	Tensiones totales.
T.E	:	Tensiones efectivas.
T.E + S	:	Tensiones efectivas + sismicidad.
Fm.	:	Formación geológica.
Dep.	:	Depósito.
Peb	:	Neis.
Ki-gp	:	Formación Pariahuanca.
Pág.	:	Página
N°	:	Número
MPa	:	Mega pascales.
N	:	Newton.
GPa	:	Giga pascales
h.	:	Hora
min.	:	Minuto
Kg.	:	Kilogramos.
Nx	:	Falla normal
Ix	:	Falla inversa
KN/m ³	:	Peso específico.
Km.	:	Kilómetro.
m.	:	Metro.

cm.	:	Centímetro.
mm.	:	Milímetro.
Ha.	:	Hectárea.
m ² .	:	Metros cuadrados.
m ³ .	:	Metros cúbicos.
cm ² .	:	Centímetros cuadrados.
Km ² .	:	Kilómetros cuadros.
V(m/s)	:	Velocidad.
s	:	Segundo.
%	:	Porcentaje.
°	:	Grado.
±	:	Mas o menos.
>	:	Mayor.
<	:	Menor.
E-1,...	:	Estación geomecánica.
msnm.	:	Metros sobre el nivel del mar.
N	:	Norte.
S	:	Sur.
E	:	Este.
W	:	Oeste.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Relación entre RDQ y frecuencia lineal (Villaescusa, 1992). Fuente: Osinergmin (2017).	8
Tabla 2.2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski. RMR ₈₉ . Fuente: González (2002).	9
Tabla 2.3. Corrección por orientación de discontinuidades. Fuente: González (2002).	10
Tabla 2.4. Calidad del macizo rocoso en relación con el Índice RMR. Fuente: González (2002).	10
Tabla 2.5. Índice geológico de resistencia (GSI). Fuente: Hoek (2002).	13
Tabla 3.1. Acceso a la zona de estudio.	25
Tabla 3.2. Aceleración sísmica de las estaciones geomecánicas - empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L.	39
Tabla 4.1. Estimación cuantitativa y cualitativa el macizo rocoso – criterios empíricos.	65
Tabla 4.2. Parámetros de las constantes elásticas por el modelo numérico Rocdata, del Tajo de la Calera Bendición de Dios E.I.R.L.	65
Tabla 4.3. Reporte cinemático por probabilidad de ruptura en rocas - software Dips, obteniendo el porcentaje de inestabilidad del tajo.	66
Tabla 4.4. Factor de seguridad por medios discontinuos, aplicando la cinemática en el tajo de explotación.	67
Tabla 4.5. Sistema de puntuación de caídas de rocas (RHRS) - Tajo Calera Bendición de Dios E.I.R.L.	67
Tabla 5.1. Registro geomecánico EG-01	83
Tabla 5.2. Registro geomecánico EG-02	84
Tabla 5.3. Registro geomecánico EG-03	85
Tabla 5.4. Registro geomecánico EG-04	86

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1.	Valores para la resistencia a la compresión uniaxial. Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).	10
Figura 2.2.	Valores para el RQD. Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).	11
Figura 2.3.	Valores para el espaciado. Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).	11
Figura 2.4.	Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. Fuente: Osinergmin (2017).	12
Figura 2.5.	Principales tipos de rupturas de bloques en taludes y condiciones geológicas estructurales que causar estas rupturas: A. Ruptura planar en roca que presenta juntas persistentes en el mismo sentido del frente del talud, y que se orienta paralelamente a la cara libre; y B. Ruptura por cuña formada por dos discontinuidades que se interceptan. Fuente: Wyllie y Mah (2004).	14
Figura 2.6.	C. Ruptura por vuelco originado por roca de buena calidad que contiene discontinuidades de buzamiento vertical en el mismo sentido de la cara libre del talud; y D. Ruptura circular se origina en roca muy débil o muy fracturada con discontinuidades orientadas al azar Fuente: Wyllie y Mah (2004).	16
Figura 2.7.	Estimación de la clasificación detallada del RHRS (Traducido de Pierson et al., 1990). Fuente: Oyanguren y Alejano (2004).	17
Figura 2.8.	Categorías de medidas de estabilización de taludes rocosos. Fuente: Wyllie y Mah (2004).	19
Figura 2.9.	Métodos de refuerzo de talud rocosos (TRB, 1996). Fuente: Wyllie y Mah (2004).	20
Figura 3.1.	A. Ruta de acceso a la zona de estudio. B. Ubicación de las labores de la Calera Bendición de Dios E.I.R.L. Fuente: Google Maps (2024).	24
Figura 3.2.	Vista panorámica del tajo de la de la Calera Bendición de Dios E.I.R.L.	25
Figura 3.3.	Afloramiento de caliza de la Formación Cajamarca, con buzamiento de estratos a favor del talud del tajo de explotación, siendo predominante las caídas de rocas por su alto buzamiento y pendiente de talud.	32

	Pág.
Figura 3.4.	Depósitos Antrópicos distribuidos acumulados en la parte baja del tajo de explotación. 33
Figura 3.5.	A. Espejo de falla normal dextral de movimiento cinemático en la secuencia estratigráfica calcárea de orientación (Az/Bz) = N30°/38°SE, con superficie de recristalización de calcita, alineándose con el movimiento cinemático. B. Visualización cinemática del plano de falla, con estrías, escalones y slickensides. 34
Figura 3.6.	A. Espejo de falla normal sinistral, con orientación Az/Bz = N154°/63°SE, en roca caliza. B. Datum de cinemático del plano de falla, cortando transversalmente a afloramiento rocoso calcáreo 35
Figura 3.7.	Vista de perfil o transversal del cerro con pendientes: 15° a 32°, conformando por el afloramiento de roca caliza en estado natural. Por consiguiente, por la extracción de caliza el tajo presenta buzamiento de 71°. 37
Figura 3.8.	Visualización del área de beneficio emplazada en una lomada de ampliación, por recuperación de acumulación de desmontes en la parte posterior de las instalaciones, observándose: playa de estacionamiento y oficinas. 38
Figura 3.9.	Afloramiento rocoso de la EG-01, constituido y delimitado por tres discontinuidades a favor del talud formando fallamientos: Planares y cuñas, inestables. 40
Figura 3.10.	Afloramiento rocoso de la EG-02, delimitado por tres discontinuidades a favor del talud formando fallamientos: Planares y cuñas, de inestabilidad por alto grado de buzamiento y estar a favor de la cara libre del tajo. 40
Figura 3.11.	Afloramiento rocoso calcáreo de la EG-03, Delimitado por tres discontinuidades a favor del talud formando fallamientos: Planares y cuñas, ocasionando constantes caídas de rocas, ocasionando incertidumbre a los trabajadores por la inestabilidad. 41
Figura 3.12.	Afloramiento rocoso de la EG-04, delimitado por tres discontinuidades a favor del talud formando fallamientos: Planares y cuñas, ocasionando inestabilidad por alto grado de buzamiento y estar a favor de la cara libre del tajo. 41
Figura 3.13.	Método equivalencia de áreas – RocData, en función de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); Calera Bendición de Dios E.I.R.L., EG-01. 42
Figura 3.14.	Probabilidad de fallamiento planar siendo el 43

	Pág.
	42.22% a favor del talud en función del estrato, generando 19 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-01.
Figura 3.15.	44
	Probabilidad de fallamiento por cuña de 28.41% por intersección de juntas: E vs. D-1, generando 284 rupturas críticas del total de 989 intersecciones. EG-01.
Figura 3.16.	45
	Probabilidad de fallamiento por vuelco siendo el 11.11% a favor del talud en función de la junta D-2, generando 5 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-01.
Figura 3.17.	46
	A. Block diagrama en 3D proyectando al estrato generando inestabilidad en el talud por ruptura planar; y B. Block diagrama del macizo rocoso en 3D mostrando la ruptura en cuña, mediante la intersección de juntas: E vs. D-1; en condiciones $FS_{Saturadas} + sismicidad = 0.82$. EG-01.
Figura 3.18.	46
	Gráfica de dimensionamiento en 2D del estrato por ruptura planar, en condiciones $FS_{Saturadas} + sismicidad = 0.69$. EG-01.
Figura 3.19.	47
	Método equivalencia de áreas – RocData, en función de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); Calera Bendición de Dios E.I.R.L., EG-02.
Figura 3.20.	48
	Probabilidad de fallamiento planar siendo el 33.33% a favor del talud en función del estrato, generando 15 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-02.
Figura 3.21.	49
	Probabilidad de fallamiento por cuña de 44.87% por intersección de juntas: E vs. D-1, generando 464 rupturas críticas del total de 990 intersecciones. EG-02.
Figura 3.22.	50
	Probabilidad de fallamiento por vuelco siendo el 0.00% no generando ruptura, generando 0 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-02.
Figura 3.23.	51
	A. Block diagrama en 3D proyectando al estrato generando inestabilidad en el talud por ruptura planar, y B. Block diagrama del macizo rocoso en 3D mostrando la ruptura en cuña, mediante la intersección de juntas: E vs. D-1; en condiciones $FS_{Saturadas} + sismicidad = 0.941$. EG-02.
Figura 3.24.	51
	Gráfica de dimensionamiento en 2D del estrato por ruptura planar, en condiciones $FS_{Saturadas} + sismicidad = 0.818$. EG-02.
Figura 3.25.	52
	Método equivalencia de áreas – RocData, en función de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C);

	Pág.	
Figura 3.26.	Calera Bendición de Dios E.I.R.L., EG-03. Probabilidad de fallamiento planar siendo el 46.34% a favor del talud en función del estrato, generando 19 rupturas críticas del total de 41 polos. EG-03.	53
Figura 3.27.	Probabilidad de fallamiento por cuña de 32.84% por intersección de juntas: E vs. D-2 y D-1 vs. D-2, generando 269 rupturas críticas del total de 819 intersecciones. EG-03.	54
Figura 3.28.	Probabilidad de fallamiento por vuelco siendo el 0.00% no generando ruptura, generando 0 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-03.	55
Figura 3.29.	A. Block diagrama en 3D proyectando al estrato generando inestabilidad en el talud por ruptura planar, y B. Block diagrama del macizo rocoso en 3D mostrando la ruptura en cuña, mediante la intersección de juntas: E vs. D-2; en condiciones $FS_{\text{Saturadas}} + \text{sismicidad} = 0.7152$. EG-03.	56
Figura 3.30.	Gráfica de dimensionamiento en 2D del estrato por ruptura planar, en condiciones $FS_{\text{Saturadas}} + \text{sismicidad} = 0.9781$. EG-03.	56
Figura 3.31.	Método equivalencia de áreas – RocData, en función de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); Calera Bendición de Dios E.I.R.L., EG-04.	57
Figura 3.32.	Probabilidad de fallamiento planar de 31.71% a favor del talud en función del estrato, generando 18 rupturas críticas del total de 41 polos. EG-04.	58
Figura 3.33.	Probabilidad de fallamiento por cuña de 29.63% por intersección de juntas: E vs. D-1 y D-1 vs. D-2, generando 243 rupturas críticas del total de 820 intersecciones. EG-04.	59
Figura 3.34.	Probabilidad de fallamiento por vuelco siendo el 0.00% no generando ruptura, generando 0 rupturas críticas del total de 41 polos. EG-04.	60
Figura 3.35.	A. Block diagrama en 3D proyectando al estrato generando inestabilidad en el talud por ruptura planar, y B. Block diagrama del macizo rocoso en 3D mostrando la ruptura en cuña, mediante la intersección de juntas: E vs. D-1; en condiciones $FS_{\text{Saturadas}} + \text{sismicidad} = 0.7801$. EG-04.	61
Figura 3.36.	Gráfica de dimensionamiento en 2D del estrato por ruptura planar, en condiciones $FS_{\text{Saturadas}} + \text{sismicidad} = 0.9034$. EG-04.	61

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A : Autorización de la empresa.	78
Anexo B : Cartografiado geomecánico.	80
Anexo C : Planos temáticos.	85

RESUMEN

La extracción de roca caliza se desarrolla en el Tajo Calera Bendición de Dios E.I.R.L., ubicada en el Centro Poblado La Lucma. El cartografiado geológico-geomecánico presenta calizas mudstone – micritas de la Formación Cajamarca de orientación (Az/Bz) N40°/38°SE, con blocosidades de forma: Tabular y cúbica, estimando resistencia 3 golpes/R5 de buena calidad, RQD: 83.47% a 88.74%, RMR: 75 a 81, GSI: 72 a 76 y σ_{ci} : 172 MPa a 205 MPa, con constantes elásticas: a : 0.501 a 0.504, m_i : 9 a 10; D : 1.00, m_b : 1.06 a 1.80, s : 0.01 a 0.02, $c = 7.87$ MPa a 11.83 MPa., $\phi = 26.61^\circ$ a 30.85° ; con tracción (-1.10 MPa a -2.08 MPa), compresión uniaxial (14.02 MPa a 27.65 MPa) y compresión triaxial (25.50 MPa a 41.69 MPa). Cinemáticamente el 47% PF predominan rupturas Planares: 31.71% a 46.34 - E (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y cuña: 28.41% a 44.87% - E vs. D-1 (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y D-1 vs. D-2 (EG-03 y EG-04), presentando alto riesgo de inestabilidad. Constituyendo $FS < 1.50$ en tensiones: Totales (1.571 a 1.258), efectivas (1.485 a 0.983) y efectivas + sismicidad (0.903 a 0.690), susceptible a caídas de rocas. La estabilidad será por banquetas 30.00 m. y sección de corte 10:1; presentando una berma 5.50 m., complementada la segunda banqueta con anclajes sistemáticos tresbolillo de 8 pies de longitud de diámetro de 25 mm., distribuidos 44 anclajes, en la superficie @ 10.00 m. de L/A, constituyendo 11 anclajes a lo largo y 4 anclajes a lo ancho.

Palabra clave: Tajo, inestabilidad, caída de rocas, discontinuidades, factor de seguridad.

ABSTRACT

Limestone extraction is carried out at Tajo Calera Bendición de Dios E.I.R.L., located in the La Lucma Population Center. The geological-geomechanical mapping presents mudstone limestone – micrites from the Cajamarca Formation with orientation (Az/Bz) N40°/38°SE, with blocks of shape: Tabular and cubic, estimating resistance 3 blows/R5 of good quality, RQD: 83.47 % to 88.74%, RMR: 75 to 81, GSI: 72 to 76 and σ_{ci} : 172 MPa to 205 MPa, with elastic constants: ν : 0.501 to 0.504, μ : 9 to 10; D: 1.00, m_b : 1.06 to 1.80, s : 0.01 to 0.02, $c = 7.87$ MPa to 11.83 MPa., $\phi = 26.61^\circ$ to 30.85° ; with tension (-1.10 MPa to -2.08 MPa), uniaxial compression (14.02 MPa to 27.65 MPa) and triaxial compression (25.50 MPa to 41.69 MPa). Kinematically, 47% PF predominate Planar ruptures: 31.71% to 46.34 - E (EG-01, EG-02, EG-03 and EG-04) and wedge: 28.41% to 44.87% - E vs. D-1 (EG-01, EG-02, EG-03 and EG-04) and D-1 vs. D-2 (EG-03 and EG-04), presenting a high risk of instability. Constituting FS<1.50 in stresses: Total (1.571 to 1.258), effective (1.485 to 0.983) and effective + seismicity (0.903 to 0.690), susceptible to rock falls. The stability will be 30.00 m sidewalks. and cutting section 10:1; presenting a 5.50 m berm, complemented by the second bench with systematic staggered anchors 8 feet long with a diameter of 25 mm, distributed 44 anchors, on the surface @ 10.00 m. L/A, constituting 11 anchors lengthwise and 4 anchors widthwise.

Keywords: Pit, instability, rock falls, discontinuities, safety factor.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tajo de la empresa Bendición de Dios E.I.R.L., se ubica al NW de la ciudad de Bambamarca, en el Centro Poblado La Lucma, región de Cajamarca. Por consiguiente, las operaciones mineras se encuentran en la concesión Los Chancas II, conformada por unidades geomorfológicas como: Lomas, laderas y escarpas; en consecuencia, por la sobre extracción iniciada en la parte baja del cerro se ha formado un talud empinado de 78° a 85° y altura de 50 m., constituida por roca carbonatada de color gris azulada a verdusca de la Formación Cajamarca, de buena calidad, con grosor: 0.30 m. a 1.20 m., con rellenos de arcillosos de color: Amarillento a castaño de espesor: 2 mm. a 4 mm., presentando orientación $N110^\circ/65^\circ SW$ generando fallamientos: Planares y cuneiformes a favor de la cara libre del talud por su alto ángulo de buzamiento y persistencia del estrato e intersección de planos, siendo afectado progresivamente por la precipitación e infiltración minimizando la cohesión y ángulo de fricción de los planos de contacto de los bloques de roca de forma: Tabular y cúbica, ocasionando inestabilidades por las caídas de rocas, ocasionando inseguridad en la extracción de roca, operaciones mineras y trabajadores de la empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L.

Para lo cual, la presente investigación determinará ¿Cuál es la evaluación geomecánica del basamento rocoso frente a la estabilidad del Tajo de la empresa Bendición de Dios E.I.R.L., por su alto buzamiento del estrato? De acuerdo con la hipótesis, la información del tajo presenta rocas calizas mudstone de la Formación Cajamarca, buzando a favor del talud generando porcentajes desde: 45% a 65% de fallamientos: Planares y cuñas, relacionados con caídas de rocas, afectando la seguridad de la empresa y operarios en función de extracción de roca, seleccionamiento manual y mecanizado. proponiendo realizar la estabilidad geomecánica del tajo, para minimizar la probabilidad de fallamiento.

Teniendo en cuenta que, de acuerdo con los eventos ocurridos en el Tajo de explotación, la inestabilidad de la roca está relacionada en función: Buzamiento del estrato, persistencia, espesor de roca; se sugiere mejorar la estabilidad del frente del Tajo, para así minimizar los efectos directos, aumentando el factor de seguridad y confianza de los trabajadores, para el desbroce de roca en el pie del Tajo.

La evaluación geomecánica del tajo Bendición de Dios E.I.R.L., brindará nuevos alcances para la estabilización de los taludes en dicha mina, siguiendo la metodología: Aplicativa-explicativa, descriptiva y no experimental. Teniendo como restricciones el presupuesto para la elaboración de ensayos especializados en la roca, como ensayos triaxiales.

Teniendo como objetivo principal Realizar la evaluación geomecánica para determinar la inestabilidad del tajo Bendición de Dios E.I.R.L., logrando aumentar la seguridad y confianza de los trabajadores. Así mismo Realizar el cartografiado geológico-geomecánico, obtener las constantes elásticas del basamento rocoso, definir el comportamiento cinemático por probabilidad de ruptura y factor de seguridad, plantear la estabilización geomecánica del Tajo.

La investigación está conformada por los siguientes capítulos, Capítulo I Introducción y su desarrollo, Capítulo II corresponde al marco teórico, donde se describe los Antecedentes Internacionales, Nacionales y Locales de la investigación, asimismo, las bases teóricas actualizadas que servirán de apoyo en la investigación y finalmente la definición en términos básicos, mediante fuentes sustentadas. 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, y por último el Capítulo V, correspondiente a Conclusiones y Recomendaciones, así mismo las Referencias Bibliográficas y Anexos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 INTERNACIONALES

Monte, (2020). Realizó “Análisis de estabilidad de taludes en roca mediante el método de elemento finitos”. Obtuvo los siguientes resultados de los ensayos de compresión: 7.84 MPa a 22.43 MPa., RQD = 61.61% 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, parámetros de 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 .; con valores de probabilidad de ruptura planar, ruptura en cuña en el talud: A = 33.33% y B = 00.00%; y ruptura por vuelco de talud: A = 00.00% y B = 50.00%.

Avila y Tobo (2014), realizó “Diseño del método de explotación a cielo abierto para la mina el diamante, dentro del contrato en virtud de aporte N° 00904-15 en el municipio de Tibasosa, Vereda La Carrera departamento de Boyacá”. Se localiza al S del basamento rocoso Floresta, definida por cuatro juntas (D/DD): 10/339, 79/286, 82/345, 79/13. La geomecánica plasma como: $\delta = 2.53 \text{ gr/cm}^3$, $W = 1.23\%$, $S = 32.42\%$, $n = 9.6\%$, $e = 0.03$, $\sigma_{ci} = 53.32 \text{ MPa}$. con RQD = 76.23%, RMR = 45, GSI = 40; con diseño de tajo: $\alpha_T = 63^\circ$, $\alpha_{T\text{Final}} = 22^\circ$, $b = 9.00 \text{ m}$., $h_b = 10 \text{ m}$. La vida útil: Metalúrgica ($71,773.63 \text{ m}^3/6$ años), cementera ($190,100.16 \text{ m}^3/6.30$ años) y trituramiento ($169,998.29 \text{ m}^3/28.30$ años).

Meza, (2018). Realizó “Evaluación geomecánica y cinemática del tramo Juan Capitán – El Chihue, ciudad Victoria, Tamaulipas (Carretera TAM-126 Rumbo Nuevo)”. Está emplazado en las Formaciones: Tamaulipas, La Peña, Cuesta del Cura y Agua Nueva. Mostrando rocas de calidad: Excelente (RQD = 91.90% – T1),

Buena (RQD = 85.30% y 75.40 – T2 y T3), media (RDQ = 53.30% – T4); Buena (RMR = 78 y 75 – T1 y T2) y regular (RMR = 59, 60 – T3 y T4); con mecanismo de fallamiento: Planar (T1 y T2, margen izquierdo), cuña (T3, T4, T5, T7 y T8, margen izquierdo) y vuelco (T6, margen derecho).

Quintana y Navarro, (2022). Realizó “Utilización de un sistema de medición del riesgo de cauda de rocas en la fase operativa en el Camino de Atlas Cumbes, Sierra Chica, Córdoba, Argentina”. Aplicando del sistema RHRS, detectaron 3 taludes: EG11, EG16 y EG17, ocasionando tamaños de bloques derrumbados, de sección: 0.56 m. a 1.50 m., y volumen de 6.70 m³. Los primeros 5 bancos fueron excavados con pendiente 2V:1H y superior en transición hacia la ladera con pendiente 1V:1H, generando 3% debido a que los derrumbes ocurrieron sobre bermas en altura y el análisis se encuentra efectuado a nivel de piso.

2.1.2 NACIONALES

Carhuatanta y Tantajulca, (2020). Realizó “Análisis estructural de macizo rocoso para determinar el factor de seguridad en taludes de la carretera Cochabamba – Cutervo – Puerto Chiple”. Abarca desde la progresiva: Km. 33+240 a Km. 34+240, siendo emplazado en Grupo Goyllarisquizga, compuesto de por areniscas cuarzosas compactas bien clasificadas de grano medio a grueso. Realizando cinco estaciones geomecánicas de RMR calidad buena (EG-01 = 67, EG-02 = 66, EG-04 = 62 y EG-05 = 69) y regular (EG-03 = 60); siendo la cinemática por ruptura planar J2 (D/DD) = 28°/226°, con FS en condiciones: TT = 2.073, TE = 1.742 y TE+S = 1.098.

Paredes (2019), realizó “Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera El Arbolito – Juliaca”. El basamento rocoso presenta secuencias de arenisca cuarzosa y lutitas, con parámetros geotécnicos: Areniscas (Pe = 24.66 kN/m³., σ_{ci} = 71.30 MPa a 75 MPa, c = 0.109 MPa y ϕ = 45.18; de calidad buena y clase II, con RQD = 73.39% a 82.08%, RMR = 63.98 a 74.79 y GSI = 58.98 a 69.79) y lutitas (Pe = 22.40 kN/m³., σ_{ci} = 62.45 MPa, c = 0.060 MPa y ϕ = 30.093; calidad media y clase III, con RQD = 69.98%, RMR = 58.46 y GSI = 53.46). Obteniendo

%PR: Planar (E-2, E-3 y E-5) y cuña (E-2 y E-5); y FS: E-2 > 1.50; y E-3 y E-5 < 1.50.

Rodríguez (2019), realizó “Estudio geotécnico para el Tajo, proyecto Coroccohuayco - Cuzco - Perú”. Presenta tres sistemas de estructuras mayores: NW-SE, NE-SO y E-O; delimitas por: 3 juntas principales y 2 juntas secundarias. Las rocas presentan valores de I_s50 muy dispersos hasta 13 MPa, con ϕ : 32° a 34° y c: 0.1 a 0.5 MPa. Cinemáticamente el Tajo Norte, presenta ruptura planar en bancos de buzamiento de 63°; y Tajo Sur, se desarrollan fallas tipo planar en las caras libres que buzán al N (N 355°±10° aproximadamente). Las rupturas por cuña se desarrollan en la orientación: N355° y N040°, por intersección de Fallas L1 y E-W con plunge de 74°, no ocasionando inestabilidad.

Prada y Serrano (2009), realizó “Análisis y determinación de la amenaza de inestabilidad de los taludes, generado por su saturación y desembalse, en el proyecto de regulación del río Tona – embalse de Bucaramanga”. Litológicamente está emplazado en rocas: Neis (Vaso y estribo izquierdo) y tonalitas, cubierta por Depósitos Cuaternarios: Aluviales, Coluviales antiguos y recientes. Cinemáticamente los taludes rocosos de la margen: Derecha (T1 – ruptura por vuelco y T2 – ruptura por vuelco,) e izquierdo (T8 – ruptura: Planar, cuña y vuelco y T10 – ruptura por vuelco).

2.1.3 LOCALES

Rojas (2018), realizó “Comportamiento geotécnico de los taludes críticos de la carretera Lajas – El Tayal provincia de Chota”. La carretera está emplazada en rocas de la Formación: Carhuaz, Inca, Pariatambo, Grupo Pulluicana, Grupo Quilquiñan y Cajamarca, con buzamiento de estratos a favor de talud, formando geoestructuras fuertemente disturbados, que originan inestabilidad por el alto grado diaclasamiento. Aplicando los criterios empíricos: σ_{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). El análisis cinemático muestra altos valores en rupturas por cuña: 37.50% a 54.21% y planares: 15% a 50%, definidas por 8 taludes críticos.

Chuquimango (2024), realizó “Análisis geomecánico del tajo de explotación de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. - distrito, provincia Hualgayoc – departamento Cajamarca”. Emplazado en la Formación Cajamarca con estratos de orientación (Az/Bz) N56°/23°SE y juntas: N332°/81°NE y N235°/68°SW, con parámetros: 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. Mostrando %PR cinemática: Planar 2.22% a 46.67%, cuña 6.87% a 44.95% y vuelco 0.00% a 2.22%; planteando método de explotación a cielo abierto por banquetas con parámetros de diseño: hb = 6.00 m., q = 1.61 m., b = 4.00 m., aR = 8.00 m., α_T = 75° y α_{TFINAL} = 84°.

López (2024), realizó “Comportamiento geomecánico del tajo de explotación de la Empresa Calera MV S.R.L. Provincia Hualgayoc – departamento de Cajamarca”. El tajo presenta caliza de grosor: 0.50 m. a 2.30 m. de orientación (Az/Bz): N60°/21°SE, con estimación σ_{ci} = 95 MPa a 125 MPa, con: mi = 11 a 12, mb = 1.44 a 3.58, s = 0.0047 a 0.004, a = 0.501 a 0.507, c = 4.62 MPa a 9.16 MPa y ϕ = 29.22° a 36.66°. Mostrando %PR: E-1 > 30% planar y cuña, E-2 > 40% vuelco y E-3 > 25% planar, cuña y vuelco; aumentado %PR = 43.90% cambiando la orientación del talud D/DD (65°/115°); con parámetros de banqueo con: hb = 2.00 m., q = 0.35 m., aR = 4.50 m., b = 2.40 m., α_T = 80° y α_{TFINAL} = 33°.

Terán (2022), realizó la tesis: “Evaluación geotécnica y diseño del tajo Esmael de la Empresa Cal plus, concesión Colquirrumi 49-C. Distrito, provincia de Hualgayoc – Cajamarca”. El tajo Esmael, presenta caliza de espesores: 0.30 m. a 1.20 m., con orientación Az/Bz = N52°/20°SE, a favor del talud, siendo afloramiento rocoso de calidad: Buena a muy buena, σ_{ci} = 105 MPa a 210 MPa. - R5, ϕ = 38° y C = 9.18 MPa.; plasmando bajo %PR planar < 20% de 190 valores, y %PR cuña > 40% con 2,293 zonas críticas. Definiendo el método de explotación a cielo abierto: hb = 2.00 m., q = 0.35 m., aR = 4.50 m., b = 2.40 m., α_T = 80° y α_{TFINAL} = 33°.

Wilson (1984), Boletín N° 31 Serie A. Carta Geológica Nacional: Geología de los cuadrángulos: Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d) y Chepén (14-e). Presenta la geología regional a 1/100,000 en los aspectos: Estratigráficos, estructurales, tectónicos y plutonismo, con breves descripciones de yacimientos

metálicos y no metálicos región de Cajamarca; para: Interpretaciones, análisis y ubicación de formaciones geológicas.

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

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

La consideración expresada por Gonzales de Vallejo (2002), la finalidad de las clasificaciones geomecánicas es la obtención de parámetros geomecánicos para su empleo en el diseño y proyecto de obras de ingeniería. Estas clasificaciones aportan mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo rocoso y sus características frente a los sostenimientos de túneles y taludes as características de los macizos rocosos que vamos a considerar en las diferentes clasificaciones geomecánicas que utilizaremos son las siguientes:

- Resistencia del macizo rocoso.
- RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Orientación de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Estructura geológica y fallas.
- Filtraciones y presencia de agua.
- Estado tensional.

ÍNDICE DE CALIDAD ROCOSA – RQD₆₄

Clasificación geomecánica que indica el grado de fracturamiento del macizo rocoso, muestra la frecuencia lineal de discontinuidades. Este índice se utiliza como

parámetro para las clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski y Q de Barton. Se calcula simplemente agregando el número de discontinuidades naturales por metro de muestreo y reemplazando en la siguiente ecuación:

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

λ = Número de discontinuidades / longitud (metros).

Tabla 2.1. Relación entre RDQ y frecuencia lineal (Villaescusa, 1992).

RQD (%)	Frecuencia lineal	Calidad de roca
0 - 20	>17	Muy Pobre
20 - 40	12 - 17	Pobre
40-60	7 -12	Regular
60-80	4 - 7	Buena
80-95	1.5 - 4	Muy buena
90 - 100	<1.5	Excelente

Fuente: Osinergmin (2017).

VALORACIÓN DE LA MASA ROCOSA – RMR₈₉

Este método fue desarrollado por Bieniawski en 1973 con actualizaciones en 1979 y 1989. Esta clasificación nos permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso y sostenimiento en túneles.

El método se aplica asignando la valoración correspondiente a cada uno de sus seis parámetros. El factor de ajuste depende de la orientación de las discontinuidades y adquiere valores negativos, toma valores distintos para túneles, cimentaciones y taludes, y adquiere más importancia en taludes. El resultado de la suma de los seis parámetros nos da el índice final RMR, que varía entre 0 y 100 y se divide en cinco clases de roca, donde el valor 0 nos indica que la roca es de muy mala calidad y el valor 100 nos indica que la roca es de muy buena calidad. Los parámetros para el cálculo del RMR son:

1. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
2. Grado de fracturación en términos del RQD.

3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Condiciones de las discontinuidades, que incluye:
 - Longitud de las discontinuidades.
 - Abertura.
 - Rugosidad.
 - Relleno.
 - Alteración.
5. Condiciones hidrogeológicas.
6. Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Tabla 2.2. Clasificación Geomecánica de Bieniawski RMR₈₉.

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

Fuente: González (2002).

Tabla 2.3. Corrección por orientación de discontinuidades.

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: González (2002).

Tabla 2.4. Calidad del macizo rocoso en relación con el Índice RMR.

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

Fuente: González (2002).

Curvas de correlación

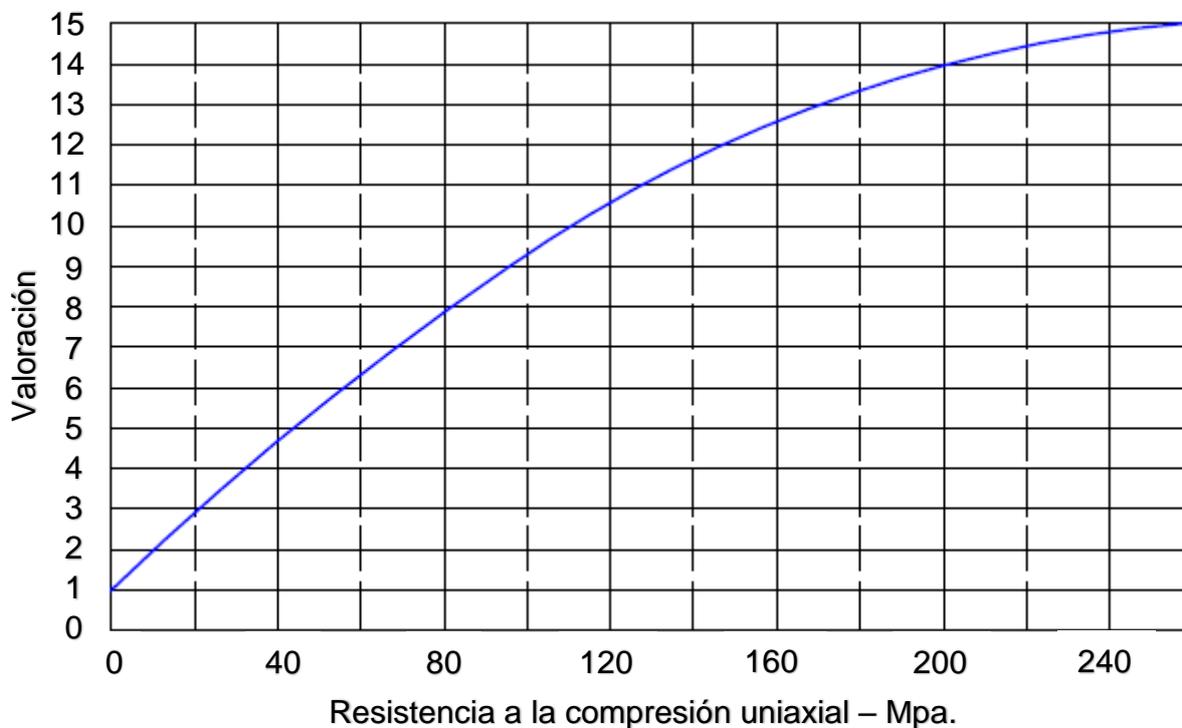


Figura 2.1. Valores para la resistencia a la compresión uniaxial.

Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).

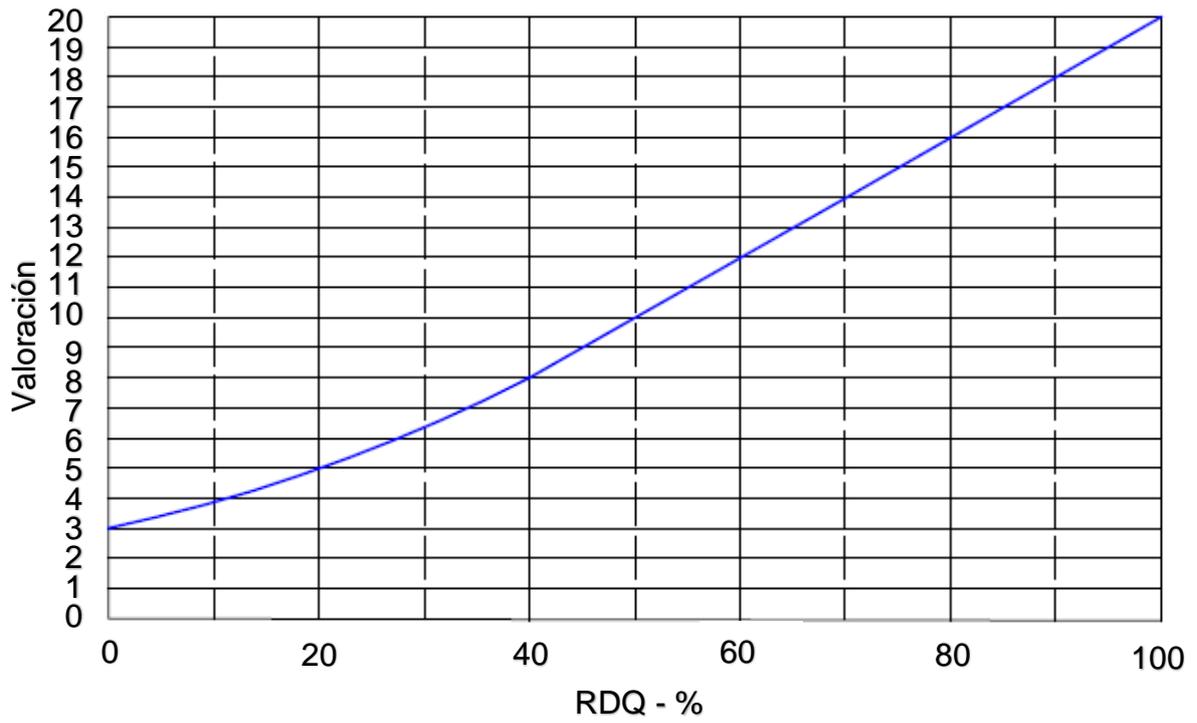


Figura 2.2. Valores para el RQD.
Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).

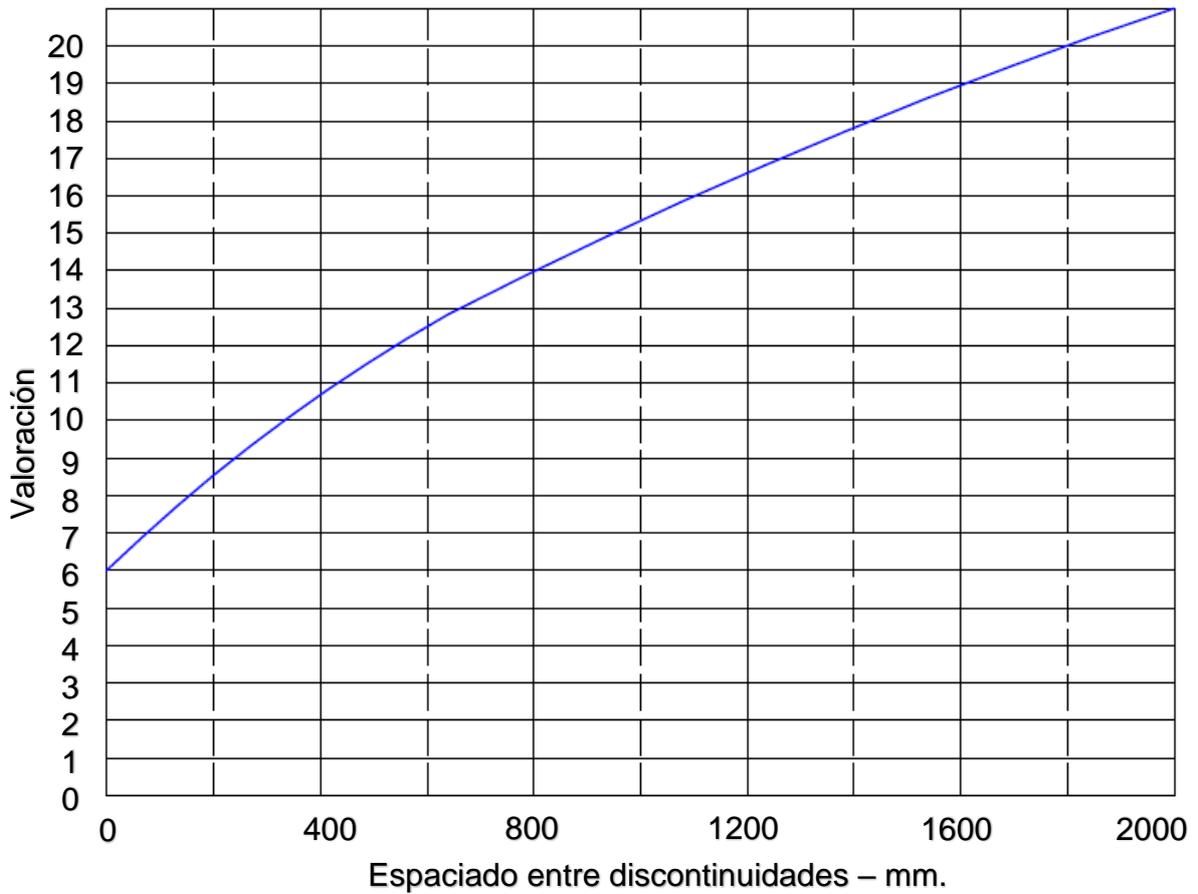


Figura 2.3. Valores para el espaciado.
Fuente: Gavilanes y Andrade (2004).

ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI₁₁)

Hoek y Brown (1997) introdujeron el Índice de resistencia geológica (GSI), tanto para macizos rocosos duros como débiles. Los ingenieros de campo y los geólogos experimentados generalmente muestran un gusto por una clasificación simple, rápida pero confiable que se basa en la inspección visual de las condiciones geológicas.

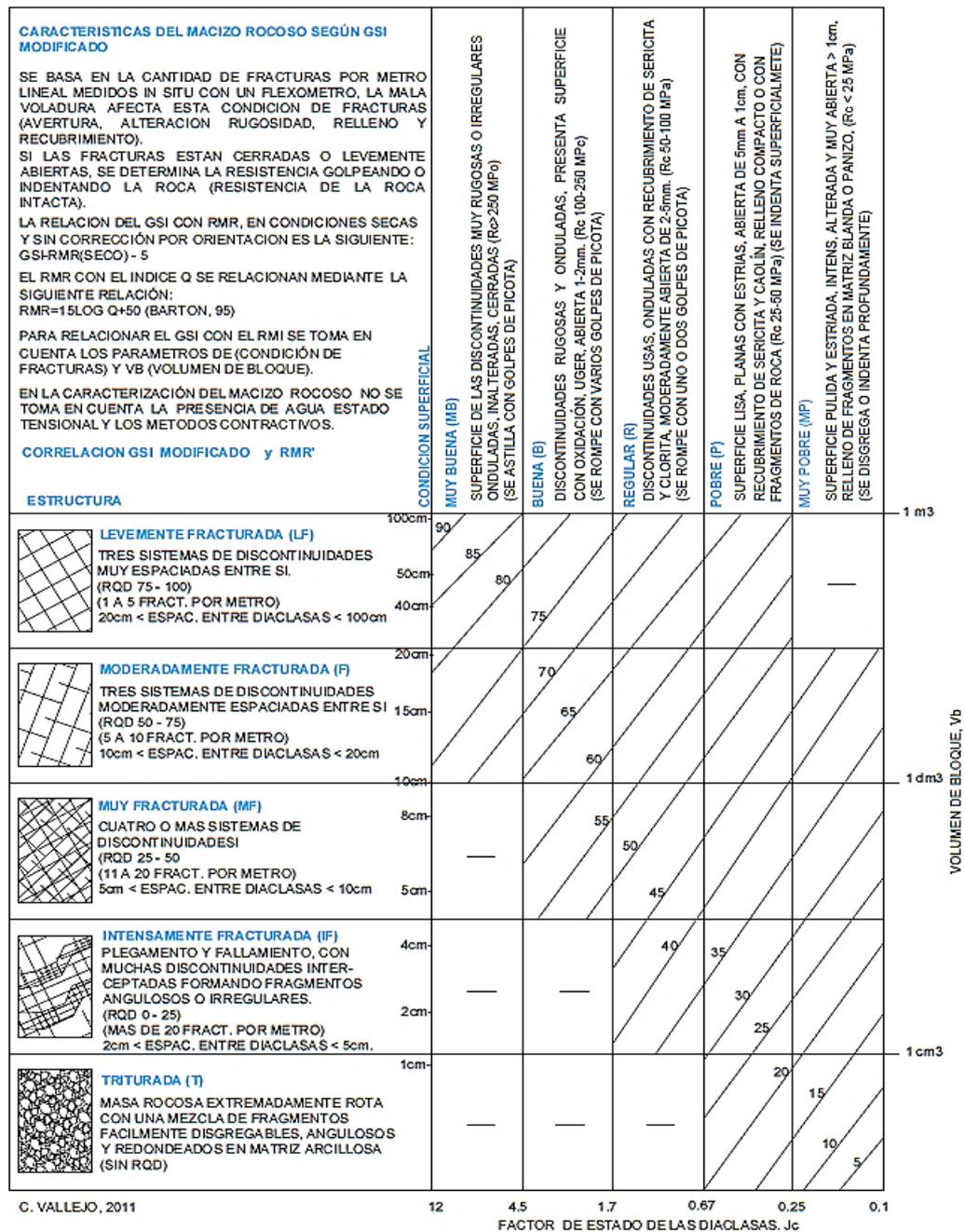


Figura 2.4. Vallejo, (2011). Caracterización del macizo rocoso según GSI modificado. Fuente: Osinergmin (2017).

Hoek y Brown (1997) propusieron una clasificación tan práctica para estimar el GSI basándose únicamente en la inspección visual (Tabla 2.5). En esta clasificación, hay cinco clasificaciones cualitativas principales de las estructuras del macizo rocoso:

Tabla 2.5. Índice geológico de resistencia (GSI).

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

Fuente: Hoek (2002).

El índice GSI fue modificado por Vallejo (2002) con el objetivo de utilizar las tablas originales de manera práctica y sencilla de clasificar cualitativamente al macizo rocoso y recomendar el sostenimiento requerido. Cabe señalar que el índice GSI fue originalmente desarrollado con la finalidad de obtener parámetros para el criterio de falla de Hoek & Brown, por lo que Vallejo recurre a las equivalencias del GSI con RMR para recomendar y dimensionar el sostenimiento (Osinermin, 2017).

2.2.2 RUPTURAS EN TALUDES ROCOSOS

Wyllie y Mah, (2004), aclara que la estabilidad de taludes rocosos a menudo se ven influenciadas significativamente por las geoestructuras de la roca por sobre excavación del talud. Refiriéndose a roturas que ocurren naturalmente en la roca, como: Planos de estratificación, juntas, diaclasa y fallas, que generalmente se llaman discontinuidades afectando la estabilidad del afloramiento. Las propiedades de las discontinuidades son relativas a la estabilidad que incluyen: Orientación, persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración e infiltración. Las discontinuidades ocasionan planos de debilidad en la roca intacta, mucho más fuerte, por lo que el fallamiento tiende a ocurrir preferentemente a lo largo de estas superficies. Las discontinuidades pueden influir directamente la estabilidad del afloramiento rocoso. Clasificados en cuatro grupos de fallamiento como:

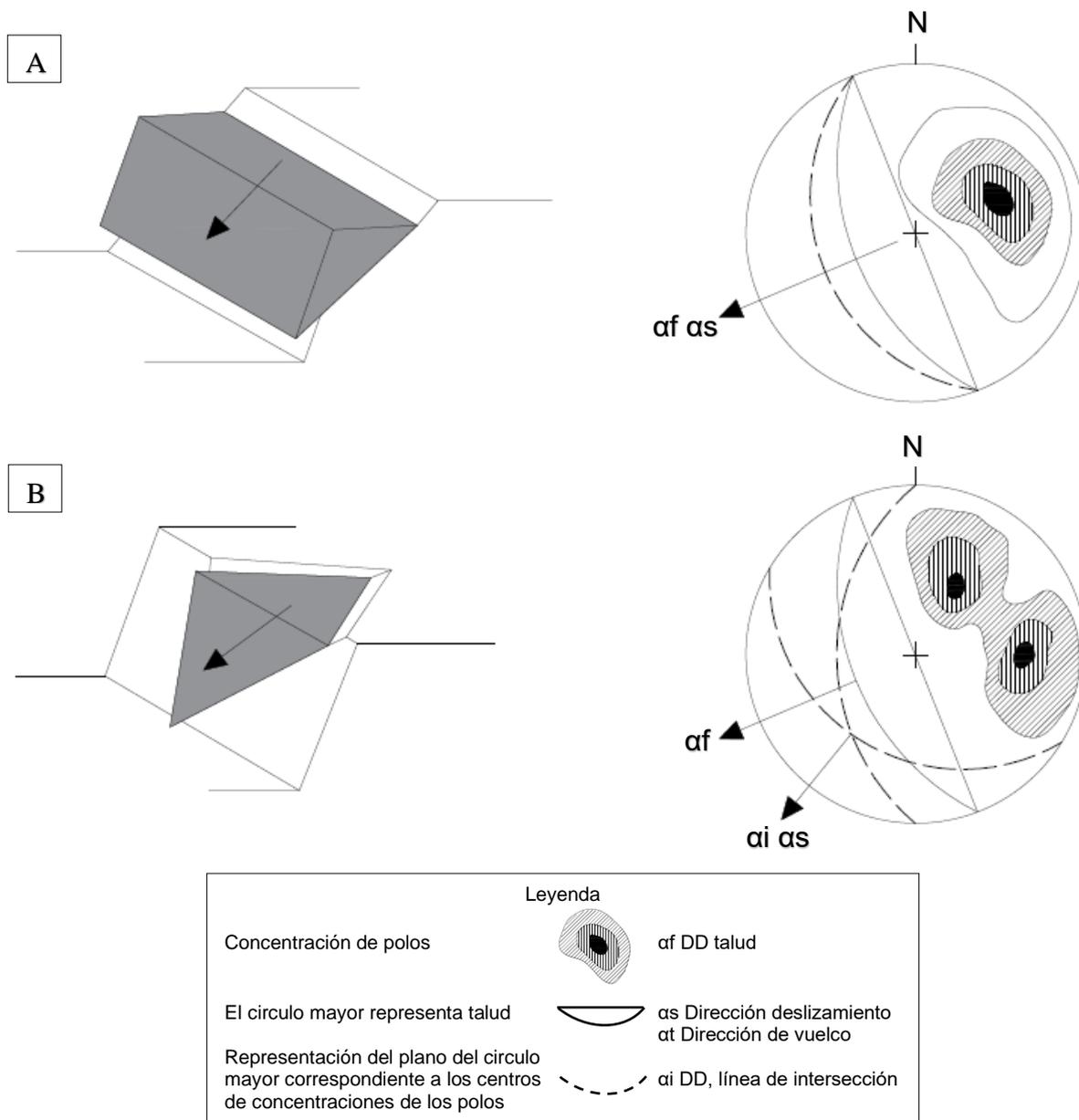


Figura 2.5. Principales tipos de rupturas de bloques en taludes y condiciones geológicas estructurales que causar estas rupturas: A. Ruptura planar en roca que presenta juntas persistentes en el mismo sentido del frente del talud, y que se orienta paralelamente a la cara libre; y B. Ruptura por cuña formada por dos discontinuidades que se interceptan. Fuente: Wyllie y Mah (2004).

Fallamiento planar: Depende de la orientación de las discontinuidades respecto a la orientación del talud, así como del buzamiento de las discontinuidades respecto al del talud. Además, mecánicamente, el deslizamiento sólo podrá tener lugar si se supera la fuerza de rozamiento en el plano de deslizamiento. Es importante señalar que el análisis cinemático debe realizarse de forma independiente para cada

discontinuidad (o familia o agrupación de discontinuidades) y para cada talud bajo estudio, ya que es más probable que en un macizo rocoso sólo algunas de las discontinuidades existentes conlleven un riesgo potencial de rotura plana (Garzón y Torrijo, 2018).

Fallamiento en cuña: Está controlado por dos o más discontinuidades (Estratificación, esquistosidad, diaclasas, falla, etc.), siendo necesario que la línea de intersección de los dos planos de discontinuidad tenga menor inclinación que el plano del talud, además los planos deben formar la cuña: Directa o inversa de acuerdo con la intersección de planos. Clasificándolos a las cuñas por su tamaño y nivel de estabilidad: Cuñas de pequeño volumen, cuñas de volumen medio y cuñas de gran volumen (Ramírez y Alejano, 2004).

Fallamiento por vuelco: La diferencia el vuelco de bloques del vuelco flexural. El primero involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base semejante al vuelco de libros en un estante. El segundo, en cambio involucra rocas más frágiles y densamente diaclasadas; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas frágiles. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales (Goodman y Bray, 1976).

Fallamiento circular: Es típicamente los fallamientos circulares en una roca altamente erosionada en la pendiente del talud sobre la carretera. Las condiciones bajo las cuales la falla circular se producirá cuando las partículas individuales en una masa de suelo o roca son muy pequeñas en comparación con el tamaño de la pendiente. Por lo tanto, roca fracturada con llo tenderá a comportarse como "suelo" y fallará en un modo circular cuando las dimensiones de la pendiente son sustancialmente mayores que las dimensiones del fragmento de roca (Wyllie y Mah, 2004).

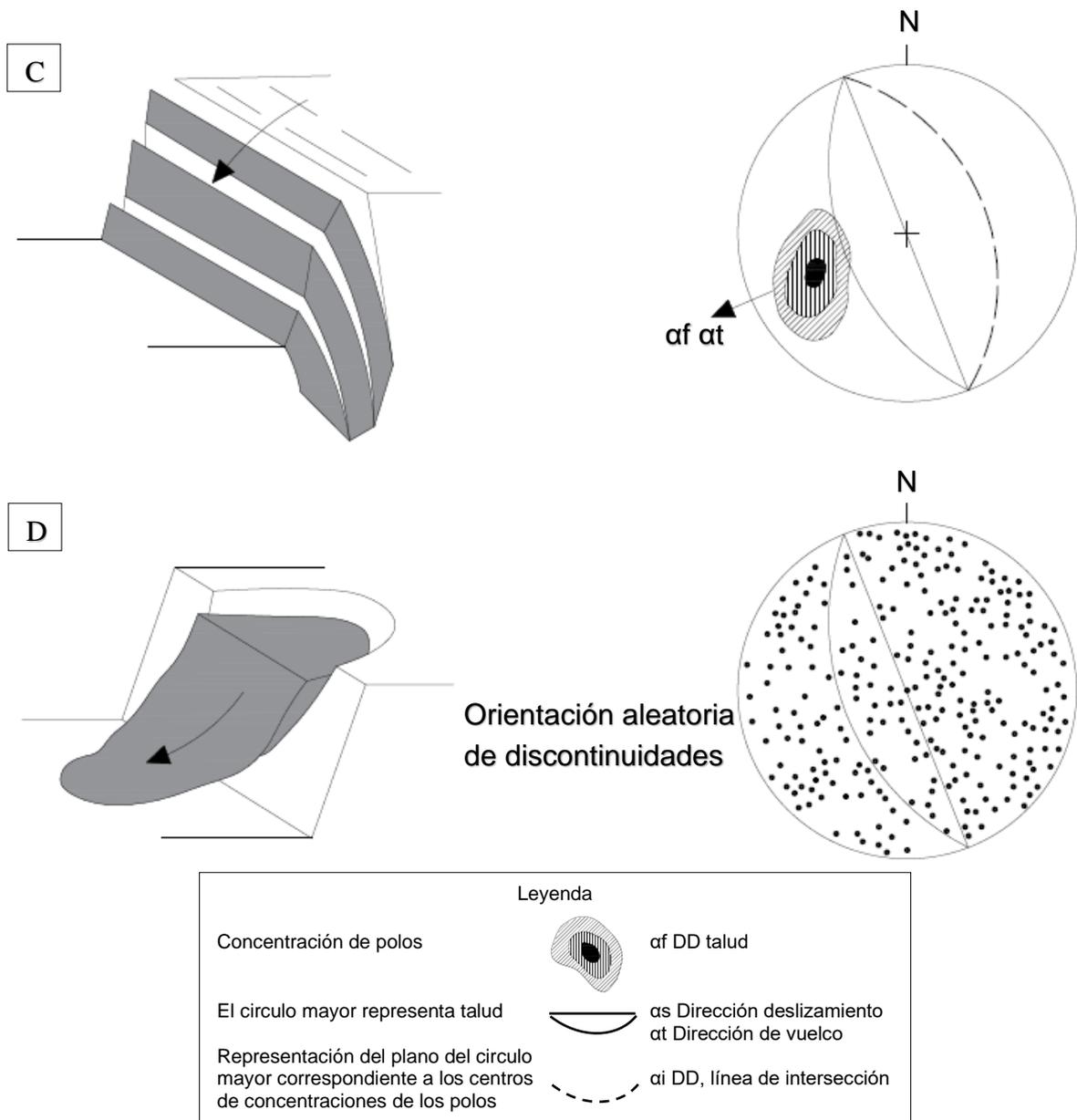


Figura 2.6. C. Ruptura por vuelco originado por roca de buena calidad que contiene discontinuidades de buzamiento vertical en el mismo sentido de la cara libre del talud; y D. Ruptura circular se origina en roca muy débil o muy fracturada con discontinuidades orientadas al azar.
Fuente: Wyllie y Mah (2004).

Los procesos geológicos y climáticos que afectan a la superficie terrestre creando relieve y definiendo la morfología de las laderas, que van modificando a lo largo del tiempo para adaptarse a nuevas condiciones geológicas o climáticas. Por lo general, las laderas adoptan pendientes naturales cercanas al equilibrio; ante el cambio de condiciones, siendo su morfología modifica buscando de nuevo equilibrio (González, 2002).

2.2.3 MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS CAÍDAS DE ROCAS

Cuando se implementa un programa para estabilizar un gran número de laderas, a menudo se hace el mejor uso de los fondos disponibles estableciendo un programa sistemático que identifica y clasifica los sitios más peligrosos.

Categoría			Criterio de valoración y puntuación			
			3 Puntos	9 Puntos	27 Puntos	81 Puntos
Altura del talud			25 pies (7.6 m)	50 pies (15.2 m)	75 pies (22.9 m)	100 pies (30.5 m)
Efectividad de la cuneta de recepción			Buena	Moderada	Limitada	Nula
Riesgo medio vehicular (AVR)			25% del tiempo	50% del tiempo	75% del tiempo	100% del tiempo
Porcentaje de la visibilidad (SD) frente a la distancia de reacción (DSD)			Suficiente visibilidad (100% DSD)	Moderada visibilidad (80% DSD)	Visibilidad limitada (60% DSD)	Visibilidad muy limitada (40% DSD)
Anchura de la calzada incluido el arcén			44 pies (13.4 m)	36 pies (11.0 m)	28 pies (8.5 m)	20 pies (6.1 m)
Geología	Caso 1	Condición estructural	Juntas discontinuas con orientación favorable	Juntas discontinuas con orientación variable	Juntas discontinuas con orientación adversa	Juntas continuas con orientación adversa
		Fricción de la roca	Rugosa e irregular	Ondulada	Plana	Con relleno
	Caso 2	Diferencias en características erosivas	Pocas diferencias en los rasgos erosivos	Ocasionales diferencias en los rasgos erosivos	Muchas diferencias en los rasgos erosivos	Grandes diferencias en los rasgos erosivos
		Diferencias en la velocidad de erosión	Poca diferencia	Moderada diferencia	Gran diferencia	Extrema diferencia
Tamaño del bloque individual			1 pie (0.3 m)	2 pies (0.6 m)	3 pies (0.9 m)	4 pies (1.2 m)
Volumen de rocas a caer por evento			3 yardas ³ (2.3 m ³)	6 yardas ³ (4.6 m ³)	9 yardas ³ (6.9 m ³)	12 yardas ³ (9.2 m ³)
Clima y presencia de agua en el talud			Baja a moderada precipitación; sin períodos de heladas, ni agua en el talud	Moderada precipitación ó con períodos cortos de heladas ó presencia intermitente de agua en el talud	Alta precipitación ó con largos períodos de heladas ó presencia continua de agua en el talud	Alta precipitación y largos períodos de heladas ó continua presencia de agua en el talud y largos períodos de heladas
Historia de caída de bloques			Pocas caídas	Caídas ocasionales	Muchas caídas	Caídas constantes

Figura 2.7. Estimación de la clasificación detallada del RHRS (Traducido de Pierson et al., 1990).

Fuente: Oyanguren y Alejano (2004).

El trabajo de estabilización anual puede entonces ser programado, con los sitios más peligrosos que tienen la más alta prioridad. Siendo importante el enfoque efectivo y proactivo de la estabilización requiere un programa consistente, ya largo plazo bajo la dirección de un equipo experimentado en los aspectos de ingeniería y construcción de este trabajo. Otro componente importante de este trabajo es

mantener registros precisos, con fotografías, de condiciones de taludes, caídas de roca y trabajo de estabilización. Esta información documentará la ubicación de las áreas peligrosas y determinará la eficacia a largo plazo del programa para reducir la incidencia de caídas de rocas. Estos expedientes se pueden manejar convenientemente usando programas de la base de datos que permiten fácilmente la actualización y la recuperación de expedientes

El objetivo del programa es ser proactivo en identificación y estabilización de taludes antes de que se produzcan caídas y accidentes. Esto requiere un análisis cuidadoso de cada sitio para identificar el peligro potencial y estimar el beneficio probable del trabajo de estabilización.

2.2.4 ESTABILIDAD DE TALUDES

Las minas a cielo abierto toleran un cierto grado de inestabilidad de la pendiente a menos que haya un peligro para los mineros o pérdida significativa de producción. Por ejemplo, los fallamientos menores de los bancos generalmente tienen poco efecto en las operaciones a menos el deslizamiento del suelo afecta la carretera de transporte ocasionando daños a neumático o mecanismo. Un medio más común de manejar la inestabilidad a gran escala de taludes es monitorear el movimiento de modo que la minería pueda continuar debajo de la pendiente inestable (Wyllie y Mah, 2004).

SELECCIONAMIENTO DE MEDIDAS ESTABILIZADORAS

La selección del método o métodos de estabilización que son más apropiados para las condiciones: Topográficas, geológicas y estratégicas del lugar. Los métodos de estabilización de taludes se dividen en tres categorías: Refuerzo, Remoción de masas y protección (Wyllie y Mah, 2004).

Siendo ser implementadas para asegurar rocas potencialmente sueltas en la cara libre de un corte de roca. La característica común de todas estas técnicas es que minimizan la relajación y el aflojamiento de la masa rocosa que puede tener lugar como resultado de la excavación. Una vez que se ha permitido que la relajación

tenga lugar, hay una pérdida de enclavamiento entre los bloques de roca y una disminución significativa en la resistencia al corte. La Figura 4.13 ilustra el efecto de instalar los anclajes de roca para mantener el enclavamiento en el ángulo de rugosidad alto, la aspereza de segundo orden. Una vez que ha tenido lugar la relajación, no es posible invertir el proceso. Por esta razón, el refuerzo de los taludes de roca es más eficaz si se instala antes de la excavación, proceso conocido como pre-refuerzo (Wyllie y Mah, 2004).

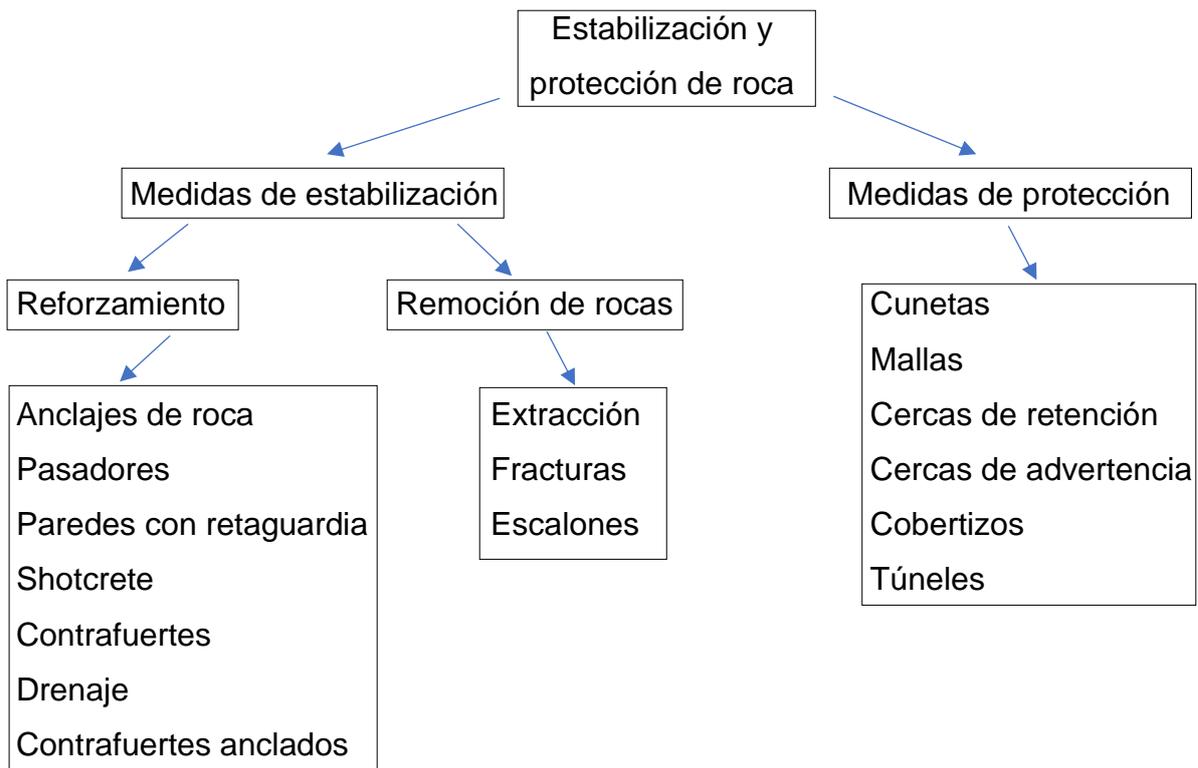


Figura 2.8. Categorías de medidas de estabilización de taludes rocosos.
Fuente: Wyllie y Mah (2004).

Punzones de cizalla: Los punzones de corte reforzado proporcionan soporte para bloques de roca de hasta un metro de espesor, así como zonas de roca suelta y resistida en la cresta del talud (Figura 2.8 - 1). Se utilizan punzones de corte cuando el soporte requerido está limitado por el tamaño de los bloques, y para evitar la separación y el aflojamiento de rocas estrechamente fracturadas y débiles. Si se instalaran anclajes de roca en esta roca, la separación pronto expondría la cabeza del anclaje resultando en la pérdida de apoyo (Wyllie y Mah, 2004).

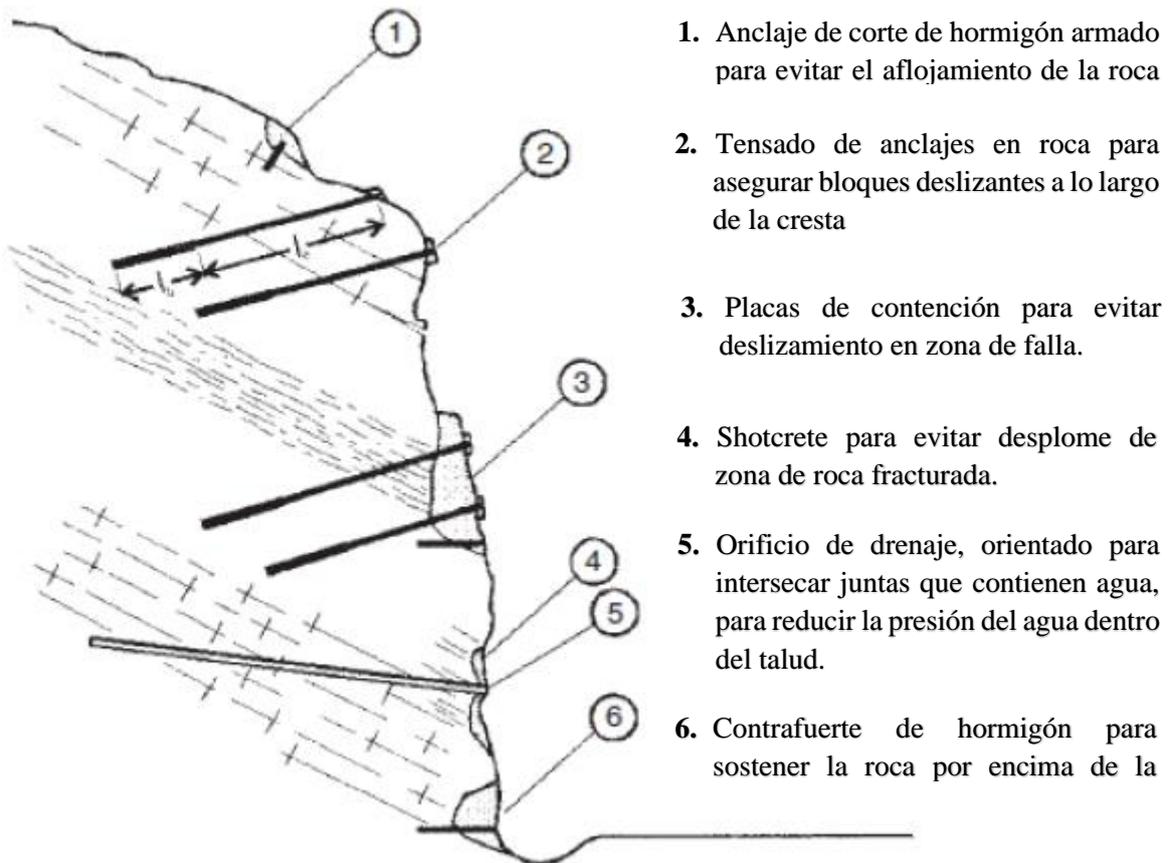


Figura 2.9. Métodos de refuerzo de talud rocosos (TRB, 1996).
Fuente: Wyllie y Mah (2004).

Anclajes de roca: Son para evitar el deslizamiento de bloques o cuñas de roca en discontinuidades que se buzan fuera de la cara libre. Es importante señalar que la función principal de los anclajes de roca es modificar las fuerzas normales y de corte que actúan sobre los planos deslizantes, en lugar de confiar en la resistencia al corte del acero donde el anclaje cruza este plano. El término "anclaje de roca" se refiere tanto a barras rígidas como a cables flexibles que pueden utilizarse en manojos; los principios de diseño y los métodos de construcción son similares para ambos materiales (Wyllie y Mah, 2004).

Shotcrete: El shotcrete inyectado es un mortero de agregado fino de aplicación neumática que normalmente se coloca en una capa de 50 - 100 mm., ya menudo se refuerza para mejorar la resistencia a la tracción y al cizallamiento (American Concrete Institute, 1995). Las zonas y los estratos de roca estrechamente fracturada o degradable pueden protegerse aplicando una capa de hormigón proyectado a la roca (Figura 2.8 - 4). El shotcrete controlará tanto la caída de

pequeños bloques de roca como el desprendimiento progresivo que eventualmente podría producir salientes inestables. Sin embargo, el shotcrete proporciona poco apoyo contra el deslizamiento para la pendiente total; su función principal es la protección superficial. Otro componente de una instalación del shotcrete es la provisión de orificios de drenaje para evitar la acumulación de presiones de agua detrás de la cara libre (Wyllie y Mah, 2004).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Anclaje: Técnica de sostenimiento que consiste en introducir barras resistentes en taladros perforados en el terreno, solidarizándolos mediante procedimientos químicos o mecánicos para aumentar su resistencia (Celada, 2011).

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

Criterio de rotura: 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).

Estabilidad: estado y condición de una estructura o de una masa de material cuando puede soportar los esfuerzos aplicados durante largo tiempo sin sufrir una deformación o movimiento apreciable que no se recupere o devuelva al retirar la carga (Hoyos, 2012).

Geomecánica: Ciencia que se encarga de estudiar, el comportamiento mecánico de la roca, y de la fuerza inducidas, en una excavación subterránea (Berrocal, 2015).

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).

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

Macizo rocoso: Conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico (Rodríguez, 2007).

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

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las extracciones no metálicas de roca caliza se desarrollan en el tajo Calera Bendición de Dios E.I.R.L., ubicada en el centro poblado La Lucma, al NW de la ciudad de Bambamarca, distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc y región de Cajamarca. Utilizando como base grafica las coordenadas SISTEMA UTM DATUM WGS-84 ZONA 17S, con referencia al cuadrángulo de Chota (14-f),

Datos generales derecho minero

Código	: 010039503
Procedimiento de titulación	: Concesión
Nombre	: Los Chancas II 5hnos
Situación	: Vigente
Sustancia	: No metálica
Has. Formuladas	: 100
Título de referencia	: Jurídico
Nombre de la razón social	: Calera Bendición de Dios E.I.R.L.

3.2 ACCESIBILIDAD

El punto de inicio al área de estudio se realiza desde la ciudad de Cajamarca, tomando el Jr. Angamos con la dirección NW (salida de combis); luego se toma la dirección NW siguiendo la misma carretera pavimentada, hasta cierto tramo; cambiando bruscamente a carretera afirmada en regulares condiciones, llegando a Hualgayoc y finalmente con rumbo al NW a la zona de estudio del centro poblado La Lucma, carretera a Chota.



Figura 3.1. A. Ruta de acceso a la zona de estudio. B. Ubicación de las labores de la Calera Bendición de Dios E.I.R.L.
Fuente: Google Maps (2024).

Tabla 3.1. Acceso a la zona de estudio.

Tramo		Estado de Vía	Vía	Transporte	Recorrido	
De	A				Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Cajamarca	Hualgayoc	Regular	Terrestre	Auto	87+600	02:13
Hualgayoc	Bambamarca	Regular	Terrestre	Auto	24+400	00:36
Bambamarca	La Lucma	Buena	Terrestre	Auto	05+000	00:13



Figura 3.2. Vista panorámica del tajo de la de la Calera Bendición de Dios E.I.R.L.

3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 TIPO, NIVEL Y DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Aplicativa: Se dará a conocer en la práctica como se interactúa la geomecánica con la inestabilidad del tajo de explotación, apoyada y fundamentada por: Análisis, interpretación y soluciones, de acuerdo con la

caracterización del afloramiento rocoso, en conocimiento ingenieril para incrementar la calidad profesional y rigor científico con los resultados

Explicativa: Mediante lo manifestado en el tajo de la empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L., deseo explicar por la ocurrencia de caídas de rocas relacionadas con el grado de fracturamiento del macizo rocoso y proporcionar información geomecánica a la empresa como minimizar la ocurrencia de las inestabilidades del tajo; siendo de vital importancia recopilación de información que este interrelacionada como: Artículos científicos, cursos, seminarios y revistas científicas; para definir y demostrar porque ocurren estos efectos de inestabilidad de taludes.

Descriptivo: Se aplicó en dar respuesta a la ocurrencia de inestabilidades por: altura de talud, buzamiento de talud y estratificación a favor del tajo, ocasionando constantes caídas de rocas, a través de información: Campo, gabinete y procesamiento, apoyados por modelos numéricos; plasmando información: Cualitativa o cuantitativa, de acuerdo con el desarrollo de las variables dando respuesta a los objetivos específicos usando técnicas de recolección de información y procesamiento.

Cualitativa: Se basó en técnicas observacionales plasmadas por inseguridad de los trabajadores y la empresa, realizando preguntas y respuestas anticipadas, por qué se origina este tipo de eventos mediante: Preguntas, diagnósticos, registros, entrevistas, memorias, técnicas observaciones por mi persona, dando algunas acotaciones profesionales e informativas de mi punto de vista de la ocurrencia en la zona de investigación. Así mismo se logró correlacionar con los eventos ocurridos: Anterior y actualmente, siendo cada vez más complicado para la empresa minera no metálica

Cuantitativa: Se enfocó en la obtención de información numérica mediante el desarrollo de toma y respuesta de información de las variables independientes, partiendo desde la población y muestra, logrando si dar respuesta a cada variable porque la ocurrencia y causas de este tipo de

eventos geodinámicos en el tajo de explotación. Así mismo también se realizó combinaciones en tres medios para visualizar el comportamiento del FS del tajo, permitiendo: Mejorar, validar y refutar los resultados para así estabilizar la zona de investigación, fundamentando mediante herramientas de análisis: Matemático y estadístico.

3.3.2 POBLACIÓN

Las instalaciones no metálicas de la empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L., lo constituyen 3.57 Ha, sin embargo, la cantera se ubica en la parte superior de la instalación constituida por 1.81 Ha de cantera, delimitada desde la cota: 2,731 msnm. a 2,802 msnm.

3.3.3 MUESTRA

Está enfocada a la geomecánica del tajo, conformada por cuatro estaciones de cartografiado litológico-geomecánico; basándose en el desarrollo de la ocurrencia de inestabilidades, tendiendo en consideración: Calidad de roca, Resistencia, orientación de juntas, litología y dimensiones del tajo.

3.3.4 UNIDAD DE ANÁLISIS

Fueron basadas para: Definir y procesar el comportamiento del tajo, mediante el desarrollo de variables como: Litología, geoestructuras, geomecánica e inestabilidad; para minimizar la ocurrencia de caídas de rocas que afecta gradualmente la parte operativa del área de explotación.

3.3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Fue basada mediante el desarrollo de etapas informativas, siendo cada una de ellas muy importante para el aporte científico de la tesis, dando a conocer la importancia de la estabilización de taludes en enfoques mineros, siendo de interés para alumnos y egresados, enfocados en la geomecánica.

Recopilación, revisión y planificación: Se llevó a cabo desde el permiso al dueño de la empresa minera no metálica, luego la aceptación y elaboración del proyecto de tesis por parte supervisión del asesor MCs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino, así mismo a partir de esta instancia la investigación fue mucho más exhaustiva con plazos de entrega y revisiones hasta llegar al objetivo principal sustentar la tesis. Por consiguiente, también se obtuvo información intelectual de primera mano cómo: Papers, libros, seminarios, ponencias, etc., para fundamentar y plasmar el carácter científico de la investigación utilizando programas numéricos para mejores visualizaciones de los resultados.

Cartografiado de campo: Estuvo conformada por permisos progresivos hacia la empresa para ingresar a sus instalaciones, cumpliendo los estándares de calidad en la obtención de información del entorno del desarrollo de la tesis como: Ubicación, accesibilidad, clima, hidrología, geología local, geología estructural, geomecánica e inestabilidad, siendo cada uno de los acápites resueltos, así mismo estuvo definida por 6 salidas a campo mediante: Visualización, muestreo, tomada de datos, identificación y recopilación de información: Progresiva y simultánea, siendo en algunos casos registrados o escritos como: Libretas de campo, planos y base digital word o Excel, para finalmente ser seleccionada y procesada adecuadamente.

Procesamiento información: Estuvo relacionada con la recopilación de data de campo y procesamiento, agrupando e independizando a las variables de acuerdo con el desarrollo del capítulo, siendo plasmados por: Data estadística, numérica, panel fotográfico, planos y porcentual, de acuerdo con la presentación de resultados, para la utilización posterior en modelos numéricos o matemáticos siendo los resultados: Cuantitativos y cualitativos, para estabilizar el tajo de explotación.

Informe final: Documento escrito de acuerdo con la información procesada mediante el desarrollo de cada variable, dando a conocer el aporte científico y metodológico que servirá para mejorar el campo de la

geomecánica, así mismo teniendo como base la investigación ingenieril. Siendo plasmados mediante: Planos, tablas y figuras, que dan a conocer la realidad de la zona de investigación, aportando con resultados que servirán para mejora el campo de la geomecánica.

3.3.6 MATERIALES, EQUIPOS Y SOPORTE COMPUTACIONAL

La utilización de materiales, equipos y soporte computacional, fueron un complemento importante en la realización de la tesis, presentando consideraciones ingenieriles antes de su utilización como: Inspección, manipulación y calibración, para evitar errores progresivos y mejorar en la realización de la tesis, enfocada a la geomecánica.

Martillo geológico: Utilizado para estimar la resistencia de roca mediante número de golpes y obtención de muestras.

GPS Garmin: Se utilizó para ubicar estaciones de control, en referencia a coordenadas UTM-WGS84-17S, mediante coordenadas geográficas.

Brújula Brunton azimutal: Base importante para obtener información como: Azimut, buzamiento y dip direction, en geoestructuras; así mismo en la orientación de planos de ruta y cartografiado.

Lupa: Se utilizó para identificar y clasificar microscópicamente la composición de la roca.

Protactor: Utilizado para escalar planos o convertir unidades: mm., m., y Km.; trazar ángulos y medir estrías de falla en grados (°) pitch.

Rayador: Usado para rayar la superficie de la roca y resistencia mineralógica de minerales.

Celular – cámara fotográfica: Usado para plasmar en tiempo real el entorno del área de estudio, mostrando así la realidad de la zona de investigación.

Flexómetro: Utilizado para definir la escala del plano y dimensionamiento de la caracterización: Litológica y geomecánica.

Tablero: Usado para realizar cartografiados y proyecciones de planos de rocas.

Wincha: Utilizado para medir dimensiones mayores a 5.00 m. en la área de explotación (Tajo) y beneficio (Hornos, oficinas, almacén, etc.).

Ácido clorhídrico: Usado para clasificar las rocas compuestas por: Carbonatos o sílice, mediante la efervescencia por el contacto de la roca con el ácido al 20%.

Libreta de campo: Plasma mediante escritos información cartográfica el área de investigación, presentando en consideración conceptos o conocimientos ingenieriles a realizar.

Plumones (Pizarra e indelebles), colores, lápices, borrador, tajador, corrector, regla graduada, transportador y cinta de embalaje: Se utilizó para etiquetar mediante descripciones de las características de materiales relacionadas en planos y libretas.

Carta geológica: Se uso como base para la identificación litológica y estructural, del área de investigación.

SASPlanet: Visualización de imágenes satelitales en megapíxeles de resolución.

Google earth: Ubica y delimita de áreas, en función del tiempo progresivo de análisis e interpretación.

ArcGis: Base gráfica utilizada para editar: Puntos, líneas y polilíneas, de zonas de interés geográfica.

AutoCad: Se utilizó editar zonas distribución del área de explotación y beneficio, teniendo en consideración longitudes y áreas.

Office (Word, pdf y powerpoint): Base importante para: Redactar, exportar y presentar, el documento de la tesis de investigación mediante los protocolos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Rocdata: Utilizado para estimar empíricamente la calidad de roca obtenido las constantes elásticas del macizo rocoso.

Dips: Uso para proyectar discontinuidades y ángulo de fricción, obtenido la probabilidad de ruptura del tajo, siendo un valor porcentual de estabilidad.

RocPlane: Mediante el primer análisis Dips, se analizan las dos juntas principales para la ruptura planar obtenido el FS mediante tensiones: Totales, efectivas y efectivas+sismicidad, obtenido un valor número adimensional $\sigma > 1.50$.

Swedge: Mediante el primer análisis Dips, se analizan las dos a tres juntas principales para la ruptura por cuña obtenido el FS mediante tensiones: Totales, efectivas y efectivas+sismicidad, obtenido un valor número adimensional $< o > 1.50$.

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

La cantera de la Calera Bendición de Dios E.I.R.L., está emplazada en la escarpa el flanco izquierdo del anticlinal de orientación SW-NE. Morfológicamente se evidencian caídas de rocas; con fuertes pendientes de moderada a alta, relacionados con la tectónica de: Plegamientos, fallas y sobreescurrecimientos, en el área de influencia directa e indirecta. Litológicamente en la cantera aflora la Formación Cajamarca, siendo la zona de abastecimiento de roca azulada a los hornos de calcinación, por lo contrario, también se evidencia Formación Celendín ubicada en la parte baja del área de beneficio. Litológicamente las unidades litoestratigráficas, abarca desde: Turoniano, Senoniano y Versiliano, presentando recubrimiento por depósitos cuaternarios con cierta tendencia estratiforme y en otros casos muy heterogéneos y desordenados. A continuación, se describen las características litológicas.

3.4.1 FORMACIÓN CAJAMARCA

Litológicamente corresponde a secuencias de calizas calcáreas mudstone (Dunham, 1962) – del Cretáceo Superior siendo predominantes por su topografía escarpada y empinada, por presentar fuertes pendientes y bancos inaccesibles, por su homogeneidad litológica presentando bancos: Gruesos y duros, de espesor: 0.60 m. a 1.00 m., de orientación (Az/Bz) N35°/42°SE; mostrando blocosidades de forma: Tabular a cúbica, en el tajo de explotación, de calidad: Regular a buena; con peso específico 26.50 KN/m³. cuyos afloramientos exhiben morfología kárstica ubicadas en la parte alta del tajo de explotación. Así mismo regionalmente presenta un grosor total entre: 600 m. y 700 m. Conformada por escarpas o lomos prominentes que comúnmente carecen de vegetación presentando colores blanquecinos a gris claro, por la meteorización de la roca caliza que es expuesta continuamente (Wilson, 1984).



Figura 3.3. Afloramiento de caliza de la Formación Cajamarca, con buzamiento de estratos a favor del talud del tajo de explotación, siendo predominante las caídas de rocas por su alto buzamiento y pendiente de talud.

3.4.2 FORMACIÓN CELENDÍN

Está formación presenta calizas intemperadas impuras, calcáreas nodulares, pobremente estratificadas, de color: Crema a amarillo plomizo, con intercalaciones de caliza, lutitas calcáreas de textura fisil y calizas margosas, de poca resistencia aflorando en la parte baja de las instalaciones mineras con espesor: 0.10 m. a 0.15 m., de orientación (Az/Bz) $N40^{\circ}/38^{\circ}SE$; suprayaciendo a la Formación Cajamarca.

3.4.3 DEPÓSITO ANTRÓPICO

Son generados por la misma actividad de extracción de la roca caliza, conformadas por: Bloques, bolones, gravas, arenas, limos y arcillas, siendo acumulados en la desmontera de las instalaciones mineras, siendo la parte final de todo el proceso de la cal viva; así mismo estos materiales son acumulados constantemente por la

operatividad generando $3\text{m}^3/\text{día}$, siguiendo protocolos de depositación y compactación, para evitar futuras afectaciones por deslizamiento o asentamientos que afecten las partes bajas de los pobladores. Actualmente con el Depósito Antrópico se está recuperando plataformas, para ampliar la zona de parqueo de la maquinaria pesada.



Figura 3.4. Depósitos Antrópicos distribuidos acumulados en la parte baja del tajo de explotación.

3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Regionalmente la zona de estudio presenta plegamiento: Anticlinales y sinclinales, de orientación NE-SW, formando la zona cordillerana del Cretáceo Superior, así mismo en la Oeste se ubica la Formación Celendín siendo eje del Anticlinal asimétrico formando estructura periclinal hacia ESE, por formar una estructura cerrada; así mismo los ejes de los plegamientos de orientación NW-SE son paralelos a las fallas: Normales y sobreescorrimiento o inversas, ubicadas al N y S. Por consiguiente, se generó la liberación de energía reflejándose en la fallas regionales y locales, periféricas a la zona de investigación y tajo de explotación originando la estructura principal por el espejo de falla: Gravitatoria o normal, desplazando a la secuencia estratigráfica de espesor 0.60 m. a 0.80 m. siendo paralelo a la orientación de la roca caliza $Az/Bz = N35^{\circ}/43^{\circ}SE$, siendo desplazado

por la falla normal sinistral con orientación Az/Bz = N154°/63°SW y pich = 28°, siendo analizados en el espejo de falla, evidenciándose recristalización de calcita observándose: Estrías, slikensides y acanaladuras, mostrando el movimiento cinemático de las fallas geológicas.

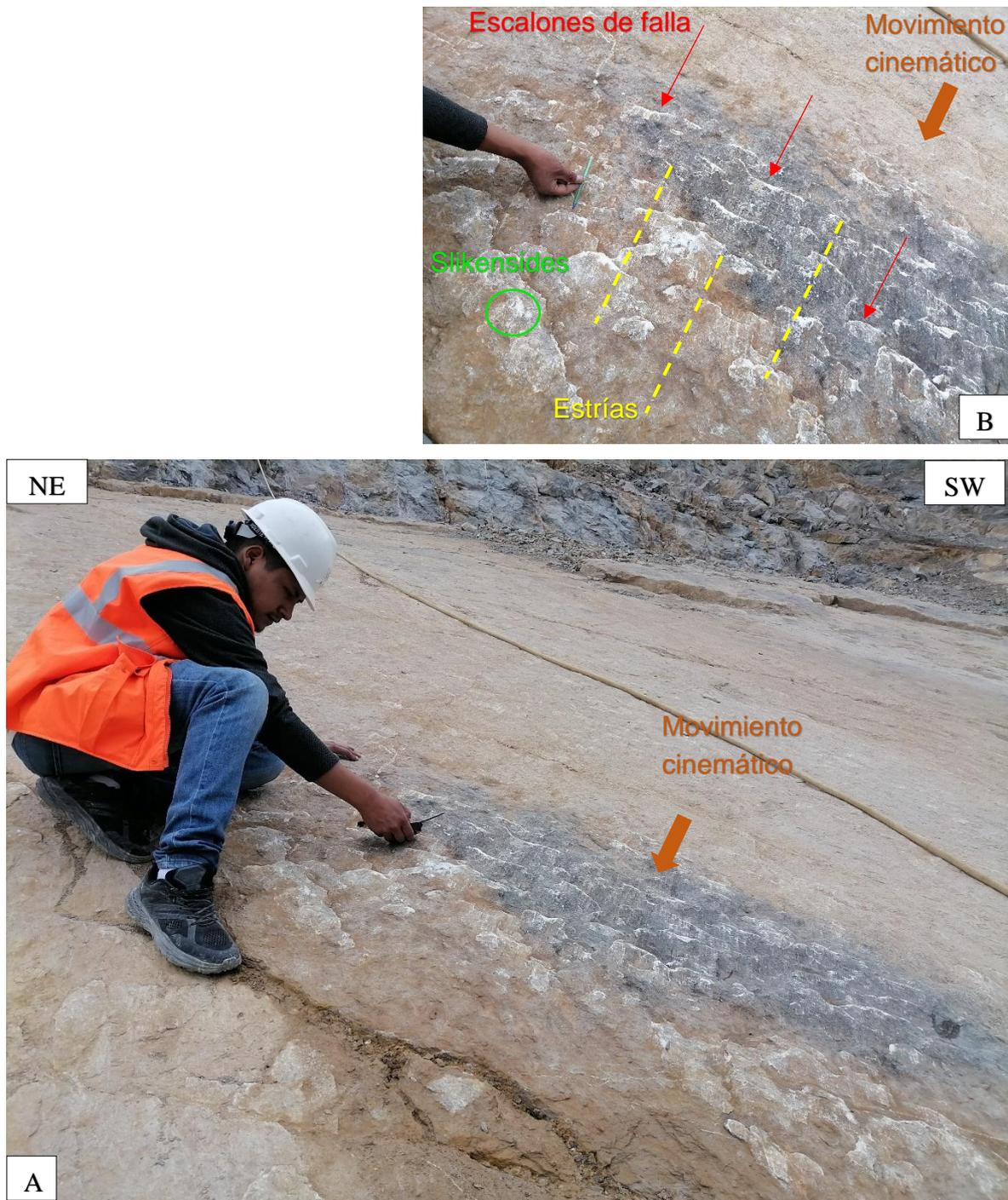


Figura 3.5. A. Espejo de falla normal dextral de movimiento cinemático en la secuencia estratigráfica calcárea de orientación (Az/Bz) = N30°/38°SE, con superficie de recristalización de calcita, alineándose con el movimiento cinemático. B. Visualización cinemático del plano de falla, con estrías, escalones y slikensides.

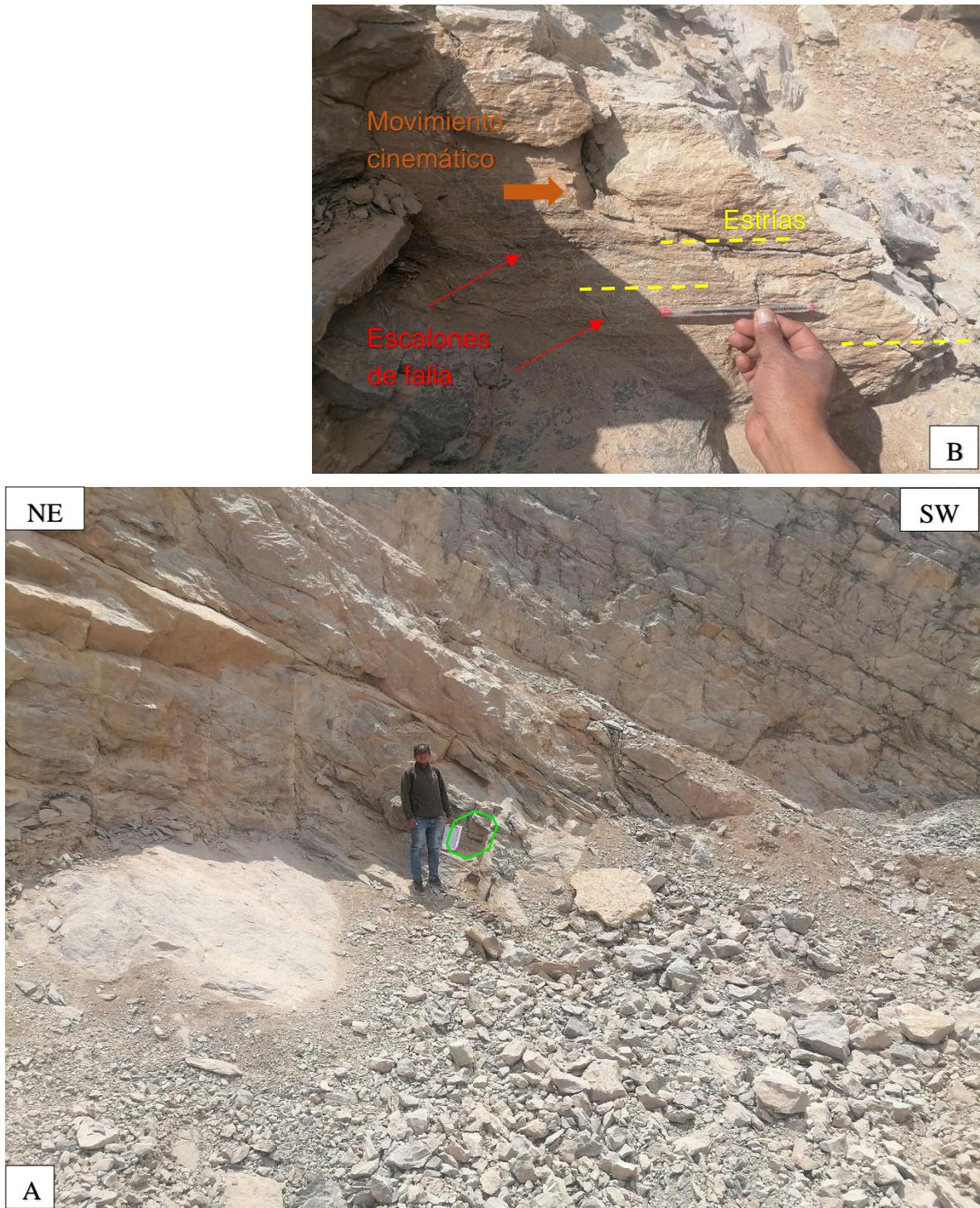


Figura 3.6. A. Espejo de falla normal sinistral, con orientación Az/Bz = N154°/63°SE, en roca caliza. B. Datum de cinemático del plano de falla, cortando transversalmente a afloramiento rocoso calcáreo.

Por consiguiente, en la zona NE, se evidencio concentraciones de cobre como: Covelina, calcopirita, pirita y bornita, concentrados de manera concéntrica 2 cm. a 4cm. formando geodas en la roca caliza cortando transversalmente con orientación WNW a ESE, a la secuencia estratigráfica, en forma de clavo invertido,

observándose 2.50 m. del pie de talud del tajo, proyectándose por debajo de la plataforma de seleccionamiento.

Así mismo las estructuras menores lo conforman tres discontinuidades delimitadas orientación: N33°/41°SW, N284°/68°NE, N192°/54°NW, constituyendo blocosidades: Cúbicas y tabulares, por ser rocas de calidad: Buena a muy buena, así mismo el alto buzamiento está ocasionando caídas de rocas constantemente por presentar la orientación de la junta principal a favor de la cara libre del tajo de explotación.

3.6 MORFOGÉNESIS

La geomorfología correspondiente a alineamiento tectónicos de anticlinal y sinclinales, ubicándose las instalaciones mineras no metálicas en el flanco izquierdo del anticlinal por el modelamiento morfotopométrico del Cretáceo Superior y acumulación paulatina de los Depósitos Cuaternarios del Holoceno. La morfogénesis del área de estudio está constituida por: Planicie, lomada y ladera, incidiendo la meteorización: Física, química y biológica, en el afloramiento rocoso, observándose la geomorfología actual que presenta el área de estudio. Siendo la principal unidad: Ladera y escarpa, desde la cota: 2,737 msnm. a 2,803 msnm. ubicándose el Tajo de explotación en afloramiento de roca caliza, siendo la principal abastecedora de materia prima para obtener la cal apagada, así mismo por la constante extracción de roca viene hacer un talud presentando pendientes desde: 70° a 75°, ocasionando constantes rupturas: Planares y cuñas (Directas e indirectas), a favor de la cara libre del Tajo, relacionados con las caídas de rocas, siendo una zona muy insegura por su alto buzamiento y gran espesor de rocas calizas desde: 0.30 m. a 0.60 m.

Por consiguiente, las unidades morfogenéticas de menor pendiente son: Planicies y lomadas, se ubican desde a la cota: 2,737 msnm. a 2,692 msnm., siendo el sector formado por acumulaciones de Depósitos Cuaternarios: Antrópicos Eluviales y Deluviales; ubicándose en las partes bajas de las instalaciones mineras, litológicamente constituidos por: Bloques, bolones, gravas, arenas y finos; definidas por el área de beneficio constituidas por: Hornos de calcinación, oficinas,

guardianía, área de parqueo, zona pesada, área residuos sólidos, S.S.H.H., área de molienda, faja transportadora, seleccionamiento de cal, Almacén de sustancia peligrosas, hospedaje, almacén de sustancias toxicas, almacén de herramientas y taller. Presentando pendientes desde: 0° a 16° con geoformas: planas a semi onduladas, formando en algunos casos terrazas por la gran acumulación de Depósitos residuales, por la recuperación de área superficial. Así mismo el lado izquierdo se encuentra delimitado la cantera se encuentra delimitada por dos quebradas: Tres Quebradas – Norte, ubicada a distancia de 320 m. y río De La Quebrada ubicada a distancia de 1,160 m., formando valles aluviales, las secciones en forma de V.

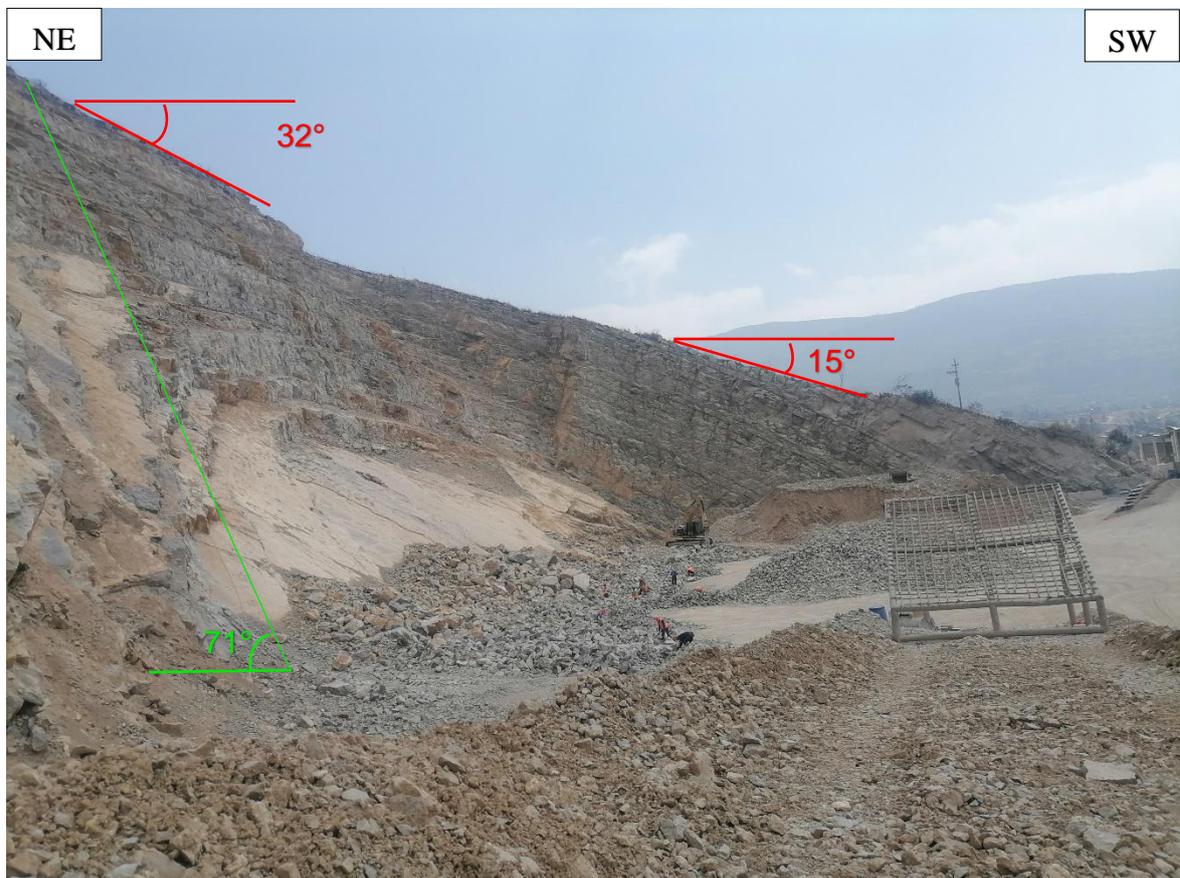


Figura 3.7. Vista de perfil o transversal del cerro con pendientes: 15° a 32° , conformando por el afloramiento de roca caliza en estado natural. Por consiguiente, por la extracción de caliza el tajo presenta buzamiento de 71° .



Figura 3.8. Visualización del área de beneficio emplazada en una lomada de ampliación, por recuperación de acumulación de desmontes en la parte posterior de las instalaciones, observándose: playa de estacionamiento y oficinas.

3.7 SISMICIDAD

La empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L., por las constantes actividades de extracción de roca caliza, generados por: Perforación y voladura, siendo de vital importancia para generar escombros de roca, manifestándose en vibraciones: horizontal (S_H) y vertical (S_V), que afectan progresivamente al afloramiento rocosos calcáreo desde: Pie hasta la cresta de talud, de la parte continua del medio plástico por la redistribución tensional; ocasionando inestabilidades progresivas, visualizándose y manifestando por las caídas de rocas desde la parta alta el talud afectando las áreas de cuarteado y seleccionamiento, constituyendo el área de explotación. Las manifestaciones son representadas por la energía microsísmica por ondas: Compresión y tracción; de magnitud leve < 1.0 equivalente a energía TNT de 170 gr. (Richter, 1935) y Escala de Mercalli, intensidad III – Menor intensidad (Wood y Newmann, 1931). Obteniendo resultado de los valores sísmicos con probabilidad de cambio espectral de cada estación geomecánica valores del diseño sismorresistente: Factor de zona $Z_2 = 0.25g$, Perfil de roca: S1 Roca con

ondas de corte 500 m/s a 1,500 m/s, Factor de suelos $S = 1.00$, período de $T_P = 0.40$ y $T_L = 2.50$.

Tabla 3.2. Aceleración sísmica de las estaciones geomecánicas - empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L.

Aceleración espectral	Estación geomecánica			
	E-1	E-2	E-3	E-4
S_H	0.405	0.359	0.526	0.492
S_V	0.752	0.673	0.749	0.681

3.8 GEOMECANICA DE TAJO

La caracterización geomecánica del tajo mediante cartografiados: Cualitativos y cuantitativos, por los criterios empíricos: RQD, RMR y GSI, por el grado de fracturamiento y afectación del macizo rocoso, fue correlacionándolo por: Alto grado de pendiente del talud y estrato a favor del talud, está ocasionando fallamientos: Planares, cuñas y vuelcos; siendo corroborados por modelos numéricos o matemáticos por: RocData, Dips, RocPlane y swedge; en cada estación geomecánica visualizando la probabilidad de ruptura o fallamiento y FS.

Actualmente las caídas de rocas son mucho más frecuentes en el tajo. Así mismo los resultados muestran alto grado de inestabilidad que ocurre en las cuatro estaciones. Partiendo de las teorías: Hoek-Brown y Morh-Columb, generalizado por no ser rocas intactas, delimitados por: Medio discontinuo o anisotrópico, que conforma el tajo de explotación.

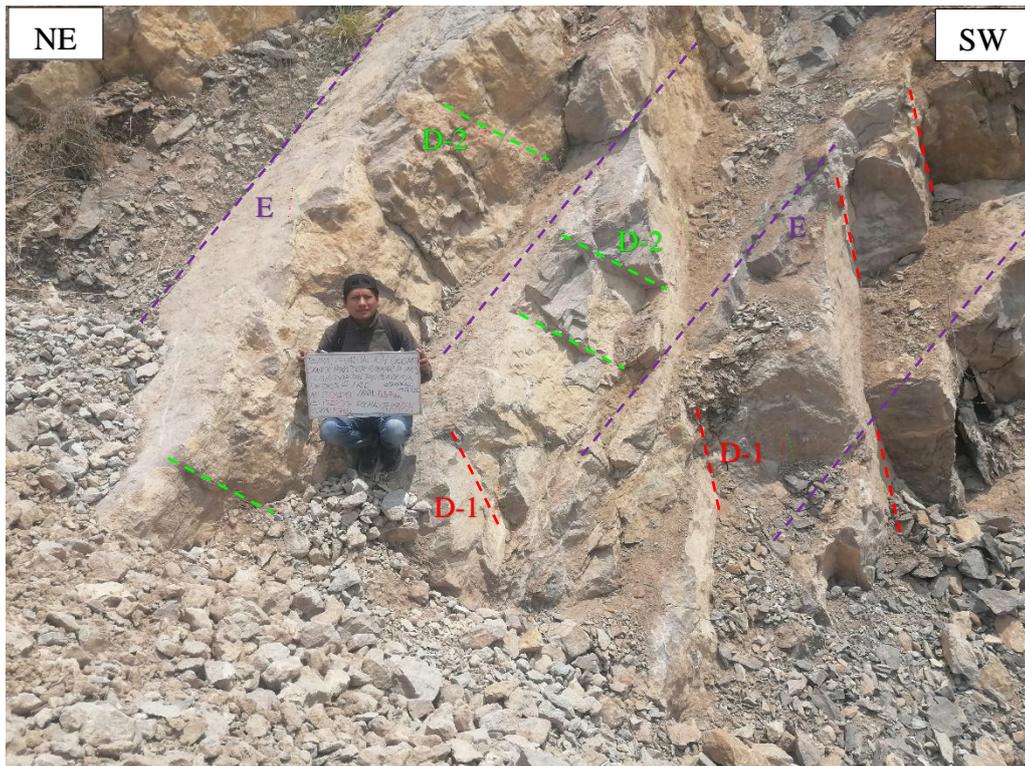


Figura 3.9. Afloramiento rocoso de la EG-01, constituido y delimitado por tres discontinuidades a favor del talud formando fallamientos: Planares y cuñas, inestables.

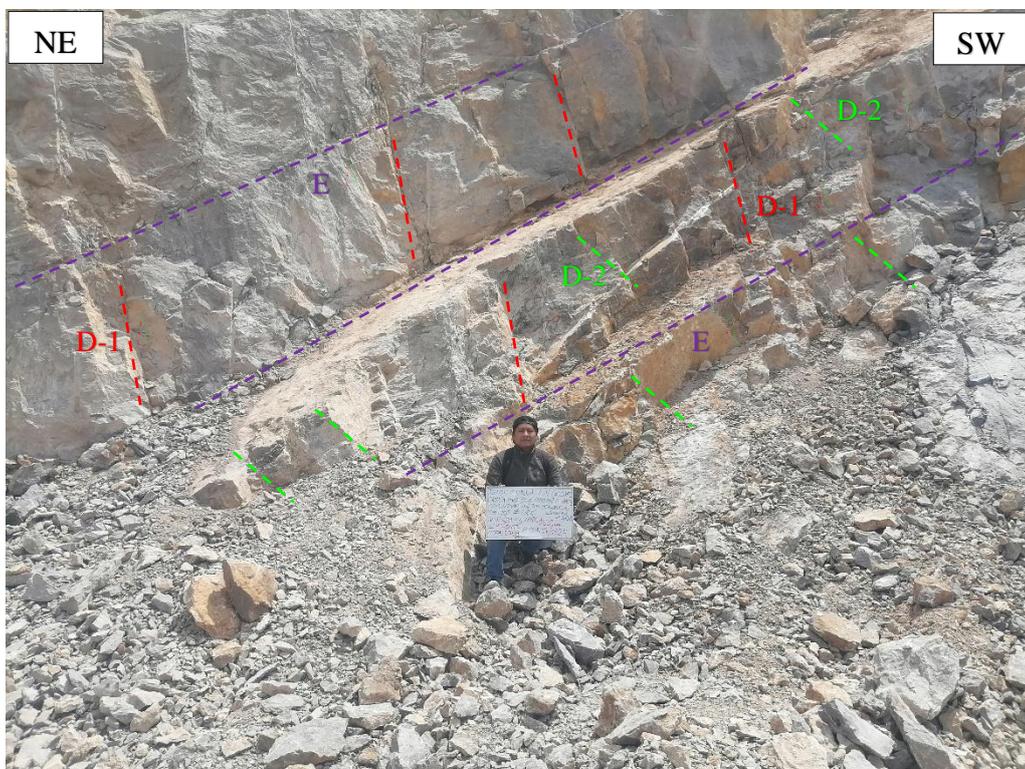


Figura 3.10. Afloramiento rocoso de la EG-02, delimitado por tres discontinuidades a favor del talud formando fallamientos: Planares y cuñas, de inestabilidad por alto grado de buzamiento y estar a favor de la cara libre del tajo.

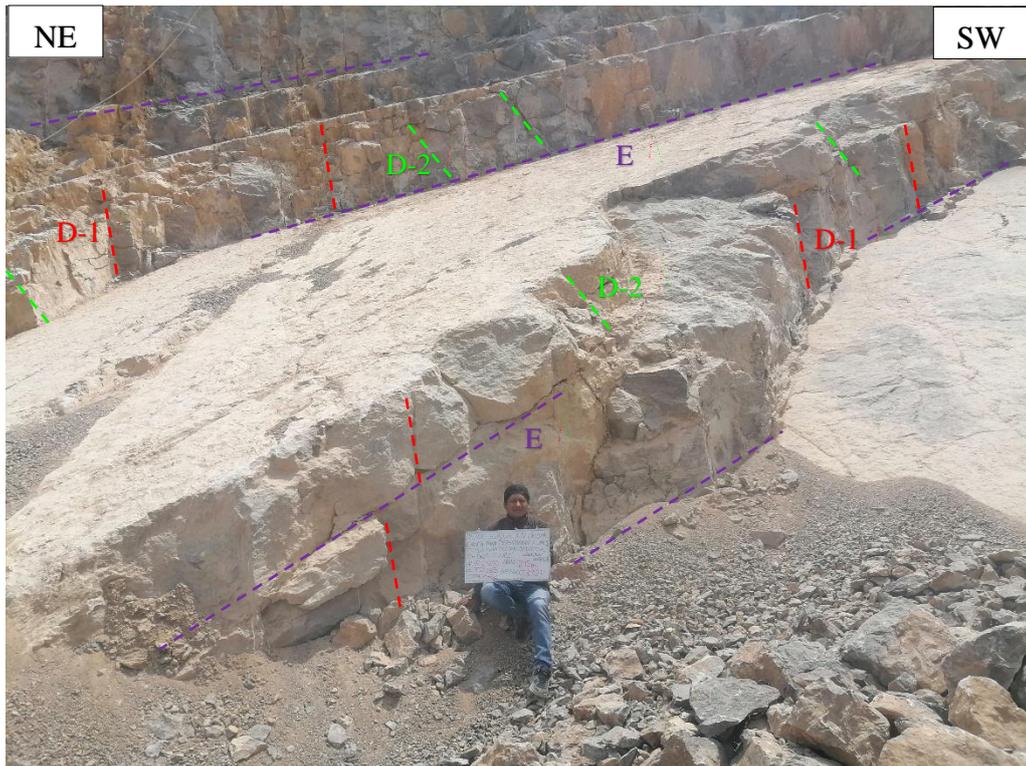


Figura 3.11. Afloramiento rocoso calcáreo de la EG-03, delimitado por tres discontinuidades a favor del talud formando fallamientos: Planares y cuñas, ocasionando constantes caídas de rocas, ocasionando incertidumbre a los trabajadores por la inestabilidad.

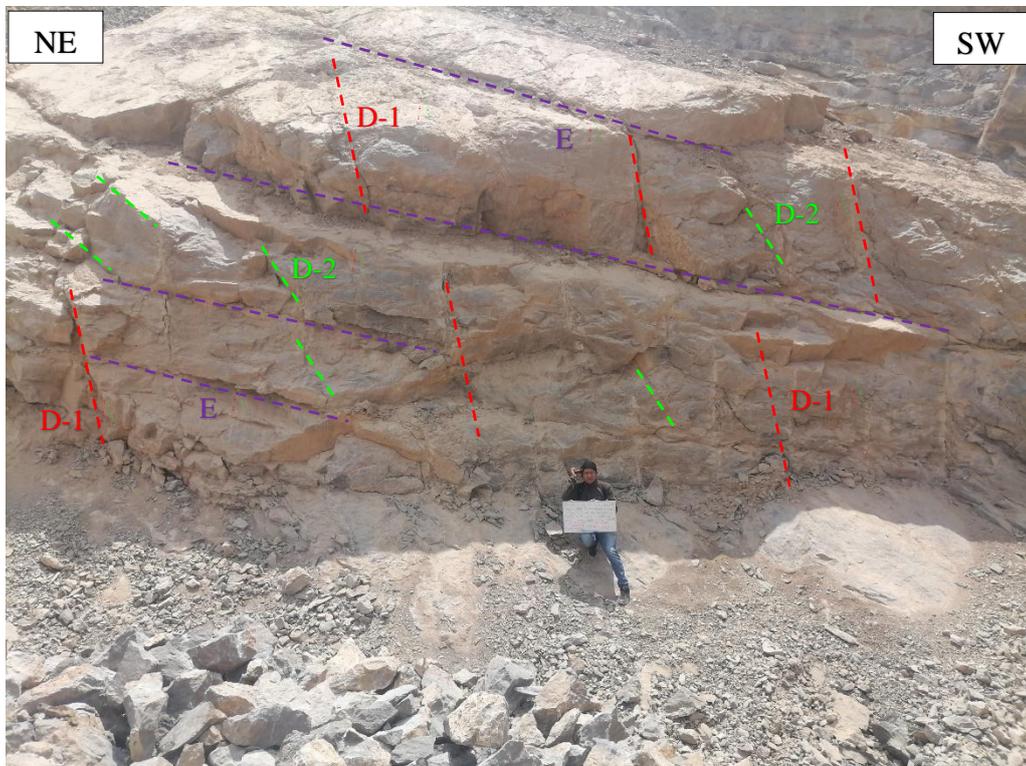
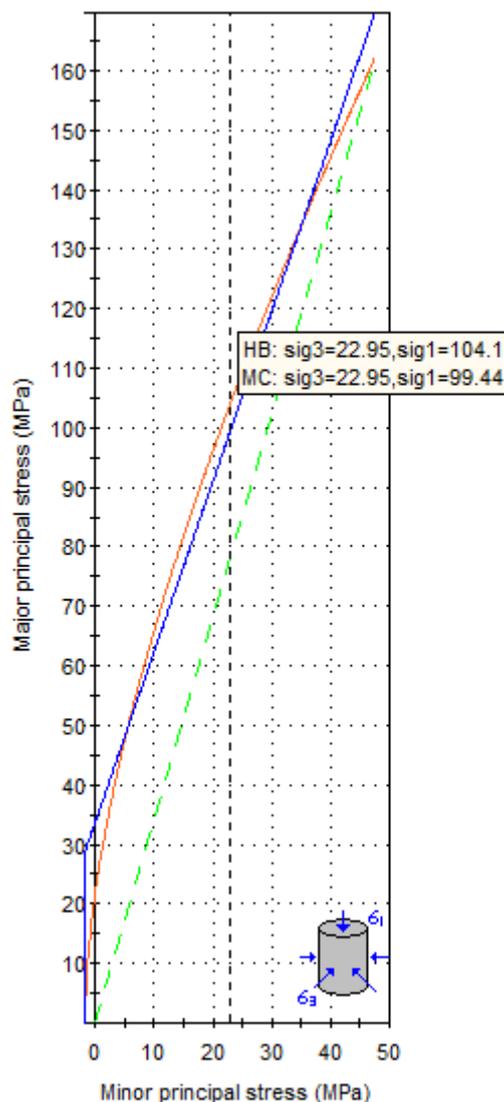


Figura 3.12. Afloramiento rocoso de la EG-04, delimitado por tres discontinuidades a favor del talud formando fallamientos: Planares y cuñas, ocasionando inestabilidad por alto grado de buzamiento y estar a favor de la cara libre del tajo.

3.8.1 ESTACIÓN GEOMECANICA 01

El talud presenta $H = 25$ m. conformada secuencias de caliza micrita, de orientación $Az/Bz = N38^\circ/40^\circ SE$ de grosor 0.50 m. a 0.65 m. con meteorización fresca, de fracturamiento baja, con superficies de rugosidad: Ligeramente rugosa a Ondulada-lisa y humedad natural: seca. Obteniendo parámetros de estimación: $RQD = 87.57\%$ y $RMR = 79$, siendo de roca de calidad buena. Geométricamente la sección de corte y pendiente de talud está a favor de la cara libre originando ruptura: Planar y cuña, ocasionando constantes caídas de rocas $> 25\%$ de inestabilidad, con $FS < 1.50$, demostrando el grado inseguridad para los trabajadores del tajo.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 190 MPa

GSI = 74 $m_i = 9$ Factor de disturbancia = 1.00

Módulo intacto (E_i) = 180,500 MPa

Criterio Hoek - Brown

$m_b = 1.41$ $s = 0.01$ $a = 0.505$

Mohr - Coulomb

Cohesión = 9.98 MPa Ángulo de fricción = 28.82°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -1.77 MPa

Resistencia compresión uniaxial = 21.67 MPa

Resistencia global = 30.77 MPa

Módulo de deformación = 46,685.28 MPa

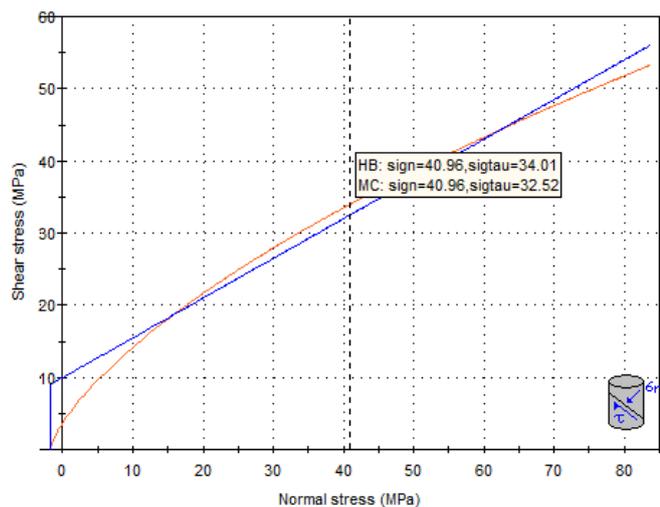


Figura 3.13. Método equivalencia de áreas – RocData, en función de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); Calera Bendición de Dios E.I.R.L., EG-01.

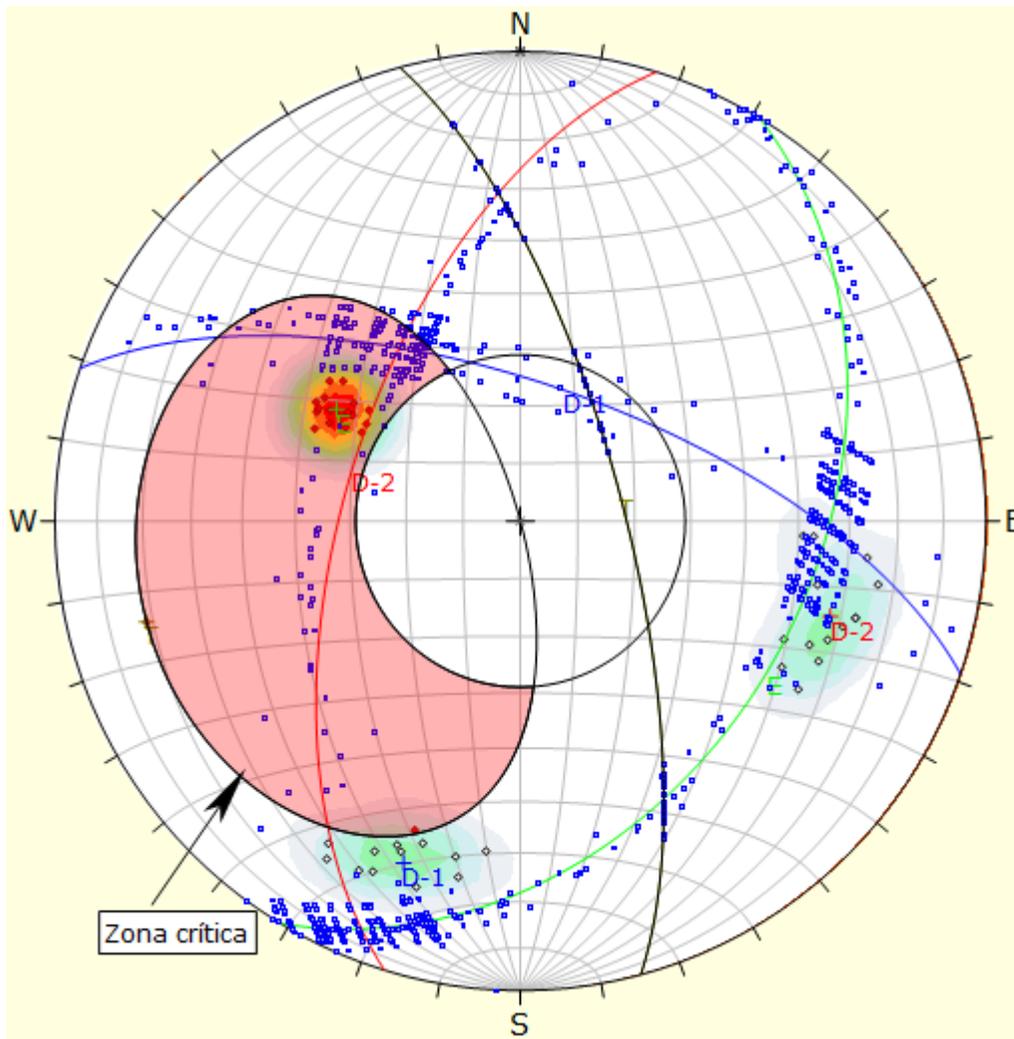


Figura 3.14. Probabilidad de fallamiento planar siendo el 42.22% a favor del talud en función del estrato, generando 19 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-01.

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		34.73%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		72°	
Slope Dip direction		75°	
Friction angle		29°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	19	45	42.22%
	Color	Dip	Dip direction
			Label
User planes			
1	■	38°	121°
2	■	66°	19°
3	■	59°	287°
4	■	72°	75°
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		989	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

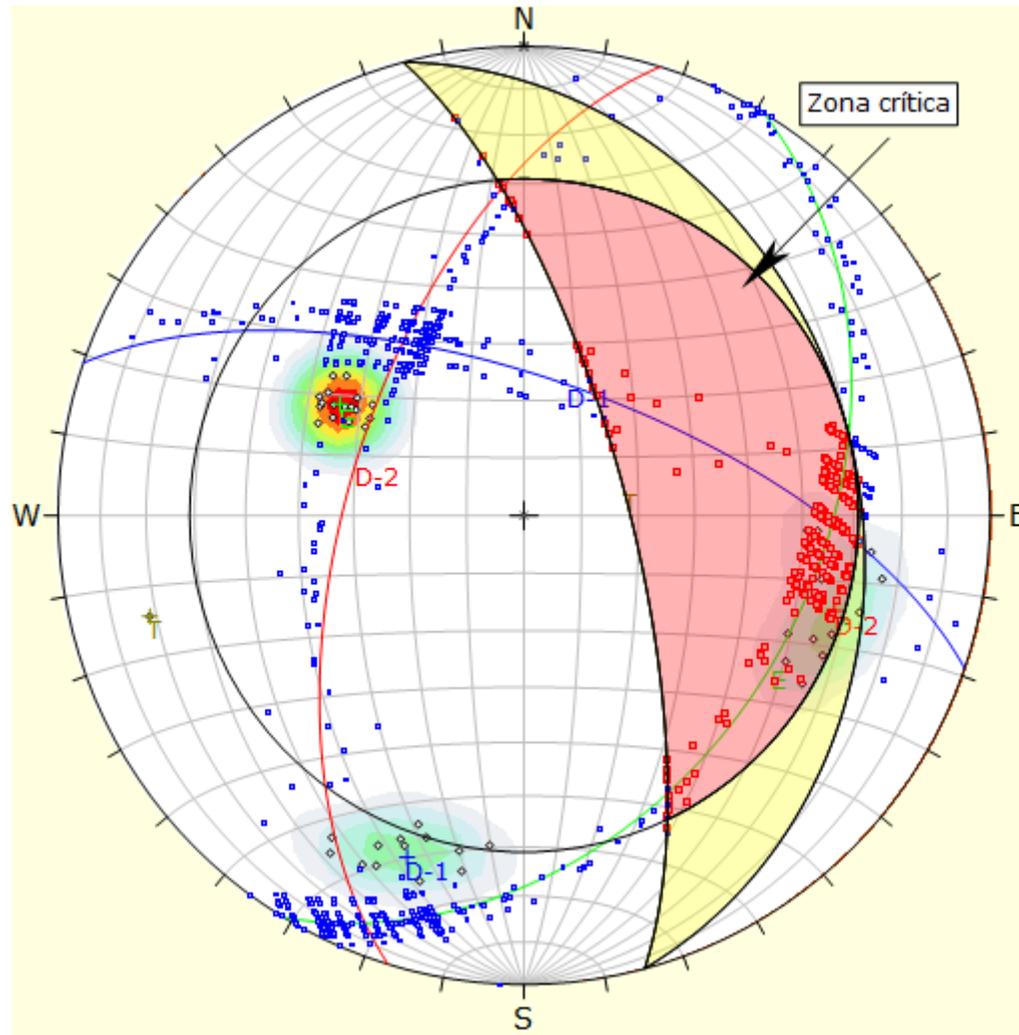


Figura 3.15. Probabilidad de fallamiento por cuña de 28.41% por intersección de juntas: E vs. D-1, generando 284 rupturas críticas del total de 989 intersecciones. EG-01.

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		34.73%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Wedge sliding	
Slope dip		72°	
Slope Dip direction		75°	
Friction angle		29°	
	Critical	Total	%
Wedge sliding	281	989	28.41%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	38°	121° E
2	■	66°	19° D-1
3	■	59°	287° D-2
4	■	72°	75° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		989	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

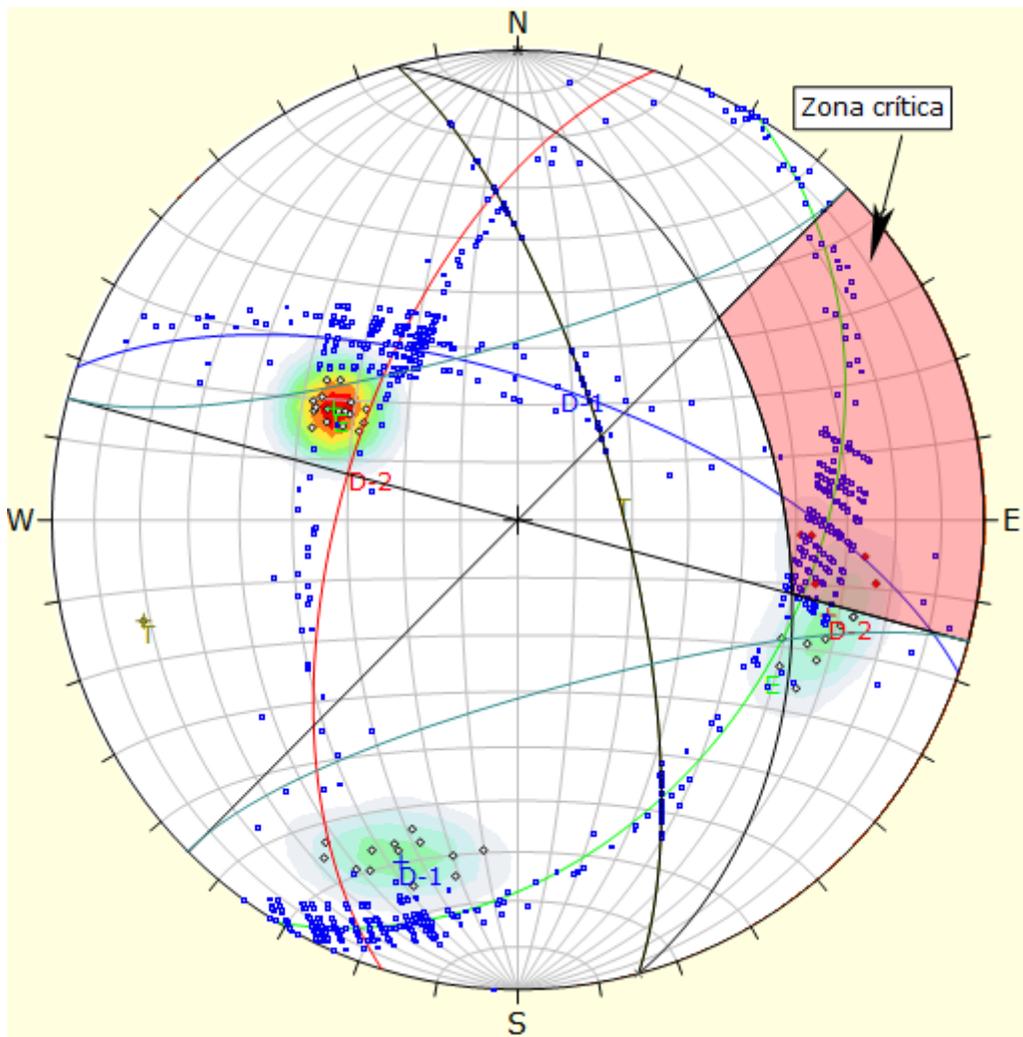


Figura 3.16. Probabilidad de fallamiento por vuelco siendo el 11.11% a favor del talud en función de la junta D-2, generando 5 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-01.

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		34.73%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Flexural toppling	
Slope dip		72°	
Slope Dip direction		75°	
Friction angle		29°	
Lateral limits		30°	
	Critical	Total	%
Flexural toppling (All)	5	45	11.11%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	38°	121° E
2	■	66°	19° D-1
3	■	59°	287° D-2
4	■	72°	75° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		989	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

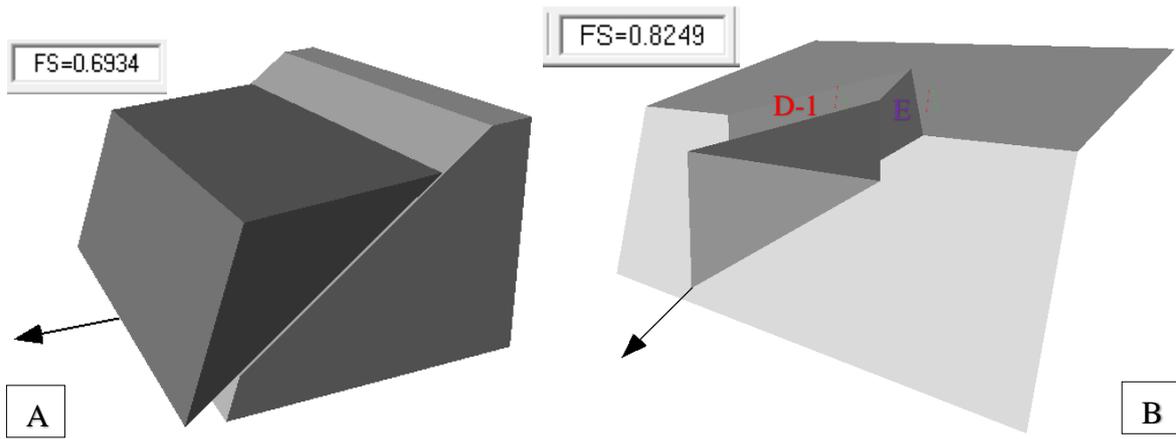


Figura 3.17. A. Block diagrama en 3D proyectando al estrato generando inestabilidad en el talud por ruptura planar; y B. Block diagrama del macizo rocoso en 3D mostrando la ruptura en cuña, mediante la intersección de juntas: E vs. D-1; en condiciones $FS_{\text{Saturadas + sismicidad}} = 0.82$. EG-01.

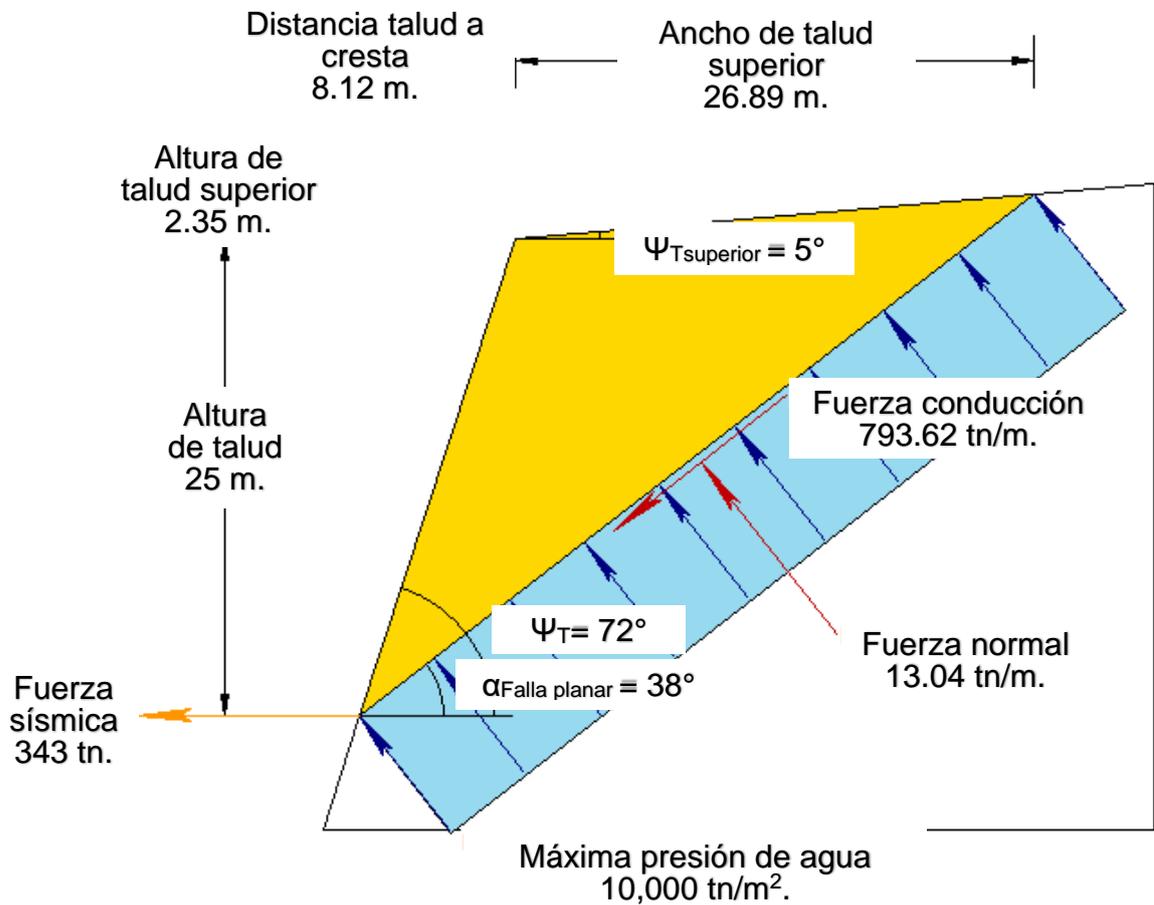


Figura 3.18. Gráfica de dimensionamiento en 2D del estrato por ruptura planar, en condiciones $FS_{\text{Saturadas + sismicidad}} = 0.69$. EG-01.

3.8.2 ESTACIÓN GEOMECANICA 02

El cartografiado geomecánico muestra que está constituida por roca caliza de buena calidad compuesta por tres discontinuidades, con valores geomecánicos: RQD = 88.74% y RMR = 81, con espesor de roca caliza: 0.50 m. a 0.65 m., presentando persistencia > 25 m. subvertical por: Orientación de estratos y sección de corte; a favor del talud ocasionado caídas de rocas plasmadas por rupturas: Planares y cuñas, generándose en este sector mayor rupturas por cuña que planar superando el 30% de probabilidad de ruptura, así mismo el FS < 1.50 por su alta inestabilidad. Así mismo utilizando los criterios: Hoek-Brown y Morh-Coulomb, se obtuvo las constantes elásticas de la roca caliza para modelos matemáticos.

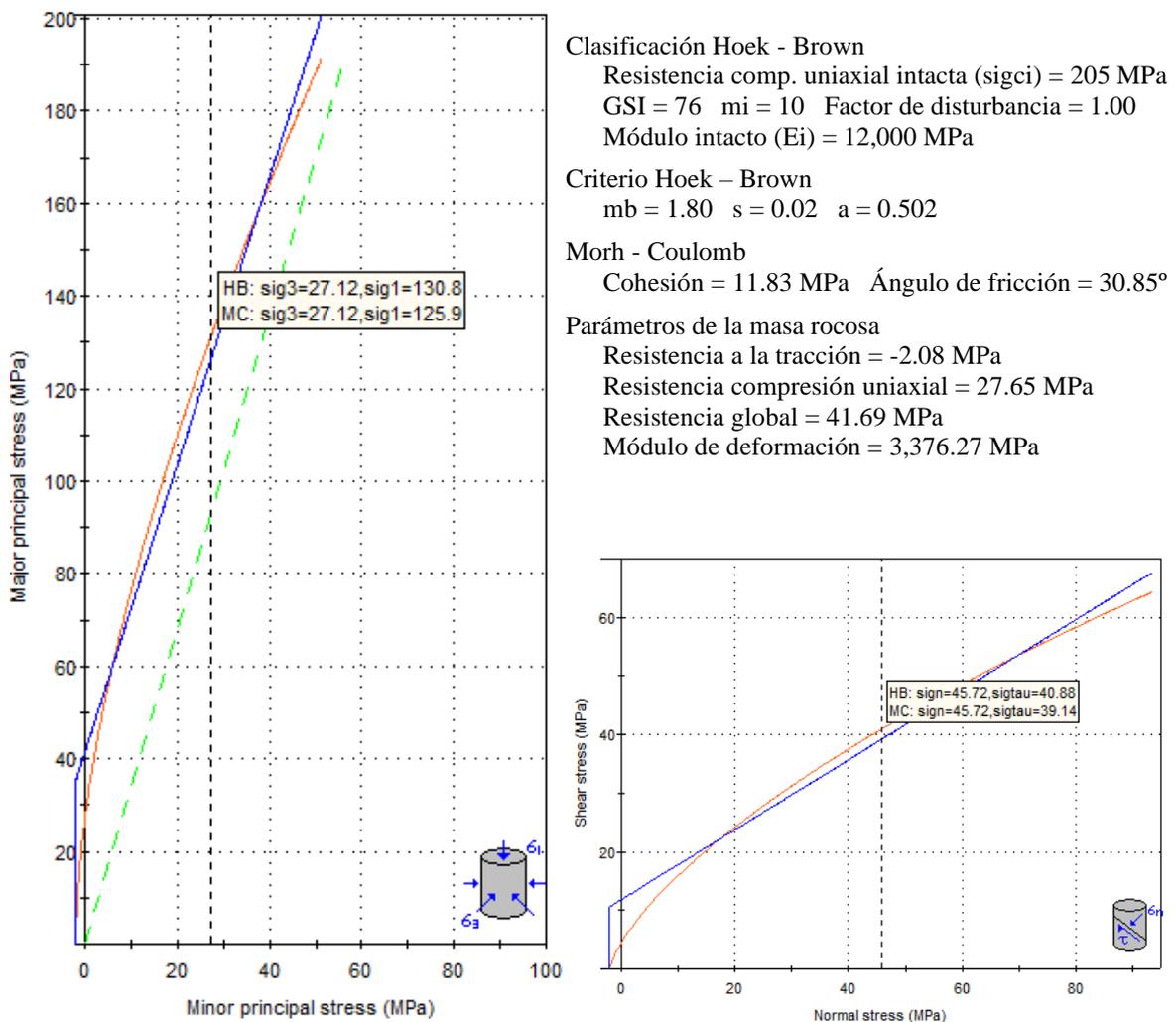


Figura 3.19. Método equivalencia de áreas – RocData, en función de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); Calera Bendición de Dios E.I.R.L., EG-02.

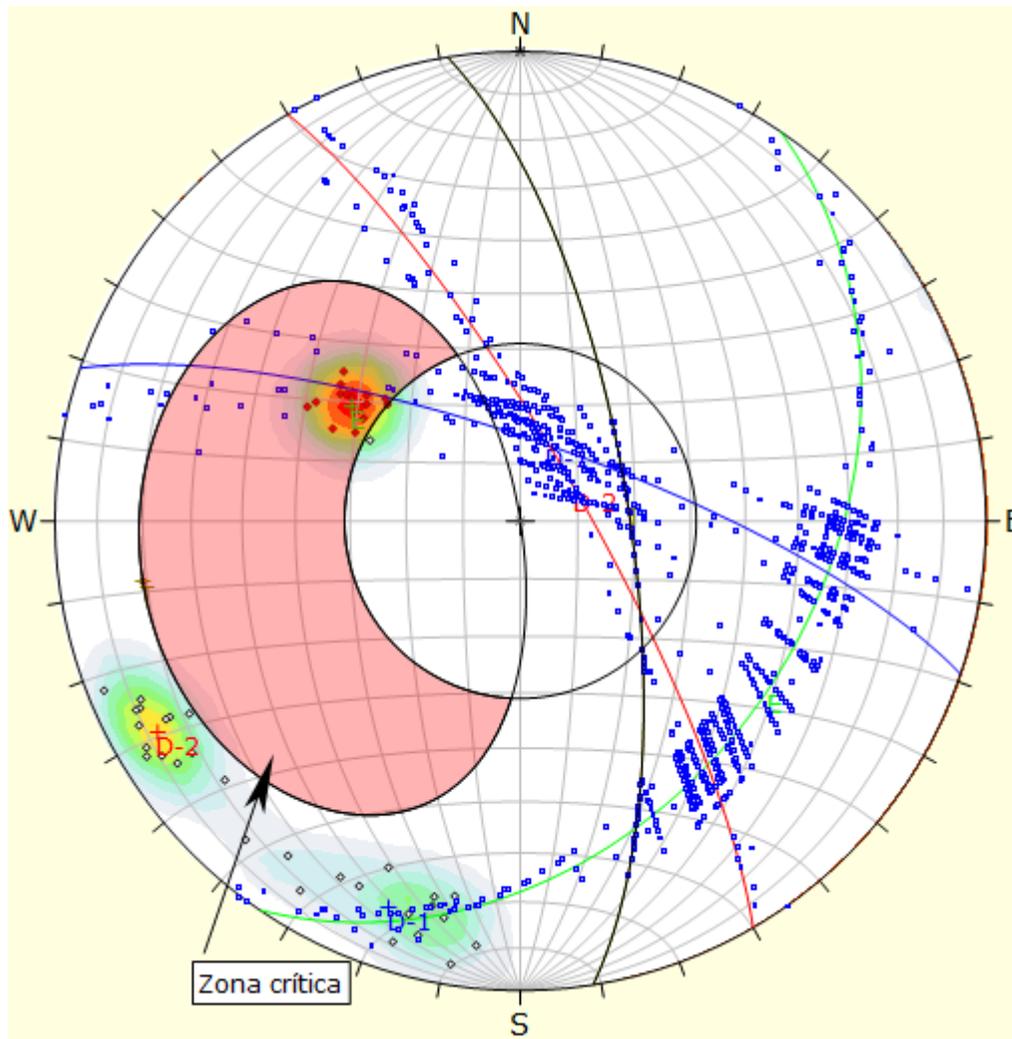
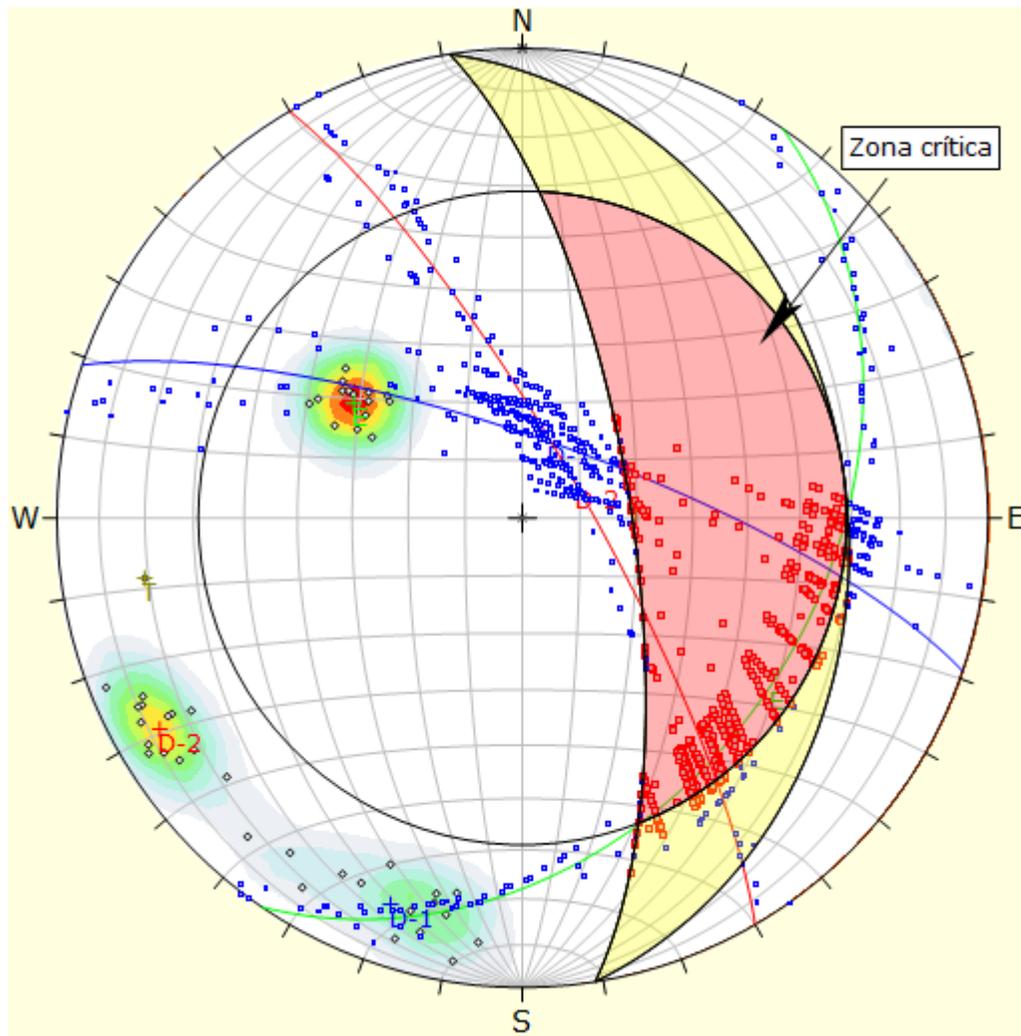


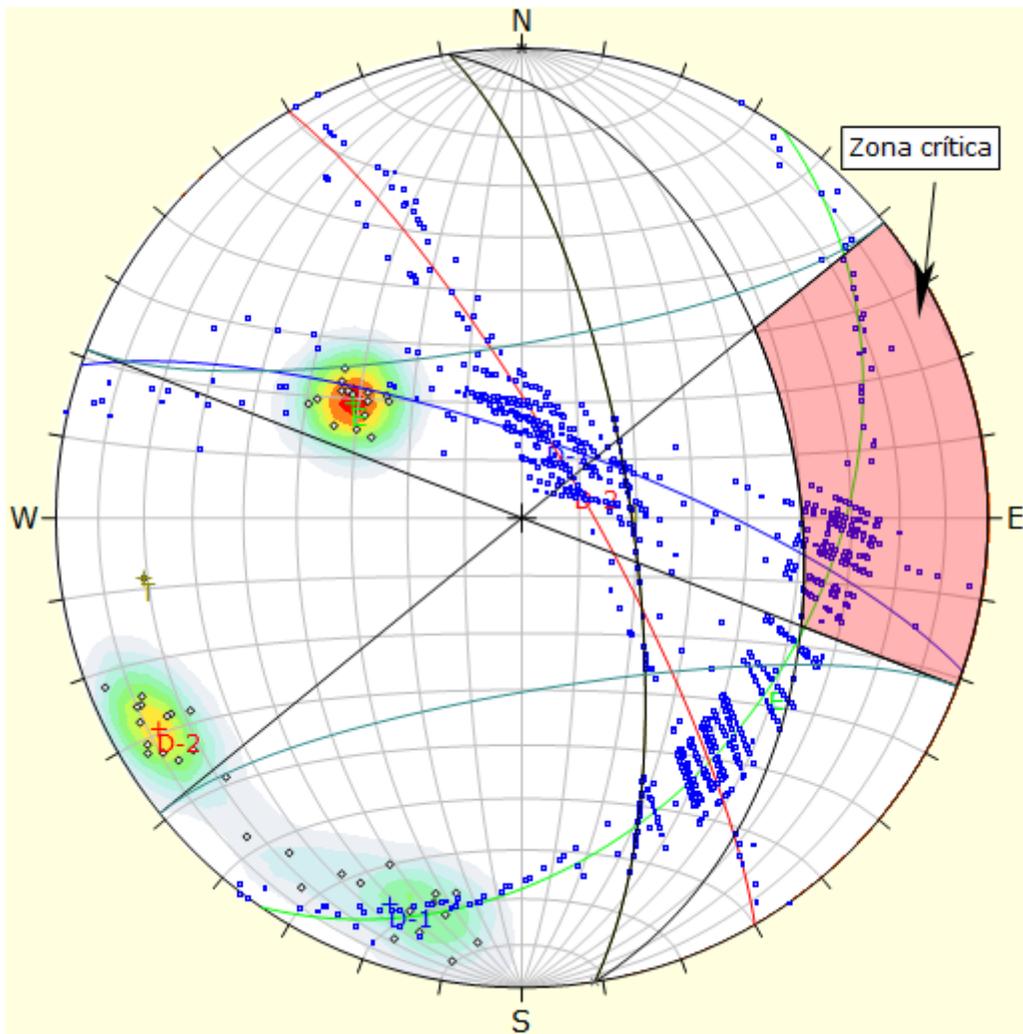
Figura 3.20. Probabilidad de fallamiento planar siendo el 33.33% a favor del talud en función del estrato, generando 15 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-02.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.90		
	2.90 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.10		
	26.10 - 29.00		
Maximun density		28.50%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		71°	
Slope Dip direction		81°	
Friction angle		31°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	15	45	33.33%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	36°	124° E
2	■	76°	19° D-1
3	■	79°	60° D-2
4	■	71°	81° 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 intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.60		
	2.90 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.00		
	26.10 - 29.00		
Maximun density		28.50%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Wedge sliding	
Slope dip		71°	
Slope Dip direction		81°	
Friction angle		31°	
	Critical	Total	%
Wedge sliding	464	990	44.87%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	36°	124° E
2	■	76°	19° D-1
3	■	79°	60° D-2
4	■	71°	81° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		990	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

Figura 3.21. Probabilidad de fallamiento por cuña de 44.87% por intersección de juntas: E vs. D-1, generando 464 rupturas críticas del total de 990 intersecciones. EG-02.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.60		
	2.90 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.10		
	26.10 - 29.00		
Maximun density	28.50%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Flexural toppling		
Slope dip	71°		
Slope Dip direction	81°		
Friction angle	31°		
Lateral limits	30°		
	Critical	Total	%
Flexural toppling (All)	0	45	0.00%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	36°	124° E
2	■	76°	19° D-1
3	■	79°	60° D-2
4	■	71°	81° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	45 (45 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	990		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.22. Probabilidad de fallamiento por vuelco siendo el 0.00% no generando ruptura, generando 0 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-02.

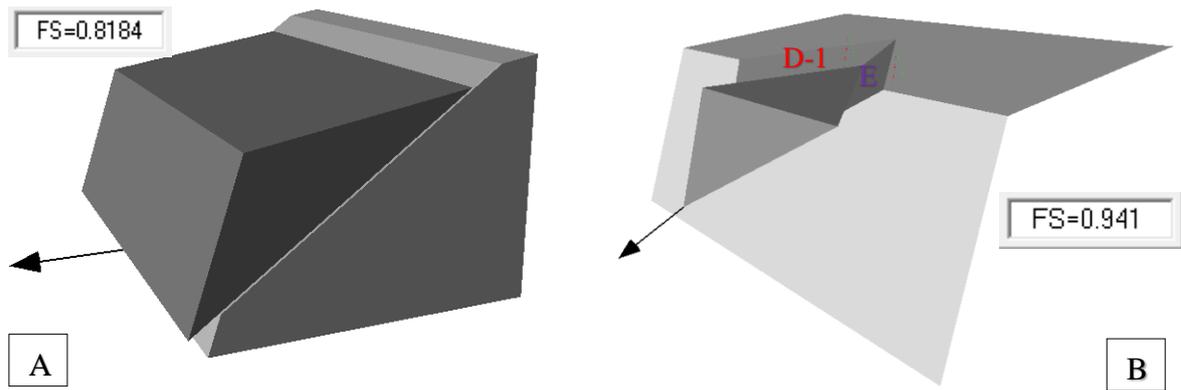


Figura 3.23. A. Block diagrama en 3D proyectando al estrato generando inestabilidad en el talud por ruptura planar, y B. Block diagrama del macizo rocoso en 3D mostrando la ruptura en cuña, mediante la intersección de juntas: E vs. D-1; en condiciones $FS_{\text{Saturadas + sismicidad}} = 0.941$. EG-02.

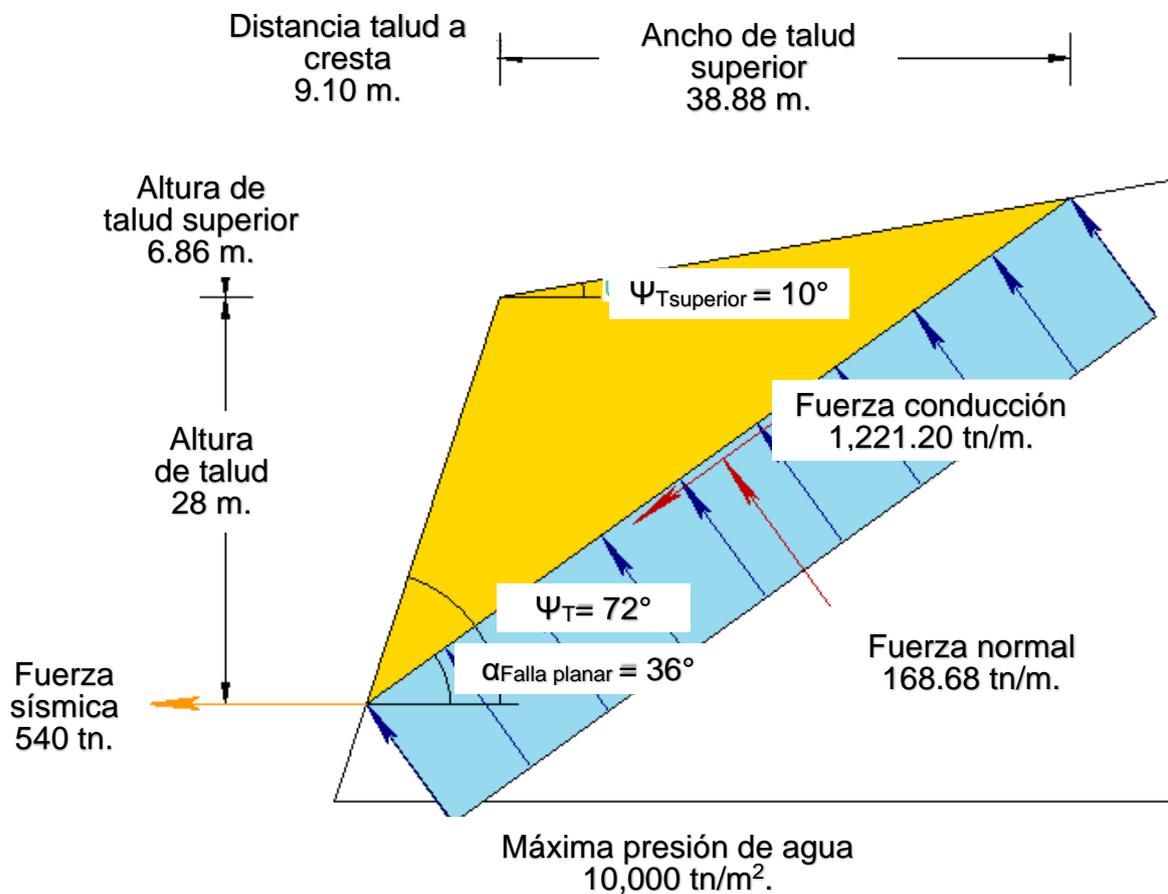


Figura 3.24. Gráfica de dimensionamiento en 2D del estrato por ruptura planar, en condiciones $FS_{\text{Saturadas + sismicidad}} = 0.818$. EG-02.

3.8.3 ESTACIÓN GEOMECANICA 03

La caracterización geomecánica muestra que es un afloramiento rocoso calcáreo de altura $H = 31.00$ m. y $\Psi_T = 70^\circ$, constituido por un medio discontinuo delimitado por tres discontinuidades de diferente orientación geoestructural. Así mismo aplicando los modelos numéricos muestran resultados confiables obteniéndose valores de probabilidad de ruptura $> 30\%$ y $FS < 1.50$, reflejando la realidad del tajo de explotación con la inestabilidad aplicando la geomecánica en la ingeniería de rocas. Por consiguiente, aplicando el método de equivalencia de área, muestra valores de presión de confinamiento: $\sigma_1 = 20.95$ MPa y $\sigma_3 = 80.45$ MPa

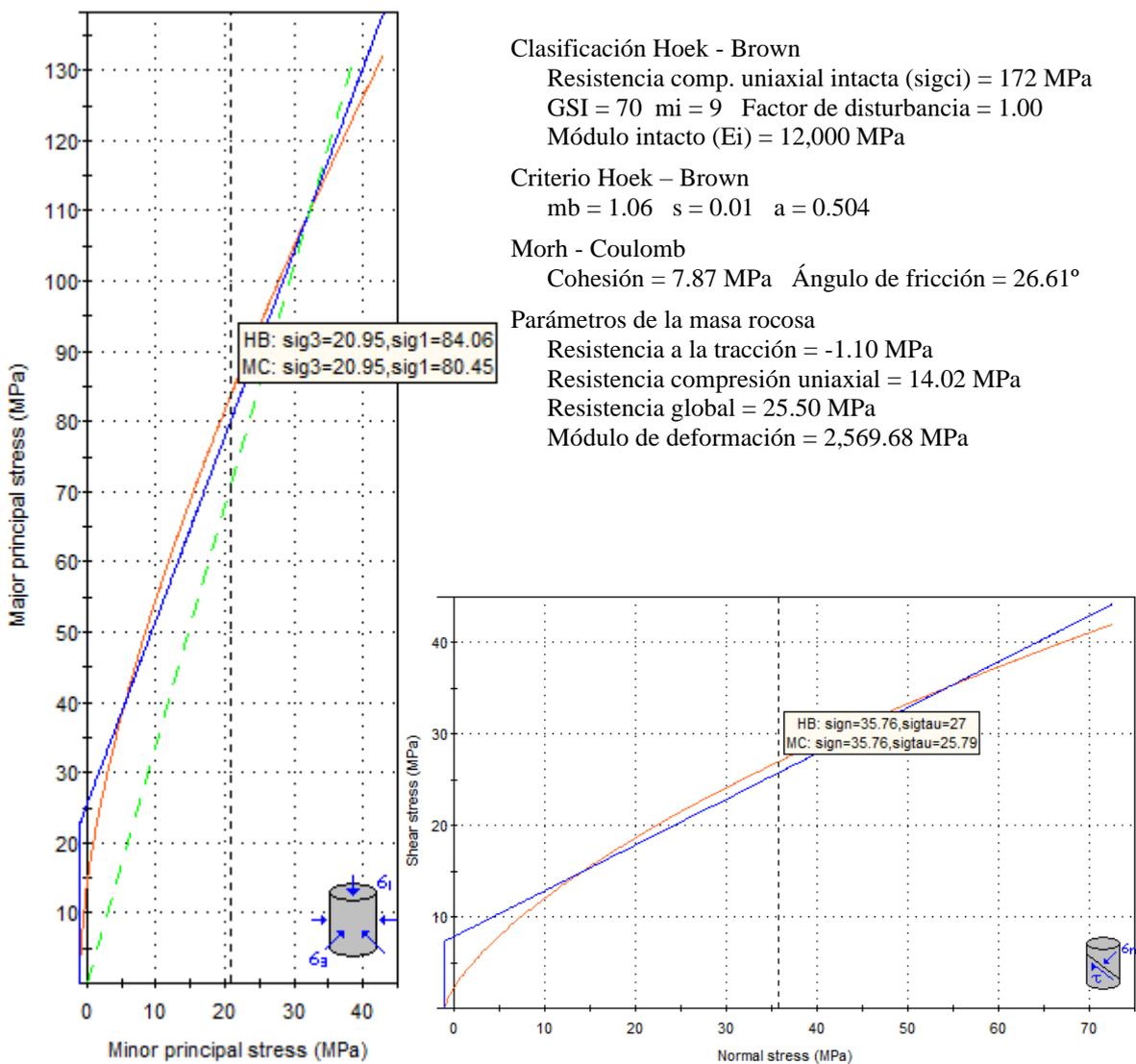


Figura 3.25. Método equivalencia de áreas – RocData, en función de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); Calera Bendición de Dios E.I.R.L., EG-03.

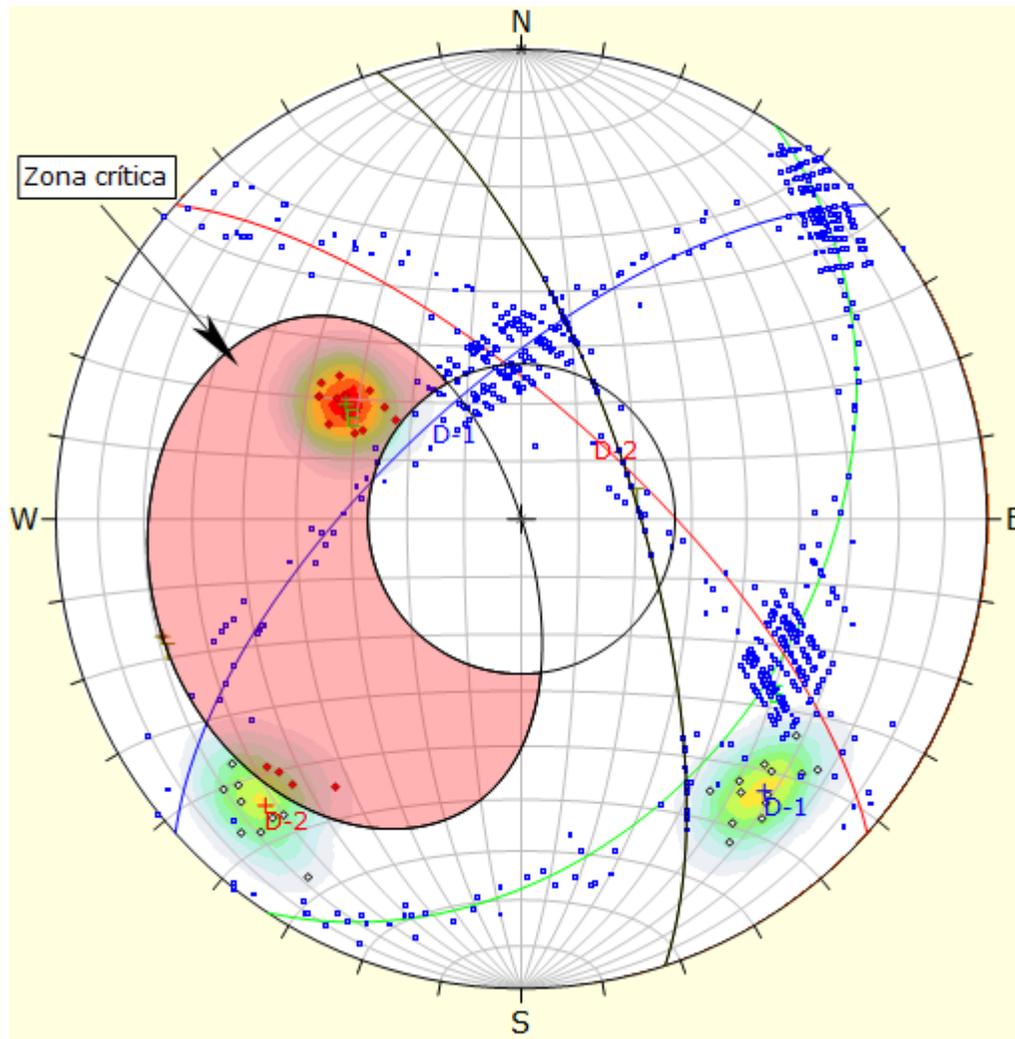


Figura 3.26. Probabilidad de fallamiento planar siendo el 46.34% a favor del talud en función del estrato, generando 19 rupturas críticas del total de 41 polos. EG-03.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.90		
	2.60 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.10		
	26.10 - 29.00		
Maximun density		28.87%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		70°	
Slope Dip direction		72°	
Friction angle		27°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	19	41	46.34%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	37°	123° E
2	■	67°	318° D-1
3	■	71°	42° D-2
4	■	70°	72° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		41 (41 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		819	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

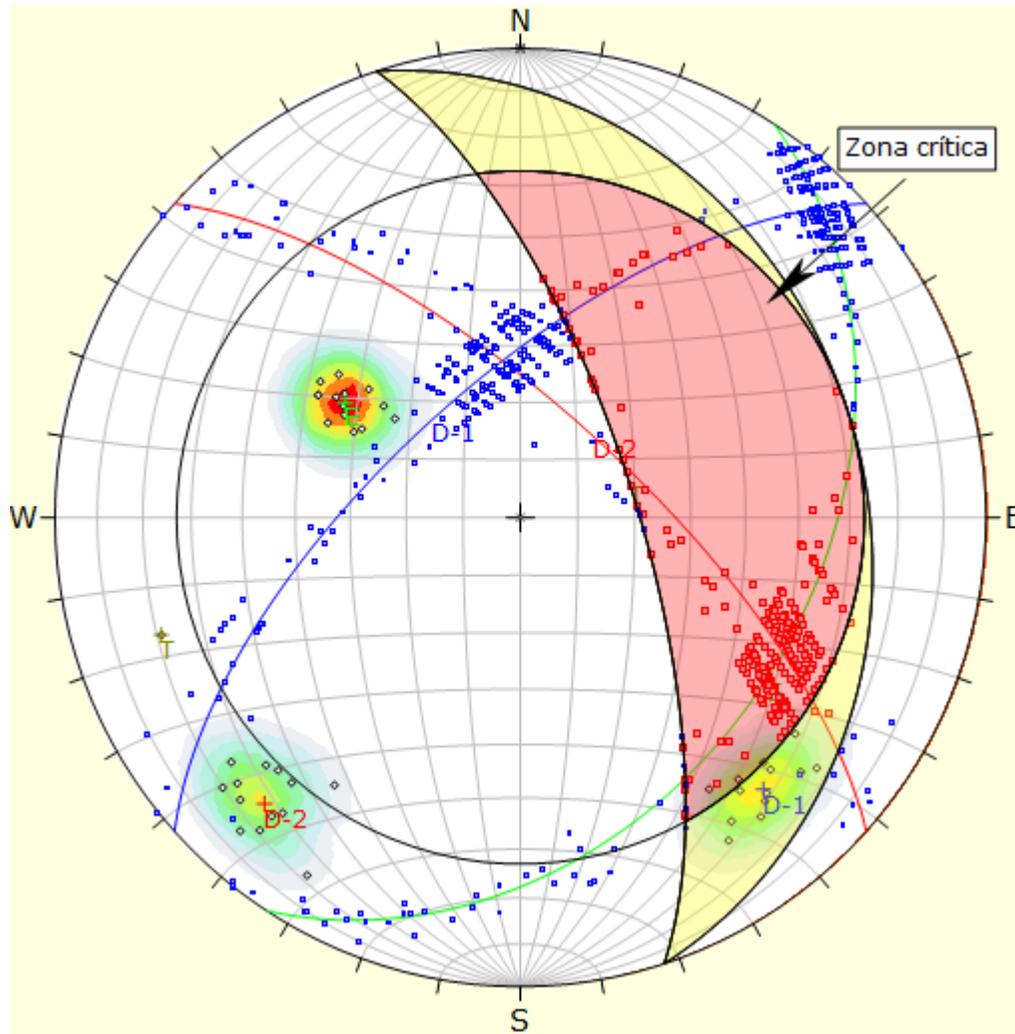


Figura 3.27. Probabilidad de fallamiento por cuña de 32.84% por intersección de juntas: E vs. D-2 y D-1 vs. D-2, generando 269 rupturas críticas del total de 819 intersecciones. EG-03.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
■	Critical intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.90		
	2.90 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.10		
	26.10 - 29.00		
Maximun density		28.87%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Wedge sliding	
Slope dip		70°	
Slope Dip direction		72°	
Friction angle		27°	
	Critical	Total	%
Wedge sliding	269	819	32.84%
	Color	Dip	Dip direction
	User planes		
1	■	37°	123° E
2	■	67°	318° D-1
3	■	71°	42° D-2
4	■	70°	72° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		41 (41 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		819	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

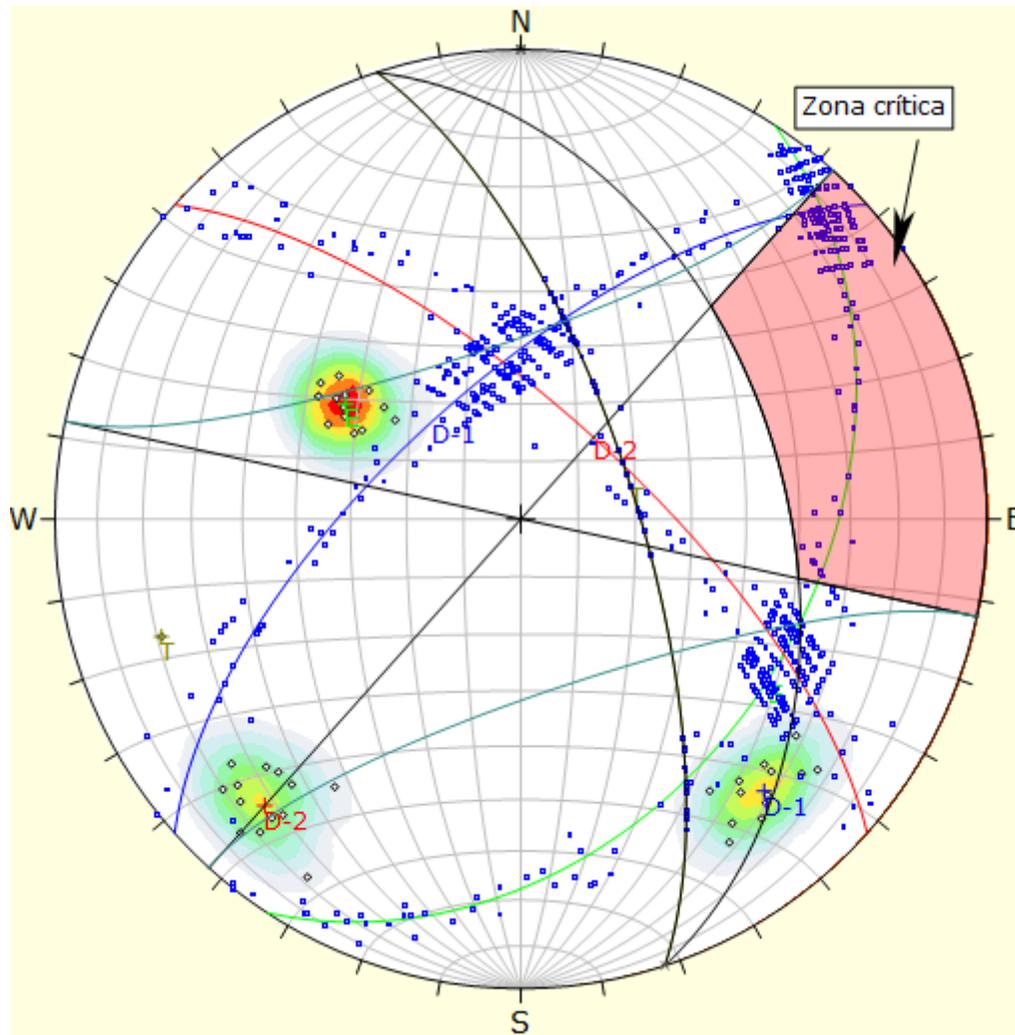


Figura 3.28. Probabilidad de fallamiento por vuelco siendo el 0.00% no generando ruptura, generando 0 rupturas críticas del total de 45 polos. EG-03.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.60		
	2.90 - 5.80		
	5.80 - 8.70		
	8.70 - 11.60		
	11.60 - 14.50		
	14.50 - 17.40		
	17.40 - 20.30		
	20.30 - 23.20		
	23.20 - 26.10		
	26.10 - 29.00		
Maximun density	28.87%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Flexural toppling		
Slope dip	70°		
Slope Dip direction	72°		
Friction angle	27°		
Lateral limits	30°		
	Critical	Total	%
Flexural toppling (All)	0	41	0.00%
	Color	Dip	Dip direction
	User planes		
1	■	37°	123°
2	■	67°	318°
3	■	71°	42°
4	■	70°	72°
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	41 (41 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	819		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

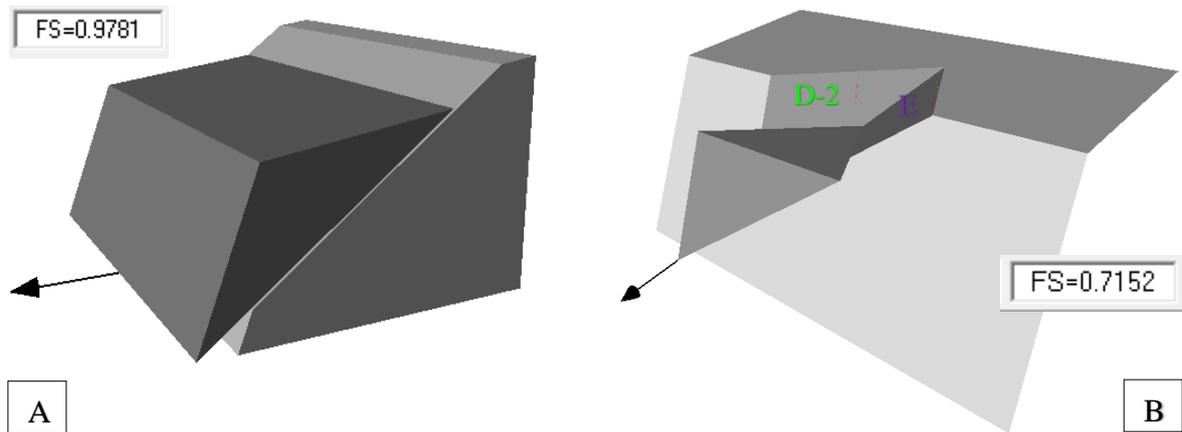


Figura 3.29. A. Block diagrama en 3D proyectando al estrato generando inestabilidad en el talud por ruptura planar, y B. Block diagrama del macizo rocoso en 3D mostrando la ruptura en cuña, mediante la intersección de juntas: E vs. D-2; en condiciones $FS_{\text{Saturadas + sismicidad}} = 0.7152$. EG-03.

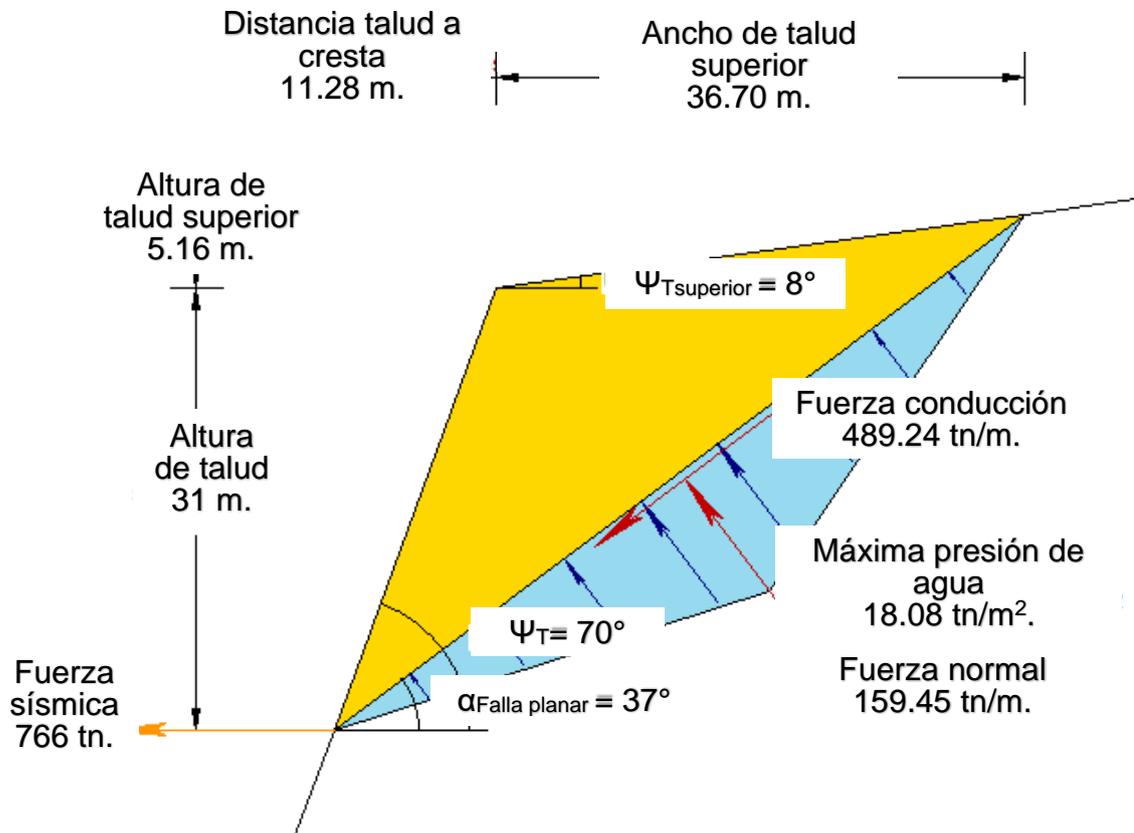


Figura 3.30. Gráfica de dimensionamiento en 2D del estrato por ruptura planar, en condiciones $FS_{\text{Saturadas + sismicidad}} = 0.9781$. EG-03.

3.8.4 ESTACIÓN GEOMECAICA 04

El talud presenta $H = 31$ m. conformada secuencias de caliza micrita, de orientación $Az/Bz = N26^\circ/44^\circ SE$ de grosor 0.45 m. a 0.75 m. con meteorización fresca, de fracturamiento baja, con superficies de rugosidad: Ondulada-lisa y humedad natural: seca. Obteniendo parámetros de estimación: $RQD = 83.47\%$ y $RMR = 77$, siendo de roca de calidad buena. Geométricamente la sección de corte y pendiente de talud está a favor de la cara libre originando ruptura: Planar y cuña, ocasionando constantes caídas de rocas $> 29\%$ de inestabilidad, con $FS < 1.50$, demostrando el grado inseguridad para los trabajadores del tajo.

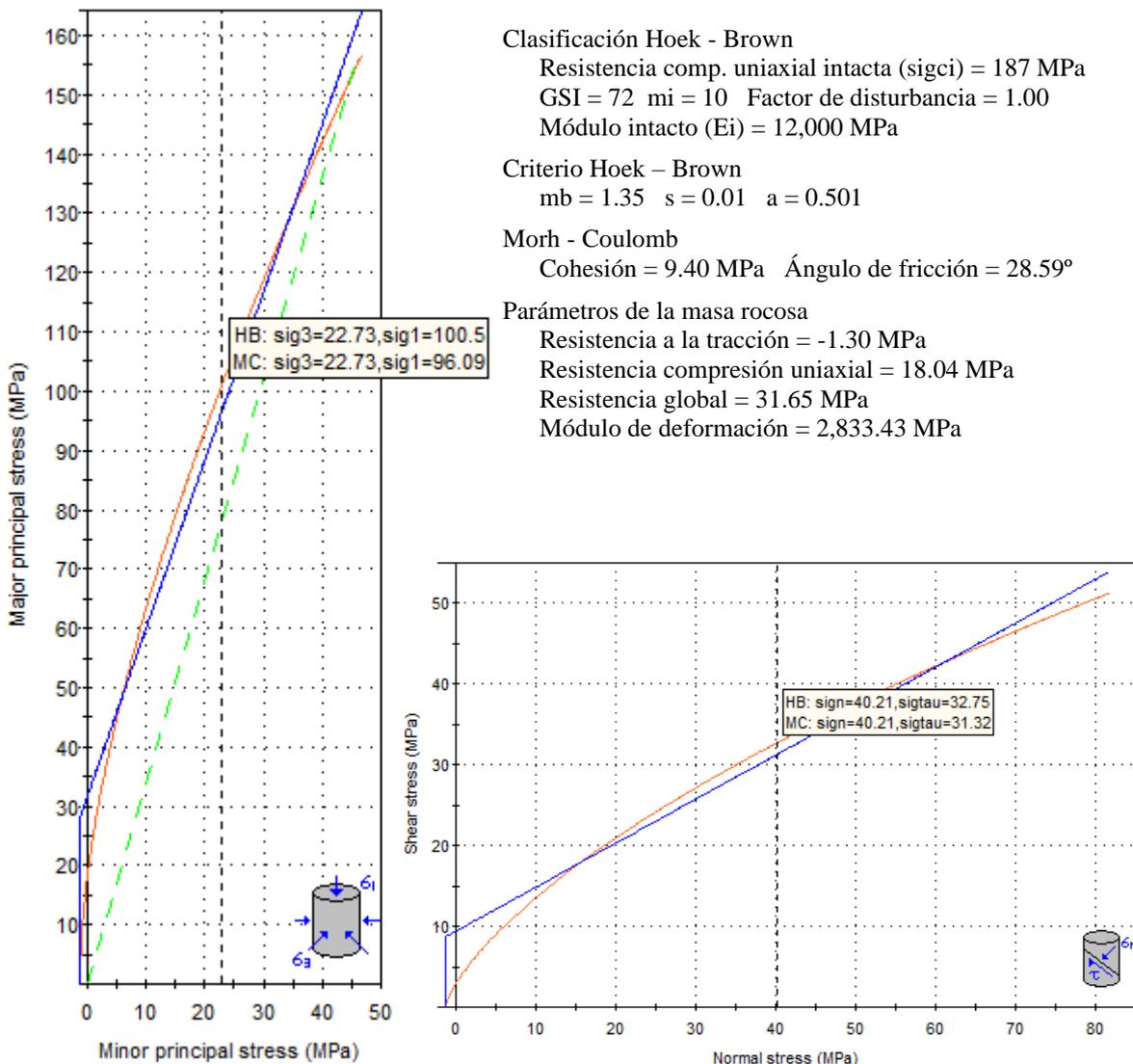
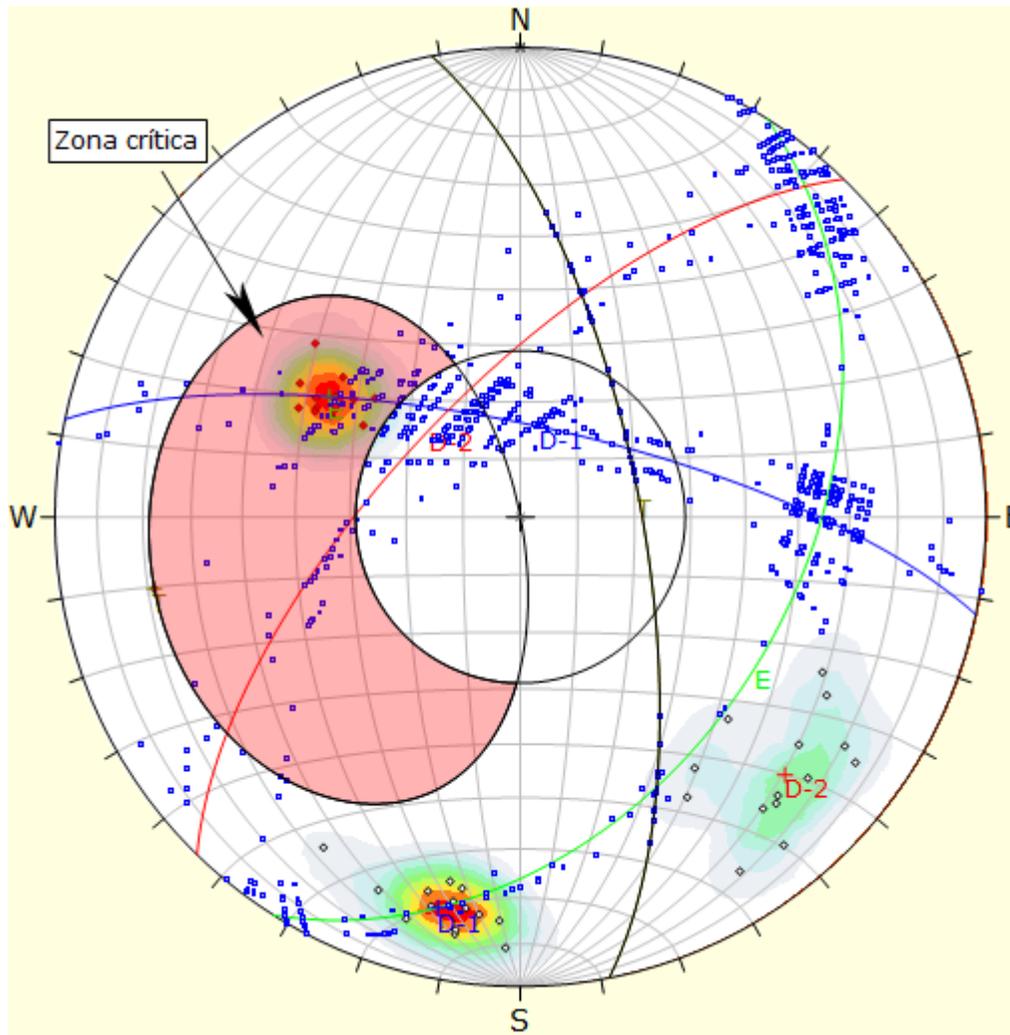


Figura 3.31. Método equivalencia de áreas – RocData, en función de esfuerzo principales: Mayor vs. Menor (H-B) y esfuerzo: Corte y normal (M-C); Calera Bendición de Dios E.I.R.L., EG-04.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.60		
	2.40 - 4.80		
	4.80 - 7.20		
	7.20 - 9.60		
	9.60 - 12.00		
	12.00 - 14.40		
	14.40 - 16.80		
	16.80 - 19.20		
	19.20 - 21.60		
	21.60 - 24.00		
Maximun density		23.91%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		69°	
Slope Dip direction		79°	
Friction angle		23°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	18	41	31.71%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	40°	122°
2	■	74°	12°
3	■	68°	314°
4	■	69°	79°
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		41 (41 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		820	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

Figura 3.32. Probabilidad de fallamiento planar de 31.71% a favor del talud en función del estrato, generando 18 rupturas críticas del total de 41 polos. EG-04.

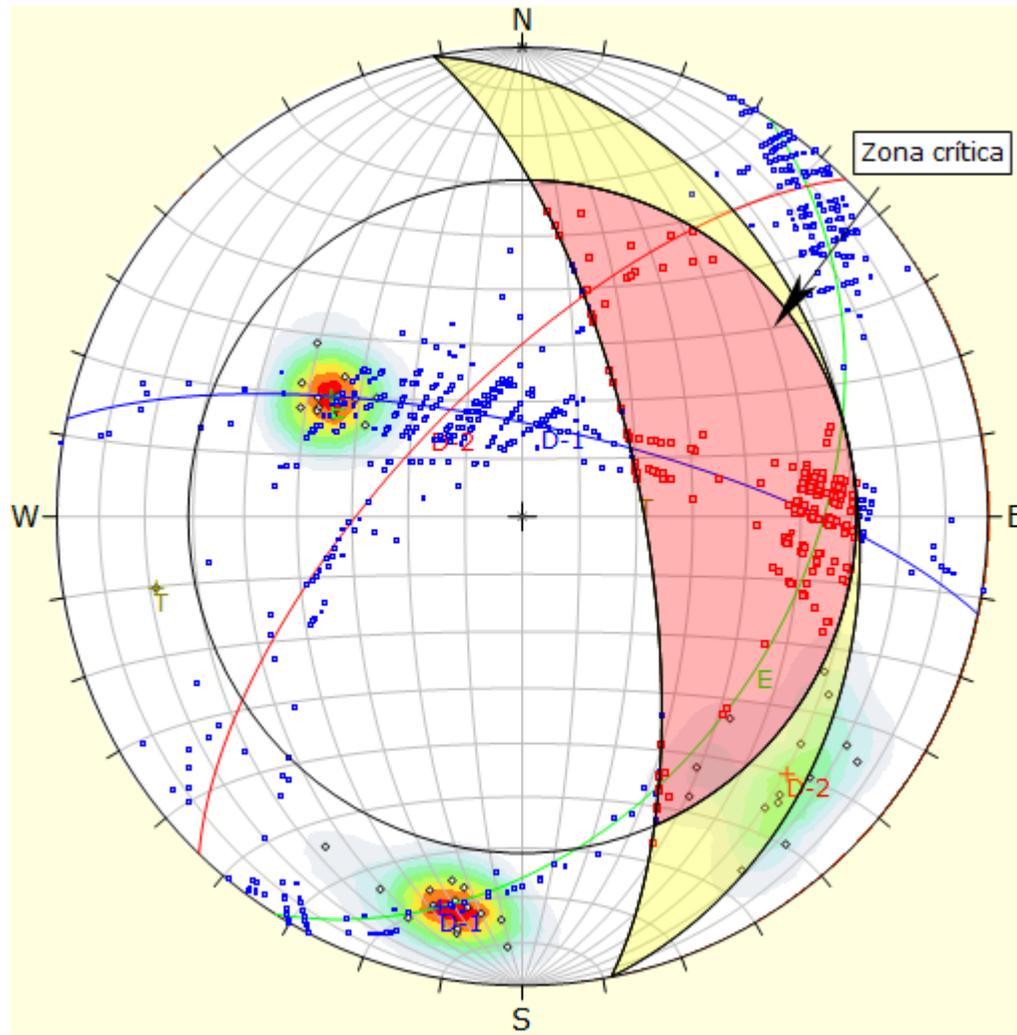


Figura 3.33. Probabilidad de fallamiento por cuña de 29.63% por intersección de juntas: E vs. D-1 y D-1 vs. D-2, generando 243 rupturas críticas del total de 820 intersecciones. EG-04.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
■	Critical intersection		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.40		
	2.40 - 4.80		
	4.80 - 7.20		
	7.20 - 9.60		
	9.60 - 12.00		
	12.00 - 14.40		
	14.40 - 16.80		
	16.80 - 19.20		
	19.20 - 21.60		
	21.60 - 24.00		
Maximun density		23.91%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Wedge sliding	
Slope dip		69°	
Slope Dip direction		79°	
Friction angle		29°	
	Critical	Total	%
Wedge sliding	243	820	29.63%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	40°	122° E
2	■	74°	12° D-1
3	■	68°	314° D-2
4	■	69°	79° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		41 (41 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		820	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

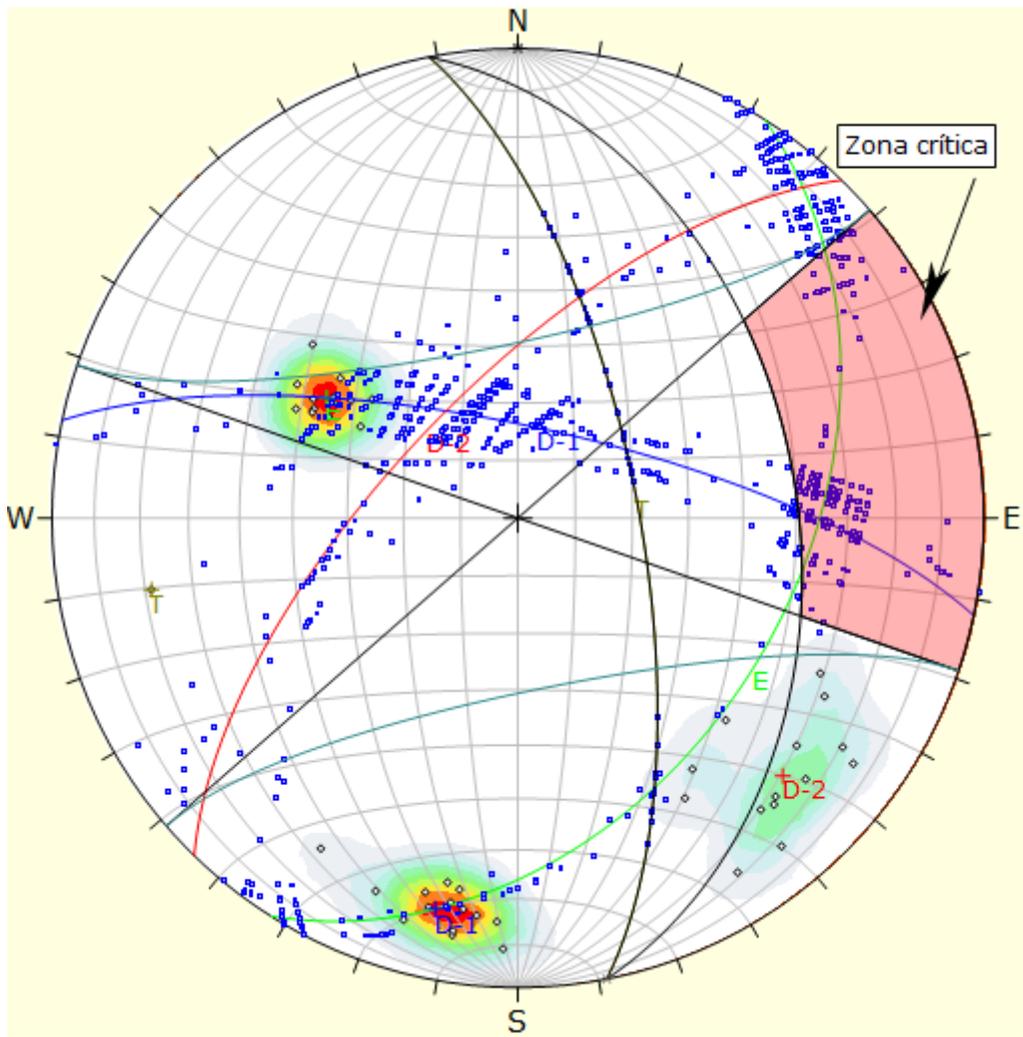


Figura 3.34. Probabilidad de fallamiento por vuelco siendo el 0.00% no generando ruptura, generando 0 rupturas críticas del total de 41 polos. EG-04.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
■	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 2.60		
	2.40 - 4.80		
	4.80 - 7.20		
	7.20 - 9.60		
	9.60 - 12.00		
	12.00 - 14.40		
	14.40 - 16.80		
	16.80 - 19.20		
	19.20 - 21.60		
	21.60 - 24.00		
Maximum density		23.91%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Flexural toppling	
Slope dip		69°	
Slope Dip direction		79°	
Friction angle		29°	
Lateral limits		30°	
	Critical	Total	%
Flexural toppling (All)	0	41	0.00%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	40°	122° E
2	■	74°	12° D-1
3	■	68°	314° D-2
4	■	69°	79° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		41 (41 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		820	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

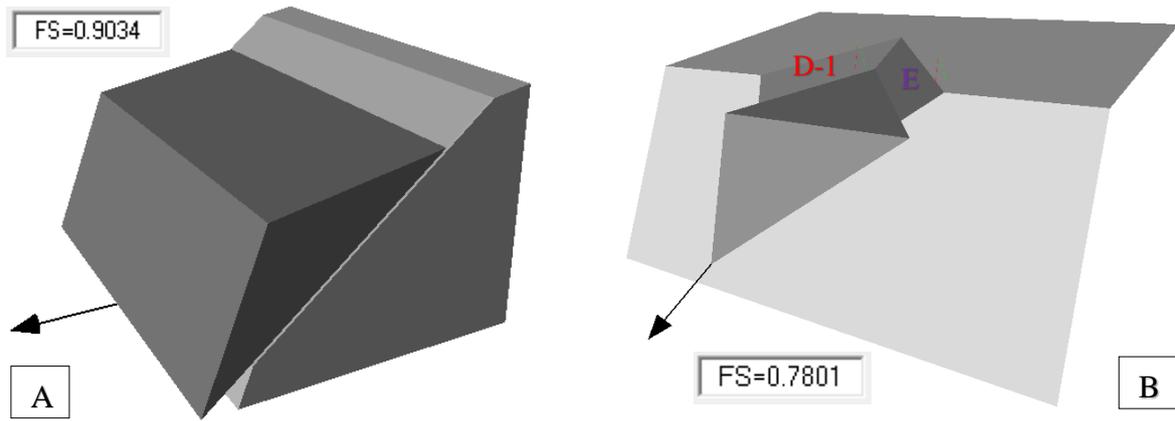


Figura 3.35. A. Block diagrama en 3D proyectando al estrato generando inestabilidad en el talud por ruptura planar, y B. Block diagrama del macizo rocoso en 3D mostrando la ruptura en cuña, mediante la intersección de juntas: E vs. D-1; en condiciones $FS_{\text{Saturadas + sismicidad}} = 0.7801$. EG-04.

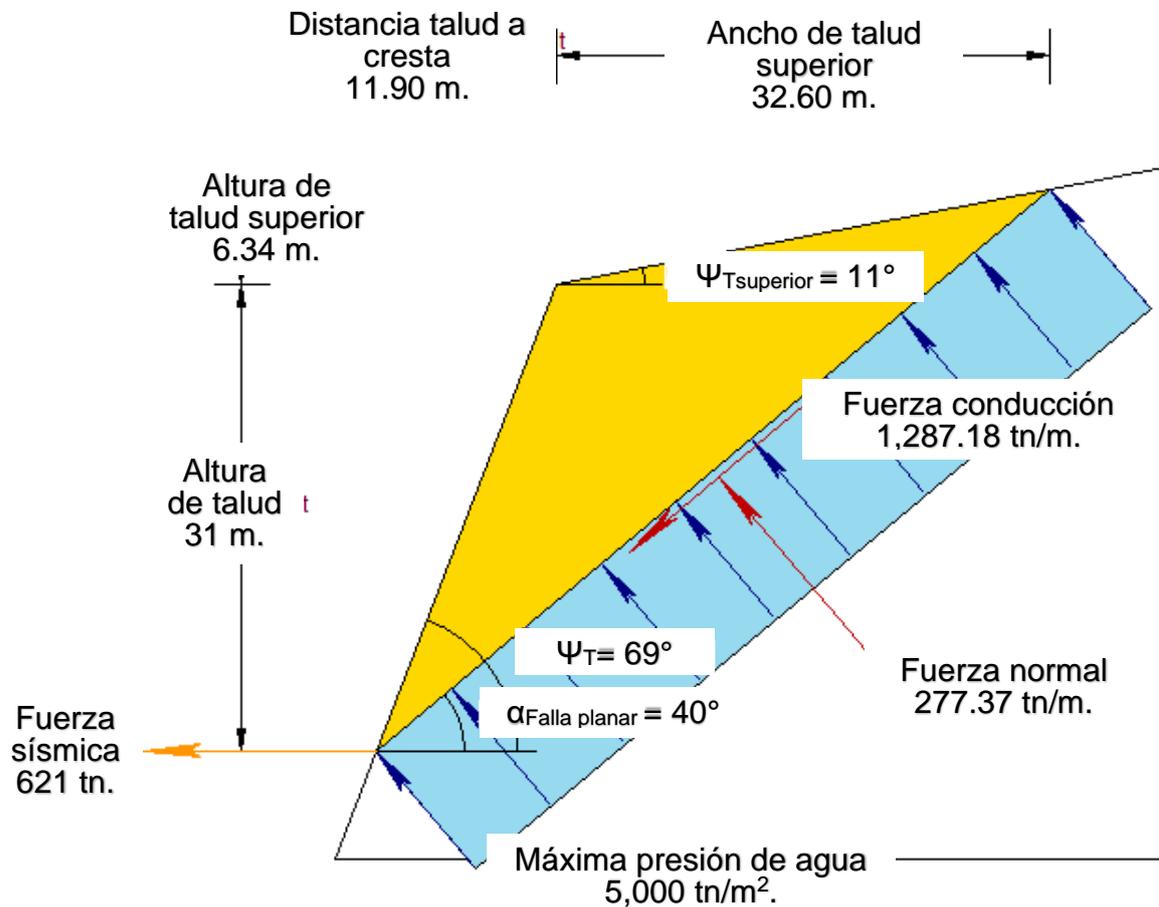


Figura 3.36. Gráfica de dimensionamiento en 2D del estrato por ruptura planar, en condiciones $FS_{\text{Saturadas + sismicidad}} = 0.9034$. EG-04.

3.9 ESTABILIZACIÓN DEL TAJO

Actualmente el tajo presenta buzamiento $\Psi_T = 69^\circ$ a 72° , siendo inaccesible para el personal, para que realicen perforación y voladura, sin embargo, se accede al frente de explotación mediante la suspensión por cuerda atada en anclajes en la parte superior de la corona de talud, llegando así a la parte media a superior del tajo, así mismo por la extracción continua del frente se están generando fallamiento por ruptura: Planar y cuña, manifestándose como caídas de rocas, ocasionado inseguridad a los trabajadores, por las caídas inesperadas de bloques de rocas. Por consiguiente, el límite de propiedad se ubica en la parte alta del tajo solo faltando 35.00 m. desde la cresta del talud; con dimensiones del frente del tajo: Ancho 155.00 m. y longitud 60.00 m., en consecuencia, se sugiere realizar una berma de 5.50 m. de ancho a 30.00 m. de altura con sección de corte 10:1, así minimizando la probabilidad de caída de roca como contingente al colapso siendo retenido en la berma a diseñar.

Por consiguiente, al finalizar algún momento las operaciones mineras de extracción de roca caliza se tendrán que estabilizar el tajo mediante anclajes sistemáticos de distribución tresbolillo de 8 pies de longitud de diámetro 25 mm., siendo distribuidos 44 anclajes, cada 10.00 m. a lo largo y ancho, constituyendo 11 anclajes a lo largo y 4 anclajes a lo ancho; utilizándose en la estabilización de la segunda cara libre de banquetta, por lo contrario la primera cara libre solo presentará sección de corte 10:1, acotando además que ambas cara libres tendrán la misma sección de corte por presentar rocas de calidad buena. De esta manera se logrará estabilizar aumentando el factor de seguridad > 1.50 , utilizando los programas numéricos como: RocPlane y swedge, dando mayor seguridad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El Tajo de la Calera Bendición de Dios E.I.R.L., se encuentra ubicado en el área de explotación emplazado en el flanco izquierdo del anticlinal de orientación SW-NE, originada por la tectónica de: Plegamientos, fallas y sobreescurrecimientos; siendo emplazada en la Formación Cajamarca del piso Turoniano, de calizas mudstone – micritas del Cretáceo Superior de orientación (Az/Bz) N40°/38°SE; presentando bancos: Gruesos y duros, de espesor: 0.40 m. a 0.80 m., de orientación (Az/Bz) N35°/42°SE; formando la sección de corte de talud blocosidades de forma: Tabular y cúbica, de calidad buena mediante la caracterización geomecánica: RQD, RMR y GSI; con peso específico 26.50 KN/m³. Por consiguiente, el área de beneficio fue emplazada en la Formación Celendín de la edad Senoniana compuesta por rocas calizas constituidas por: Calizas de color azuladas, calizas nodulares, margas y lutitas calcáreas de textura fisil o laminar, con espesor: 0.10 m. a 0.15 m., siendo materiales de baja resistencia suprayaciendo a la Formación Cajamarca. Finalmente se evidencio recubrimiento del Cenozoico edad Versiliano compuestos por Depósitos Cuaternarios con tendencia estratiforme y muy heterogénea a desordenada de color gris oscuro, presentando grosor: 1.50 m. a 3.50 m. constituyendo Depósitos: Antrópicos y Deluviales.

Las geoestructuras principales del Cretáceo Superior están constituidas por plegamiento: Anticlinales y sinclinales de orientación NE-SW, ubicándose al Oeste la Formación Celendín siendo eje del Anticlinal asimétrico formando estructura periclinal hacia ESE, así mismo los ejes de los plegamientos tienen orientación NW-SE paralelos a las fallas: Normales e inversas, ubicadas al N y S; originadas por la liberación de energía fallas: Regionales y locales, presentando espejo de falla: Gravitatoria desplazando a la secuencia estratigráfica de espesor 0.60 m. a 0.80 m.

paralelo a la orientación de la roca caliza con Az/Bz = N35°/43°SE, desplazado a la falla normal sinistral con orientación Az/Bz = N154°/63°SW y pich = 28°, por la recristalización de la calcita mostrando: Estrías, slickensides y acanaladuras, en los planos de falla. Por consiguiente, la zona NE, se evidencian concentraciones de cobre como: Covelina, calcopirita, pirita y bornita, concentrados de manera concéntrica 2 cm. a 4cm. formando geodas mineralizadas en la roca caliza cortando transversalmente con orientación WNW a ESE, a la secuencia estratigráfica, en forma de clavo invertido, observándose 2.50 m. de altura desde pie de talud del tajo, proyectándose por debajo de la plataforma de seleccionamiento de roca caliza, como un yacimiento metálico cuprífero .

Así mismo las estructuras menores lo conforman tres discontinuidades principales de orientación (Az/Bz): N33°/41°SW, N284°/68°NE, N192°/54°NW, constituyendo afloramientos rocosos de blocosidades: Cúbicas y tabulares, por ser rocas de calidad: Buena a muy buena, por consiguiente, la altura de talud y buzamiento a favor del talud está ocasionando caídas de rocas constantemente por presentar la orientación de la junta principal a favor de la cara libre del tajo de explotación.

La caracterización geomecánica muestra información: Cualitativa y cuantitativa, del afloramiento rocoso con propiedades de las discontinuidades conformado por cuatro estaciones; estimando resistencia promedio con la picota de 3 golpes de categoría R5. Por consiguiente, aplicando el criterio empírico RQD por Priest y Hudson (1976) en función de $\lambda = \text{Número de discontinuidades/Longitud}$, lo cuantificó como rocas de calidad buena según Deere, (1967). Así mismo aplicando RMR Bieniawski (1989), se cuantificó en función de cinco parámetros geotécnicos + 1 orientación de discontinuidades (-5), categorizándolo como roca de buena calidad/clase IV; y finalmente el GSI Vallejo, (2011) mediante las tablas de doble entrada se ubica entre condición de superficie: Buena a muy buena y estructura: Moderadamente fracturada a Levemente fracturada, teniendo en consideración la fórmula $GSI = RMR - 5$.

Tabla 4.1. Estimación cuantitativa y cualitativa el macizo rocoso – criterios empíricos.

Estación	σ_{ci} (MPa)	Clasificaciones empíricas					
		RQD (%)	Calidad	RMR	Calidad	GSI	Calidad
E-1	190	87.57	Buena	79	Buena	74	Buena
E-2	205	88.74	Buena	81	Buena	76	Buena
E-3	172	84.08	Buena	75	Buena	70	Buena
E-4	187	83.47	Buena	77	Buena	72	Buena

Tabla 4.2. Parámetros de las constantes elásticas por el modelo numérico Rocdata, del Tajo de la Calera Bendición de Dios E.I.R.L.

Criterios		Estación			
		EG-1	EG-02	EG-03	EG-04
Clasificación	m_i	9	10	9	10
Hoek - Brown	D	1.00	1.00	1.00	1.00
	E_i (MPa)	180,500	12,000	12,000	12,000
Criterio	m_b	1.41	1.80	1.06	1.35
Hoek - Brown	s	0.01	0.02	0.01	0.01
	a	0.505	0.502	0.504	0.501
Parámetros masa rocosa	σ_t (MPa)	-1.77	-2.08	-1.10	-1.30
	σ_c (MPa)	21.67	27.65	14.02	18.04
	σ_{ct} (MPa)	30.77	41.69	25.50	31.65
	E_m (MPa)	46,685.28	3,376.27	2,569.68	2,833.43
Criterio Mohr - Coulomb	c (MPa)	9.98	11.83	7.87	9.40
	φ°	28.82°	30.85°	26.61°	28.59

Aplicando del modelo numérico RocData, se inició desde de la caracterización geomecánica, mostrando resultados de las constantes elásticas aplicando el criterio generalizado de resistencia Hoek-Brown del macizo rocoso siendo a diferente de 1/2 desde: 0.501 a 0.504, por estar conformado por el medio anisotrópico, siendo el m_i el valor pico de la roca caliza micrita y superficie de textura fina asignando valores: 9 ± 2 de acuerdo con las condiciones de resistencia de la roca insitu, valorizándolo 9 a 10; el D - factor de disturbación ocasiona en el talud ocasionando relajación tensional por voladura de producción asumiendo 1.00, por generar fragmentación de rocas de 12'' a 15'' por los requerimiento de los hornos de calcinación. Siendo m_b valor reducido de la constante m_i de la roca intacta siendo relacionado GSI y D , variando desde: 1.06 a 1.80. Por consiguiente, s : 0.01 a 0.02 definido como roca fracturada delimita por medio discontinuo del macizo rocoso, obteniendo: Cohesión $c = 7.87$ MPa a 11.83 MPa. y ángulo de

fricción desde $\phi = 26.61^\circ$ a 30.85° por la gráfica Esfuerzo corte y esfuerzo normal. Por consiguiente la interacción de las envolventes: Hoek-Brown y Mohr-Coulomb reportó resistencia: Tracción (-1.10 MPa a -2.08 MPa), compresión uniaxial (14.02 MPa a 27.65 MPa) y compresión triaxial (25.50 MPa a 41.69 MPa). Sin embargo, realizando la comprobación por el módulo de deformación E_m se categorizó en dos sectores rocas de calidad: Buena (EG-01/46,685 MPa.) y muy mala (EG-02/3,376.27 MPa., EG-03/2,569.68 MPa. y EG-04/2,833.43 MPa.).

El modelo numérico Dips utilizados en las estaciones geomecánicas muestran valores de probabilidad de fallamiento $< 47\%$ generando inestabilidades en el tajo en función de las familias de discontinuidades, siendo los predominantes las rupturas: Planares (31.71% a 46.34) y cuñas (28.41% a 44.87%); sin embargo, la sección corte del talud por su alta pendiente y estratos subverticales a favor del talud, ocasionan rupturas planares: E (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y por cuña las juntas: E vs. D-1 (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y D-1 vs. D-2 (EG-03 y EG-04), relacionadas con la caída de rocas siendo más frecuentes en la época de precipitación, categorizándolo como zona de alto riesgo e inestabilidad, por lo visualizado en campo y el programa numérico reporta en su interfaz cinemática de fallamiento de rocas.

Tabla 4.3. Reporte cinemático por probabilidad de ruptura en rocas - software Dips, obteniendo el porcentaje de inestabilidad del tajo.

Estación	Planar		Cuña		Vuelco		Condición
	%	Junta	%	Junta	%	Junta	
E-1	42.22	E	28.41	E vs. D-1	11.11	D-2	Estable
E-2	33.33	E	44.87	E vs. D-1	00.00	-	
E-3	46.34	E	32.84	E vs. D-1 / D-1 vs. D-2	00.00	-	
E-4	31.71	E	29.63	E vs. D-1 / D-1 vs. D-2	00.00	-	Inestable

Por consiguiente, de acuerdo con la interpretación por juntas en la primera fase de obtuvo las diaclasas que están generando el fallamiento: Planar y cuña, para validar el FS por los softwares: RocPlane y Swedge, en tensiones: Totales, efectivas y efectivas + sismicidad, obtenido $FS < 1.50$, validando la inestabilidad generada en el tajo; Observándose claramente que los planos de juntas son: Estables a medianamente estables en tensiones totales, sin embargo si incluimos agua -

tensiones efectivas a 10% a 20% de saturación en el talud baja su FS siendo más susceptible a caídas de rocas e inseguridades en las partes bajas de los trabajadores; y tensiones efectivas + sismicidad bajando el valor del FS considerablemente, definiéndola como zona de inestabilidad geomecánica.

Tabla 4.4. Factor de seguridad por medios discontinuos, aplicando la cinemática en el tajo de explotación.

Estación	Factor de seguridad					
	RocPlane			Swedge		
	T.T	T.E	TE + S	T.T	T.E	TE + S
E-1	1.457	1.097	0.690	1.258	1.059	0.820
E-2	1.543	1.148	0.818	1.571	1.346	0.941
E-3	1.392	1.223	0.978	1.293	1.097	0.715
E-4	1.507	1.485	0.903	1.476	0.983	0.780

Tabla 4.5. Sistema de puntuación de caídas de rocas (RHRS) - Tajo Calera Bendición de Dios E.I.R.L.

Categoría	Unidad	Valor	Puntaje
Altura de talud	H (m.)	29	81
Eficiencia de talud	Moderada	2	9
	Ineficiencia (%)	50	
Riesgo medio por vehículo (RMV)	RMV Km/h (%)	20	3
	ADT (Veh/día)	40	
	L (Km.)	0.15	
	S (Km/h)	30	
Distancia de visibilidad (DA)	DA (%)	85.71	3
	Distancia requerida (m.)	175	
	Distancia disponible (m.)	150	
Ancho de calzada (Lc)	Lc (m.)	19.67	3
	Calzada (m.)	7.12	
	Banquilla (m.)	12.55	
Tamaño de bloque (Db)	Mínimo (m.)	0.25	3
	Máximo (m.)	0.40	
Volumen de bloque (Vb)	Mínimo (m3.)	0.13	3
	Máximo (m3.)	0.20	
Condición climática	h(mm.)	588.96	9
Frecuencia de caídas de roca (f)	f	0.027	3
	Algunos	10/(365*10)	
	Ocasionales	6/365	
RMR	Calidad	75	9

De acuerdo con el sistema de clasificación de caída de rocas se categoriza de calidad media, sumando una puntuación 126, siendo muy vulnerable a generar inestabilidad constante.

El tajo presenta buzamiento $\Psi_T = 69^\circ$ a 72° presentar rocas de calidad buena ocasionado caídas de bloques de rocas, siendo la superficie del tajo de dimensiones: Ancho 155.00 m. y longitud o altura 60.00 m. Siendo estabilizado mediante dos banquetas: La primera banqueta tendrá 30.00 m de altura con sección de corte 10:1, llegando a esta altura 30.00 m se realizar una berma 5.50 m. de ancho minimizando la probabilidad de caída de roca como contingente al colapso reteniendo bloques de roca logrando estabilizar; y la segunda banqueta tendrá la sección de corte 10:1 complementado su estabilidad con anclajes sistemáticos tresbolillo de 8 pies de longitud de diámetro 25 mm., siendo distribuidos 44 anclajes, en toda la superficie @ 10.00 m. de L/A, constituyendo 11 anclajes a lo largo y 4 anclajes a lo ancho; logrando estabilizar aumentado el FS > 1.50 minimizando las caídas de rocas.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por consiguiente, Chuquimango (2024) manifiesta que las operaciones extractivas de roca caliza se ubican en la Formación Cajamarca con orientación estratos (Az/Bz) $N56^\circ/23^\circ SE$, así mismo López (2024) manifiesta valores similares (Az/Bz): $N60^\circ/21^\circ SE$, en cambio Terán (2022) manifiesta valores casi idénticos de orientación Az/Bz = $N52^\circ/20^\circ SE$, presentado variaciones de grosor de roca: 0.30 m. a 2.30 m. En consecuencia, se logra definir que tiene valores similares de orientación estratigráfica (Az/Bz) $N40^\circ/38^\circ SE$; compuestos por bancos: Gruesos y duros, de roca caliza.

Así mismo las investigaciones plasmadas por: Chuquimango (2024), López (2024) y Terán (2022), muestra basamento rocoso de calidad: Regular, buena a muy buena, con estimación $\sigma_{ci} = 80$ MPa. a 125 MPa., RQD = 57.32% a 93.84%, RMR = 52 a 84 y GSI = 47 a 79. Por la calidad de roca se logró obtener valores similares relacionados con las blocosidades de forma: Tabular y cúbica, con resistencia 3

golpes/R5, categorizando rocas de buena calidad, con RQD: 83.47% a 88.74%, RMR: 75 a 81°, GSI: 72 a 76 y σ_{ci} : 172 MPa a 205 MPa.

Por lo contrario, el análisis cinemático de fallamiento por ruptura cambia por la orientación del tajo de explotación como Chuquimango (2024), plasma tajos de orientación (Az/Bz) N345°/78°NE a N55°/68°SE, mostrando %PR cinemática: Planar 2.22% a 46.67%, cuña 6.87% a 44.95% y vuelco 0.00% a 2.22%; en cambio López (2024), muestra tajos de orientación (Az/Bz) N312°/72°NE a N30°/75°SE, obtenido %PR: E-1 > 30% planar y cuña, E-2 > 40% vuelco y E-3 > 25% planar, cuña y vuelco; aumentado %PR = 43.90% cambiando la orientación del talud D/DD (65°/115°) para la generación de escombros de roca; así mismo Terán (2022), obtuvo valores de tajo de orientación (Az/Bz) N291°/78°NE a N55°/30°SE, formando %PR: Planar 18.93% (D-1/D-2), cuña 16.15% (D-1/D-2) y vuelco 15.38% (D-3); de acuerdo con los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas en otras calera de por los investigadores mencionados se puede decir que tienes valores similares o casi similares del comportamiento cinemático reportando probabilidad de fallamiento de rupturas: Planares (31.71% a 46.34) y cuñas (28.41% a 44.87%); a favor del talud, ocasionan rupturas planares: E (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y cuña: E vs. D-1 (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y D-1 vs. D-2 (EG-03 y EG-04), definido como zona de alto riesgo e inestabilidad, por $FS < 1.50$ en tensiones: T (1.571 a 1.258), E (1.485 a 0.983) y E + S (0.903 a 0.690), susceptible a caídas.

De acuerdo los valores obtenidos plantearon método de explotación a cielo abierto por banquetas, iniciando desde la parte inferior, por la geomorfología constituida por: Lomada y ladera, proyectada por: Chuquimango (2024), López (2024) y Terán (2022), así mismo definieron parámetros de diseño casi similares teniendo en consideración los barrenos de voladura y producción por día como: $hb = 2.00$ m. a 6.00 m., $q = 0.35$ m. a 1.61 m., $b = 2.40$ m. a 4.00 m., $aR = 4.50$ m. a 8.00 m., $\alpha_T = 75^\circ$ a 80° y $\alpha_{TFINAL} = 33^\circ$ a 84° . Por consiguiente, Limay concuerda con el método de explotación a tajo abierto, por las condiciones casi similares de la geomorfología a si mismo los parámetros de diseño cambian por ser rocas de alto buzamiento y estará a favor del talud, ocasionando alto %PR, generándose la pila de escombros por empleo de poca voladura.

4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El cartografiado geológico-geomecánico tajo Calera Bendición de Dios E.I.R.L., si presenta calizas mudstone – micritas de orientación (Az/Bz) N40°/38°SE; con bancos: Gruesos y duros, de espesor: 0.40 m. a 0.80 m., y espesor de arcilla: 1.00 cm. a 2.50 cm. constituyendo rocas de la Formación Cajamarca; estimando resistencia promedio de 3 golpes/categoría R5; validando la probabilidad de fallamiento de 65% de inestabilidad en función de discontinuidades, siendo los predominantes las rupturas: Planares (31.71% a 46.34) y cuñas (28.41% a 44.87%); sin embargo, la sección corte del talud por su alta pendiente y estratos subverticales a favor del talud, ocasionan rupturas planares: E (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y por cuña las juntas: E vs. D-1 (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y D-1 vs. D-2 (EG-03 y EG-04); siendo validado por RHRS calidad media, muy vulnerable a generar inestabilidad. Siendo importante para su estabilidad realizar dos banquetas con ancho de berma 5.50 m., aplicando un sistema de anclajes sistemáticos tresbolillo de 8 pies de longitud de diámetro 25 mm., siendo distribuidos 44 anclajes, en toda la superficie @ 10.00 m. de L/A, constituyendo 11 anclajes a lo largo y 4 anclajes a lo ancho.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado geológico-geomecánico muestra roca caliza mudstone – micritas de color gris azulada de la Formación Cajamarca de orientación (Az/Bz) N40°/38°SE; con bancos: Gruesos y duros, formando blocosidades de forma: Tabular y cúbica, con resistencia 3 golpes/R5, categorizando rocas de buena calidad, con RQD: 83.47% a 88.74%, RMR: 75 a 81°, GSI: 72 a 76 y σ_{ci} : 172 MPa a 205 MPa.

Las constantes elásticas están definidas por el medio anisotrópico siendo: a : 0.501 a 0.504, mi : 9 a 10; D : 1.00, mb : 1.06 a 1.80, s : 0.01 a 0.02, c = 7.87 MPa a 11.83 MPa., ϕ = 26.61° a 30.85°; generando interacciones con las envolventes: Hoek-Brown y Morh-Coulomb, de resistencia: Tracción (-1.10 MPa a -2.08 MPa), compresión uniaxial (14.02 MPa a 27.65 MPa) y compresión triaxial (25.50 MPa a 41.69 MPa).

El comportamiento cinemático reporta probabilidad de fallamiento de rupturas: Planares (31.71% a 46.34) y cuñas (28.41% a 44.87%); a favor del talud, ocasionan rupturas planares: E (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y cuña: E vs. D-1 (EG-01, EG-02, EG-03 y EG-04) y D-1 vs. D-2 (EG-03 y EG-04), definido como zona de alto riesgo e inestabilidad, por $FS < 1.50$ en tensiones: T (1.571 a 1.258), E (1.485 a 0.983) y E + S (0.903 a 0.690), susceptible a caídas.

Se plantea estabilizar por dos banquetas de 30.00 m. y sección de corte 10:1; presentando una berma 5.50 m, de ancho para contener caídas de rocas, siendo complementado la segunda banqueta con anclajes sistemáticos tresbolillo de 8 pies de longitud de diámetro 25 mm., siendo distribuidos 44 anclajes, en toda la

superficie @ 10.00 m. de L/A, constituyendo 11 anclajes a lo largo y 4 anclajes a lo ancho.

5.2 RECOMENDACIONES

Realizar monitoreo e inventario del tajo por las constantes caídas de rocas, para así evitar contingentes.

Realizar ensayos del laboratorio del basamento rocosos calcáreo, para obtener mayor confiabilidad en resultados y posterior estabilización del tajo de explotación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álfaro, F. 2003. *Geología u geotécnica: estabilidad de taludes*. Universidad Nacional de Rosario.
- American Concrete Institute (ACI). 1995. *Specifications for Materials, Proportioning and Application of Shotcrete*. ACI Report 506.2-95, Revised 1995. Andrew, R. D. (1992a) Restricting rock falls. ASCE, *Civil Engineering*, Washington, DC, October, pp. 66–7.
- Avila, C.; y Tobo, R. 2014. Diseño del método de explotación a cielo abierto para la mina el diamante, dentro del contrato en virtud de aporte N° 00904-15 en el municipio de Tibasosa, Vereda La Carrera departamento de Boyacá (Tesis de pregrado). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Recuperado de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3176473>
- Berrocal, M. 2015. *Estabilidad de Excavaciones Subterráneas*. Lima - Perú: Ventura Graf.
- Bieniawski, Z. 1989. *Clasificación de masa rocosa ingenieril*. New York- Universidad del Estado de Pensilvania: Edición: Jhon Wiley & Sons. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=pejDUvjwPdMC&oi=fnd&pg=PR11&dq=engineering+rock+mass+classifications+bieniawski+1989+pdf&ots=4TmcQz1YTt&sig=3z82jx-PjZrt-BSmTu8WRiprA5Q#v=onepage&q&f=false>
- Carhuatanta, R., y Tantajulca, M. 2020. Análisis estructural de macizo rocoso para determinar el factor de seguridad en taludes de la carretera Cochabamba – Cutervo – Puerto Chiple (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo.
- Celada, T. 2011. Manual de túneles y obras subterráneas tomo 1: Concepto y diseño del sostenimiento de túneles, págs. 815 – 854. Móstoles – Madrid: Graficas arias montano, S.A.
- Deere, D., Hendron, A., Patton, F., y Cording, E. 1967. *Diseño de superficies y superficies del entorno de excavación en roca*. 8vo. Symposium de

- mecánica de rocas en procedimientos. Fracturamiento y reforzamiento en roca (ed. C Fairhurst), págs. 237 - 302. New York – Estados Unidos: AIME.
- Chuquimango J. 2024. Análisis geomecánico del tajo de explotación de la Minera Nueva Unión E.I.R.L. - distrito, provincia Hualgayoc – departamento Cajamarca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca.
- Gavilanes, H., y Andrade, B. 2004. Introducción a la Ingeniería de Túneles: Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Quito – Ecuador: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).
- González, L. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid – España: Prentice Hall.
- Goodman, E., y Bray, W. 1976. Toppling of rock, en Memorias, Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes, Boulder: Boulder, Colorado, p. 201-234.
- Hoek, E., y Brown, E. 1997. *Practical estimates of rock mass strength*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 34, págs. 1165-1186.
- 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/>
- Osinermin. 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.
- Meza, L. 2018. Evaluación geomecánica y cinemática del tramo Juan Capitán – El Chihue, ciudad Victoria, Tamaulipas (Carretera TAM-126 Rumbo Nuevo) (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ministerio de vivienda. 2019. Norma técnica E.30 – Diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones. Resolución ministerial N° 043-2019-vivienda. Lima – Perú: Ministerio de vivienda. Recuperado de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf
- Monte, I. 2020. Análisis de estabilidad de taludes en roca mediante el método de elemento finitos (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción.
- López, V. 2024. Comportamiento geomecánico del tajo de explotación de la Empresa Calera MV S.R.L. Provincia Hualgayoc – departamento de Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca.

- Osinermin. 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.
- Oyanguren, P., y Alejano, L. 2004. *Mecánica de rocas: Fundamento e ingeniería de taludes*. Recuperado de
https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
https://oa.upm.es/14183/2/MECANICA_DE_ROCAS_2.pdf
- Prada, O., y Serrano, E. 2009. Análisis y determinación de la amenaza de inestabilidad de los taludes, generado por su saturación y desembalse, en el proyecto de regulación del río Tona – embalse de Bucaramanga (Tesis pregrado). Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingeniería Civil.
- 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.
- Quintana y Navarro, 2022. Utilización de un sistema de medición del riesgo de cauda de rocas en la fase operativa en el Camino de Atlas Cumbes, Sierra Chica, Córdoba, Argentina” (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- 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, O., De La Cuadra, I., Laín, H., y Grijalbo, O. 2008. Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea. Instituto geológico y minero de España.
- Richter, C. 1935. An instrumental earthquake magnitude, Bull. Seismol. Soc. Am., 25, págs. 1-32.
- Rodríguez, J. 2007. Caracterización de macizos rocosos. Facultad de geología (Petrología y geoquímica). Universidad de Oviedo.
- Rodríguez, A. 2007. Ingeniería geológica: Caracterización de macizos rocosos. Facultad de geología (Petrología y geoquímica), vol. 1, págs. 1-14. Universidad de Oviedo. Recuperado de
https://www.academia.edu/7560586/CARACTERIZACION_DE_M

ACIZOS_ROCOSOS

- Senamhi. 2022. Datos hidrometeorológicos en Cajamarca: Estación San Bambamarca. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>
- 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.
- Transportation Research Board (TRB). 2002. Evaluation of Metal Tensioned Systems in Geotechnical Applications. NCHRP Project N°. 24– 13, Washington, DC, 102 pp. plus figures and appendices.
- Vallejo, C. 2002. *Aplicaciones del Índice GSI para el Mapeo Geomecánico y la definición del Sostentamiento 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.
- Wood, H. O. y Newmann 1931. Modified Mercalli intensity scale of 1931, Bull. Seism. Soc. Am. 21, pág. 277-283.
- 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.

ANEXO B : CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO.

ANEXO C : PLANOS TEMÁTICOS.

01 SATELITAL SASPLANET -BING MAPS

02 MDT – MDE – UBICACIÓN

03 SUPERPOSICIÓN: TERRENO Y PETITORIO MINERO

04 DELIMITACIÓN DE OPERACIONES MINERAS

05 GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL

06 UNIDADES MORFOGENÉTICAS

07 GEOMECÁNICO

08 INESTABILIDAD CINEMÁTICA

ANEXO A
AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA



CALERA BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L.

Producción, Comercialización y Transporte de Oxido de Calcio y Derivados

RUC: 20496115440



Bambamarca, 03 de Junio del 2024

CARTA 0079-2024- BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L

SEÑOR: Limay Malca Milton Berlit

Ex alumno de la Universidad Nacional de Cajamarca – Facultad de Ingeniería de Minas

ASUNTO: Respuesta a Solicitud de autorización para realizar Tesis en la empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L

Sr. Milton Berlit Limay Malca, reciba un cordial saludo a nombre de la empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L., con Ruc. 20496115440; recibida su solicitud: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR TESIS EN LA EMPRESA CALERA BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., **se concede el permiso** para realizar su tesis y uso de datos en la empresa Calera Bendición de Dios E.I.R.L., con el tema: **EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC**, para optar el grado de Ingeniero de Minas.

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


**CALERA
"BENDICIÓN DE DIOS" E.I.R.L.**
Guillermo Ortiz Cotrina
GERENTE GENERAL

ANEXO B
CARTOGRAFIADO GEOMECÁNICO

Tabla 5.1. Registro geomecánico EG-01.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC																					
UBICACIÓN				TAJO BENDICIÓN DE DIOS																					
CÓDIGO	EG-01			TRAMO	-	DE	-	A																	
RESPONSABLE	Limay Malca Milton Berlit			HOJA N°	1	DE	-																		
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR Limay Malca Milton Berlit																					
				FECHA 25/10/2024																					
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																		
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLÓGIA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS			RESIST. COMP. UNIAx.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
								E=Estratificada	D=Diaclasa			ND	17	DIRECCIÓN							TIPO	DUREZA			
							E=Normal			Prom. Golpes		Z/R						6=Bx							
1	772277.00	9263139.00	2733.00	Formación Cajamarca (Ks-ca) Calizas mudstone micrítica de color gris azulada de grano fino, inalterada de fractura fresca.	1	3	1	E	R5 (190MPa)	87.57	38	40	128	2	4	5	3	-	-	1	1	1			
2					R5 (190MPa)	87.57	30		39	120	3	4	1	4	4	4	1	4	4	1	1	1			
3					R5 (190MPa)	87.57	28		41	118	3	3	3	4	2	2	1	4	2	2	1	1	1		
4					R5 (190MPa)	87.57	35		36	125	2	4	1	4	1	5	2	1	4	5	2	1	1		
5					R5 (190MPa)	87.57	32		35	122	2	4	1	3	-	-	1	3	-	-	1	1	1		
6					R5 (190MPa)	87.57	29		41	119	3	3	5	3	4	4	1	3	4	4	1	1	1		
7					R5 (190MPa)	87.57	36		42	126	3	4	1	4	1	5	1	4	1	5	1	1	1		
8					R5 (190MPa)	87.57	31		37	121	3	4	5	4	-	-	1	4	-	-	1	1	1		
9					R5 (190MPa)	87.57	29		32	119	2	4	3	3	-	-	1	3	-	-	2	1	1		
10					R5 (190MPa)	87.57	24		40	114	2	3	1	4	2	2	1	4	2	2	1	1	1		
11					R5 (190MPa)	87.57	36		33	126	3	4	1	4	4	4	1	4	4	4	1	1	1		
12					R5 (190MPa)	87.57	32		41	122	3	4	3	4	2	2	1	4	2	5	1	1	1		
13					R5 (190MPa)	87.57	27		38	117	2	3	1	3	-	-	1	3	-	-	2	1	1		
14					R5 (190MPa)	87.57	32		32	122	3	4	1	3	1	5	2	3	1	5	2	1	1		
15					R5 (190MPa)	87.57	30		42	120	2	4	5	4	4	4	1	4	4	4	1	1	1		
16					R5 (190MPa)	87.57	28		35	118	2	4	1	4	-	-	1	4	-	-	2	1	1		
17					R5 (190MPa)	87.57	32		36	122	4	4	1	3	2	2	1	3	2	2	1	1	1		
18					R5 (190MPa)	87.57	290		64	20	3	1	4	3	1	5	1	3	1	5	1	1	1		
19					R5 (190MPa)	87.57	286		70	16	4	1	5	4	4	4	1	4	4	4	2	1	1		
20					R5 (190MPa)	87.57	280		66	10	3	2	4	3	1	5	1	3	1	5	1	1	1		
21					R5 (190MPa)	87.57	295		71	25	2	1	4	4	-	-	1	4	-	-	1	1	1		
22					R5 (190MPa)	87.57	276		60	6	3	1	5	3	4	4	1	3	4	4	1	1	1		
23					R5 (190MPa)	87.57	281		62	11	3	2	4	4	4	4	1	4	4	4	1	1	1		
24					R5 (190MPa)	87.57	293		70	23	3	1	4	4	1	5	1	4	1	5	2	1	1		
25					R5 (190MPa)	87.57	287		61	17	4	1	5	4	1	5	1	4	1	5	1	1	1		
26					R5 (190MPa)	87.57	294		66	24	3	2	4	4	4	4	1	4	4	4	1	1	1		
27					R5 (190MPa)	87.57	301		69	31	3	1	5	3	-	-	1	3	-	-	1	1	1		
28					R5 (190MPa)	87.57	291		63	21	3	1	4	4	4	4	1	4	4	4	2	1	1		
29					R5 (190MPa)	87.57	300		72	30	4	1	5	4	4	4	1	4	4	4	1	1	1		
30					R5 (190MPa)	87.57	289		59	19	3	2	4	3	3	2	1	3	3	2	1	1	1		
31					R5 (190MPa)	87.57	190		67	280	4	1	4	3	3	2	1	3	3	2	1	1	1		
32					R5 (190MPa)	87.57	192		55	282	3	2	1	3	-	-	1	3	-	-	2	1	1		
33					R5 (190MPa)	87.57	201		60	291	4	1	3	3	3	2	1	3	3	2	1	1	1		
34					R5 (190MPa)	87.57	186		64	276	3	1	4	4	3	2	1	4	3	2	1	1	1		
35					R5 (190MPa)	87.57	204		52	294	4	1	4	3	3	2	1	4	3	2	1	1	1		
36					R5 (190MPa)	87.57	196		64	286	3	2	1	3	-	-	1	3	-	-	2	1	1		
37					R5 (190MPa)	87.57	183		51	273	4	1	4	3	3	2	1	4	3	2	1	1	1		
38					R5 (190MPa)	87.57	209		54	299	3	1	2	3	3	2	1	3	3	2	1	1	1		
39					R5 (190MPa)	87.57	198		62	288	4	1	4	3	3	2	1	4	3	2	2	1	1		
40					R5 (190MPa)	87.57	183		53	273	4	2	1	4	-	-	1	4	-	-	1	1	1		
41					R5 (190MPa)	87.57	211		59	301	4	1	4	3	3	2	1	4	3	2	1	1	1		
42					R5 (190MPa)	87.57	205		60	295	3	1	2	3	3	2	1	3	3	2	1	1	1		
43					R5 (190MPa)	87.57	196		64	286	3	2	1	3	-	-	1	3	-	-	2	1	1		
44					R5 (190MPa)	87.57	203		57	293	4	2	2	3	3	2	1	3	3	2	1	1	1		
				Talud					345	72	75														

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

Tabla 5.2. Registro geomecánico EG-02.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC												BENIAWSKY RMR (1989) Superficie								
UBICACIÓN				TAJO BENDICIÓN DE DIOS																					
CÓDIGO	EG-02			TRAMO	-	DE	-	A	-																
RESPONSABLE	Limay Malca Milton Berlit			HOJA N°	2	DE	-	-	-																
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	EJECUTADO POR	Limay Malca Milton Berlit				FECHA	25/10/2024															
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																		
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	LITOLÓGIA FORMAC.	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN		
								E=Estratificada	σ_{ci}	ND	20	DIRECCIÓN			1= >2	1= <1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real		
								D=Diaclasa																L	3.50
Fn=F.Normal																									
3=Mod	Prom. Golpes	λ	5.7143	Z/R	DIP	DD	4= 0.2-0.06	4= 10-20	4= 1-5	4=Ondulad. lis	4=Óxidos	4=Suave<5mm	4=Muy Alt.	4=Goteando											
4=Alt. Met.															3 Golp	γ_p	5= <0.06	5= >20	5= >5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo	
5=Compl.																									
								SE=Sobrees.																	
								C=Contacto																	
1	772267.00	9263173.00	2746.00	Formación Cajamarca (Ks-ca)Calizas mudstone micrítica de color gris azulada de grano fino, inalterada de fractura fresca.	1	3	1	E	R5 (205MPa)	88.74	26	37	116	3	4	4	2	1	5	1	1	1			
2					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	42	32	132	2	4	4	2	3	2	2	1	1	1		
3					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	30	42	120	3	4	4	3	1	5	1	1	1	1		
4					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	35	39	125	3	3	5	2	4	3	1	1	1	1		
5					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	39	35	129	3	4	4	2	3	2	1	1	1	1		
6					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	28	30	118	3	4	4	3	1	5	2	1	1	1		
7					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	40	41	130	3	4	4	2	4	3	2	1	1	1		
8					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	33	33	123	2	3	5	2	1	5	1	1	1	1		
9					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	37	40	127	3	4	4	2	3	2	2	1	1	1		
10					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	28	33	118	3	4	4	3	1	5	1	1	1	1		
11					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	37	34	127	3	4	4	2	4	3	1	1	1	1		
12					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	36	37	126	3	3	5	2	1	5	1	1	1	1		
13					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	41	31	131	2	4	4	3	3	2	1	1	1	1		
14					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	28	43	118	3	3	4	2	3	2	1	1	1	1		
15					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	36	38	126	2	4	5	2	4	3	1	1	1	1		
16					1	3	1		R5 (205MPa)	88.74	287	83	17	2	1	4	4	1	5	2	1	1	1		
17					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	279	85	9	3	2	1	5	-	-	1	1	1	1			
18					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	283	71	13	4	1	4	4	1	5	1	1	1	1			
19					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	291	68	21	3	2	2	5	1	5	1	1	1	1			
20					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	281	75	11	2	1	4	4	1	5	2	1	1	1			
21					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	276	80	6	4	2	4	4	4	3	2	1	1	1			
22					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	297	74	27	3	1	1	4	-	-	2	1	1	1			
23					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	280	70	10	2	1	4	5	1	5	1	1	1	1			
24					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	286	76	16	4	2	4	4	4	3	1	1	1	1			
25					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	301	81	31	4	1	1	4	-	-	1	1	1	1			
26					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	294	74	24	2	1	4	4	4	3	2	1	1	1			
27					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	283	73	13	4	2	2	5	1	5	1	1	1	1			
28					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	305	76	35	3	1	4	4	4	3	1	1	1	1			
29					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	311	79	41	2	2	1	4	-	-	2	1	1	1			
30					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	284	80	14	3	2	4	5	1	5	1	1	1	1			
31					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	338	86	68	2	1	4	2	1	5	1	1	1	1			
32					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	332	82	62	3	2	1	3	-	-	2	1	1	1			
33					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	329	83	59	2	1	4	2	1	5	1	1	1	1			
34					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	335	79	65	3	1	2	2	4	3	1	1	1	1			
35					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	331	75	61	3	1	4	2	1	5	1	1	1	1			
36					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	327	81	57	3	1	1	2	-	-	2	1	1	1			
37					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	325	79	55	2	2	4	3	4	3	1	1	1	1			
38					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	334	80	64	3	1	4	2	1	5	1	1	1	1			
39					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	325	75	55	3	1	1	2	-	-	1	1	1	1			
40					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	319	73	49	2	2	4	2	1	5	2	1	1	1			
41					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	334	81	64	3	1	4	3	4	3	1	1	1	1			
42					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	328	84	58	3	2	2	2	1	5	1	1	1	1			
43					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	331	76	61	2	1	4	3	1	5	2	1	1	1			
44					1	3	1	R5 (205MPa)	88.74	330	71	60	2	1	2	2	4	3	2	1	1	1			
								Talud	351	71	81														

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

Tabla 5.3. Registro geomecánico EG-03.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS	EVALUACIÓN GEOMECAÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC										BENIAWSKY RMR (1989) Superficie								
UBICACIÓN				TAJO BENDICIÓN DE DIOS																			
CÓDIGO	EG-03			TRAMO	-	DE	-	A	-														
RESPONSABLE	Limay Malca Milton Berlit			HOJA N°	3	DE	-	-															
SISTEMA	WGS	84	ZONA 175	EJECUTADO POR				Limay Malca Milton Berlit				FECHA		25/10/2024									
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada D=Diaclasa	σ_{ci}	ND	22	DIRECCIÓN							TIPO	DUREZA				
				1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	Fn=F.Normal	σ_{ci}	L	3.1	Z/R	DIP	DD	1= >2	1= <1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real	
				2=Lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	Fi=F.Inversa		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.			
				3=Mod	3=Bajo	3=Bloq-Capas	Fd=F.Directa	4= 0.2-0.06	4= 10-20	4= 1-5	4=Ondulad.-lis	4=Óxidos	4=Suave<5mm	4=Muy Alt.	4=Goteando								
				4=Alt. Met.		4=Fract-Intens	mf=Microfalla	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=Sobrees. C=Contacto	3 Golp	γ_p								6=Bx						
																	7=Panizo						
																	8=Veta						
																	9=Epsonita						
																	10=Aragonito						
																	11=Pirolusita						
1	772265.00	9263200.00	2751.00	1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	31	42	121	3	3	4	4	4	2	2	1	1		
2				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	35	38	125	2	3	4	4	4	2	2	1	1		
3				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	40	35	130	2	3	3	4	1	5	2	1	1		
4				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	29	32	119	3	3	4	4	1	5	2	1	1		
5				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	38	41	128	2	3	4	4	1	5	1	1	1		
6				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	32	37	122	3	3	3	5	1	5	2	1	1		
7				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	27	33	117	3	3	4	4	4	2	2	1	1		
8				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	30	36	120	2	3	4	4	4	2	1	1	1		
9				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	38	28	128	2	3	4	5	4	2	1	1	1		
10				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	34	43	124	3	3	3	5	1	5	2	1	1		
11				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	31	42	121	2	3	4	4	1	5	2	1	1		
12				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	26	38	116	3	3	4	5	4	2	1	1	1		
13				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	39	31	129	2	3	3	4	1	5	2	1	1		
14				1	3	2	E	R5 (172MPa)	84.08	33	39	123	2	3	4	5	4	2	1	1	1		
15				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	231	71	321	3	1	4	4	4	2	2	1	1		
16				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	229	69	319	4	2	5	4	1	5	1	1	1		
17				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	225	65	315	4	2	4	4	4	2	2	1	1		
18				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	230	62	320	3	1	4	4	4	2	1	1	1		
19				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	222	70	312	4	2	4	4	1	5	1	1	1		
20				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	218	64	308	3	1	5	4	4	2	1	1	1		
21				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	235	68	325	3	2	5	4	1	5	2	1	1		
22				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	231	64	321	4	2	4	4	1	5	2	1	1		
23				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	228	68	318	4	1	5	4	4	2	2	1	1		
24				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	237	71	327	3	2	4	4	4	2	1	1	1		
25				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	225	63	315	4	2	5	4	1	5	1	1	1		
26				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	220	72	310	3	1	4	4	1	5	2	1	1		
27				1	3	2	Disc-1	R5 (172MPa)	84.08	235	60	325	4	1	4	4	1	5	1	1	1		
28				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	318	75	48	3	2	3	5	3	2	1	1	1		
29				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	315	74	45	3	1	4	5	4	2	1	1	1		
30				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	309	70	39	3	1	3	5	4	2	1	1	1		
31				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	316	65	46	3	2	3	4	4	2	1	1	1		
32				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	310	72	40	3	2	4	4	3	2	2	1	1		
33				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	314	64	44	3	2	4	4	4	2	2	1	1		
34				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	305	59	35	3	2	4	4	3	2	1	1	1		
35				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	311	64	41	3	2	3	4	3	2	1	1	1		
36				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	320	70	50	3	1	3	4	4	2	2	1	1		
37				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	310	76	40	3	2	3	4	3	2	2	1	1		
38				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	301	78	31	3	2	4	5	3	2	1	1	1		
39				1	3	2	Disc-2	R5 (172MPa)	84.08	317	72	47	3	1	3	5	4	2	1	1	1		
40				1	3	2	Talud	R5 (172MPa)	84.08	342	70	72	3	2	4	4	3	2	1	1	1		

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

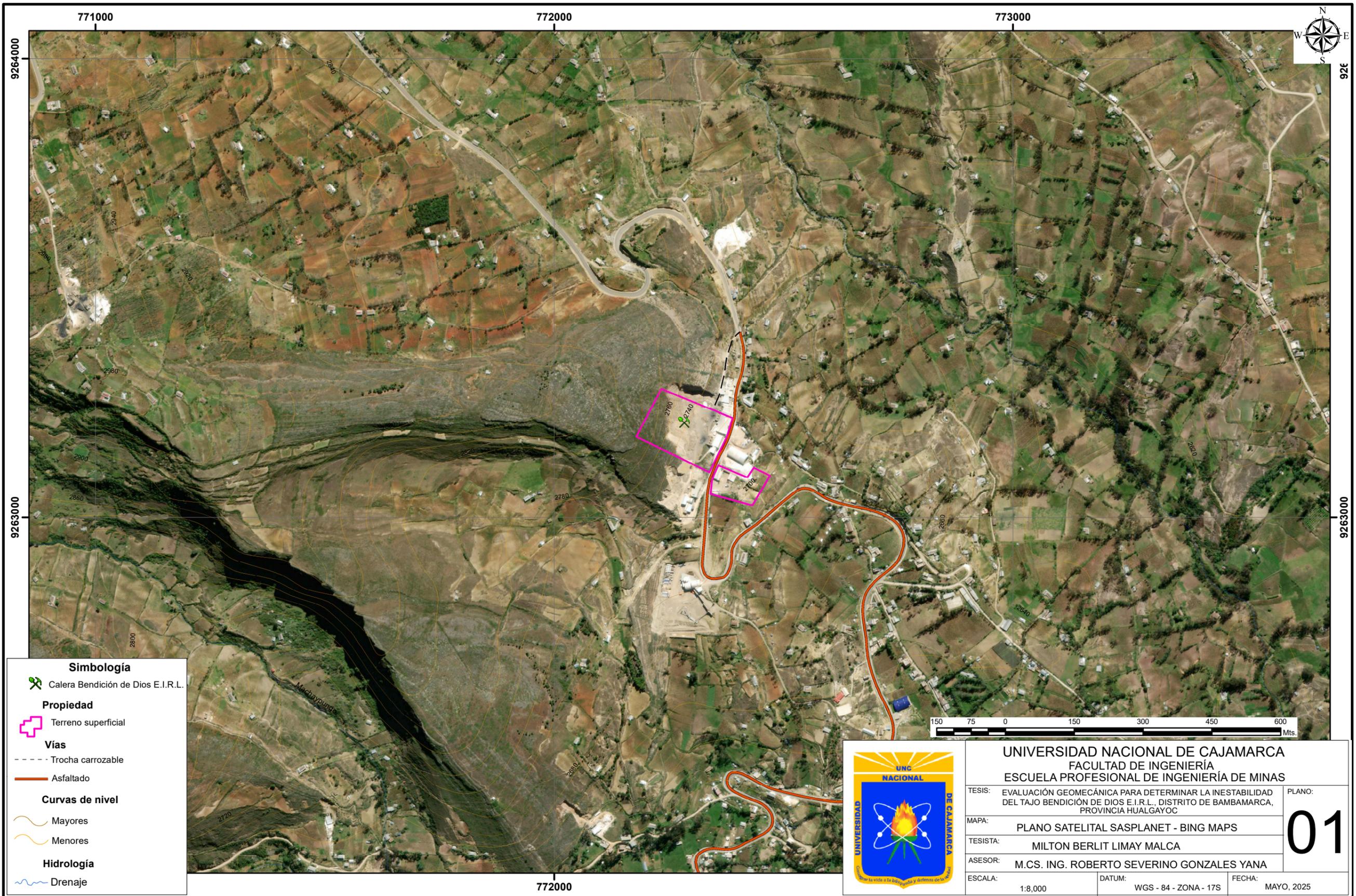
Tabla 5.4. Registro geomecánico EG-04.

REGISTRO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO				TESIS	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC										BENIAWSKY RMR (1989) Superficie														
UBICACIÓN				TAJO BENDICIÓN DE DIOS																									
CÓDIGO	EG-04			TRAMO	-	DE	-	A	-	FECHA				25/10/2024															
RESPONSABLE	Limay Malca Milton Berlit			HOJA N°	4	DE	-	-	-	EJECUTADO POR				Limay Malca Milton Berlit															
SISTEMA	WGS	84	ZONA 17S	LITOLÓGIA FORMAC.										PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
DIS. Nro	DATA GPS			MACIZO ROCOSO			TIPOS		RESIST. COMP. UNIAX.	RQD TRAMO		ORIENTACIÓN			ESPACIADO(m)	PERSIST. (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC. METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORMACIÓN						
	ESTE (m.)	NORTE (m.)	COTA (msnm.)	METEORIZACIÓN	GRADO FRACT.	GSI	E=Estratificada D=Diaclasa	σ_{ci}	ND	16	DIRECCIÓN							TIPO	DUREZA										
				1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul.	Fn=F.Normal	Prom. Golpes	λ	7.27	Z/R	DIP	DD	1= >2	1= <1	1= Nada	1=Muy Rug.	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real							
				2=Lev. Met.	2=Mediano	2=Bloq-Irreg.	Fi=F.Inversa							L	2.2	2= 2-0.6	2= 1-3	2= <0.1	2=Rugosa	2=Qz	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt.	2=Lig. Húm.	2=Lec. Apar.					
				3=Mod	3=Bajo	3=Bloq-Capas	Fd=F.Directa							3 Golp	γ_p	3= 0.6-0.2	3= 3-10	3= 0.1-1	3=Lig. Rug.	3=Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod. Alt.	3=Humedo	3=Lec. Proy.					
				4=Alt. Met.		4=Fract-Intens	mf=Microfalla									6=Bx	7=Panizo	8=Veta	9=Epsonita	10=Aragonito	11=Pirrolusita	4= 0.2-0.06	4= 10-20	4= 1-5	4=Ondulad.-lis	4=Óxidos	4=Suave<5mm	4=Muy Alt.	4=Goteando
				5=Compl.		5=Fract-Intens	SE=Sobrees.															5= <0.06	5= >20	5= >5	5=Suave	5=Roca Tritur.	5=Suave>5mm	5=Descomp.	5=Flujo
1	772274.00	9263255.00	2751.00	1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	26	44	116	2	3	5	5	1	5	2	1	1								
2				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	31	46	121	3	4	4	5	1	5	1	1	1								
3				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	38	40	128	3	3	5	5	4	4	2	1	1								
4				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	40	48	130	2	4	4	4	1	5	2	1	1								
5				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	28	38	118	3	3	3	5	1	5	2	1	1								
6				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	30	42	120	2	4	5	5	1	5	2	1	1								
7				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	35	36	125	2	3	4	5	4	4	1	1	1								
8				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	28	41	118	3	3	3	4	1	5	2	1	1								
9				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	39	33	129	2	3	3	5	4	4	2	1	1								
10				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	33	39	123	3	4	5	4	1	5	2	1	1								
11				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	30	32	120	2	3	4	5	4	4	2	1	1								
12				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	27	41	117	3	4	5	5	1	5	1	1	1								
13				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	273	75	3	3	2	4	5	1	5	2	1	1								
14				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	280	72	10	3	3	4	4	4	4	2	1	1								
15				1	3	2	E	R5 (187MPa)	83.47	284	71	14	3	3	3	5	3	2	2	1	1								
16				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	272	81	2	2	2	4	5	1	5	2	1	1								
17				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	281	68	11	3	2	4	5	4	4	2	1	1								
18				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	286	78	16	3	3	3	5	1	5	1	1	1								
19				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	276	74	6	2	2	4	4	3	2	2	1	1								
20				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	279	79	9	3	3	4	5	1	5	2	1	1								
21				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	291	74	21	3	2	3	5	4	4	2	1	1								
22				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	279	69	9	3	3	4	5	3	2	2	1	1								
23				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	301	71	31	2	3	3	4	1	5	1	1	1								
24				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	278	73	8	3	2	4	5	1	5	1	1	1								
25				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	279	78	9	3	3	3	5	4	4	2	1	1								
26				1	3	2	Disc-1	R5 (187MPa)	83.47	283	74	13	3	3	3	5	3	2	2	1	1								
27				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	215	74	305	3	2	5	4	-	-	2	1	1								
28				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	230	70	320	2	1	5	5	1	5	1	1	1								
29				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	238	78	328	3	3	3	5	3	2	2	1	1								
30				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	210	65	300	3	1	5	5	-	-	2	1	1								
31				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	222	72	312	3	1	5	4	3	2	1	1	1								
32				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	219	66	309	2	3	5	5	-	-	1	1	1								
33				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	228	71	318	3	1	5	5	1	5	1	1	1								
34				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	231	79	321	3	3	3	5	-	-	1	1	1								
35				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	207	62	297	2	1	5	4	3	2	2	1	1								
36				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	216	78	306	3	1	5	5	-	-	2	1	1								
37				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	235	55	325	3	2	5	4	1	5	2	1	1								
38				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	239	59	329	3	2	3	5	1	5	1	1	1								
39				1	3	2	Disc-2	R5 (187MPa)	83.47	227	70	317	2	3	5	5	-	-	2	1	1								
40				1	3	2	Talud	R5 (187MPa)	83.47	224	52	314	2	3	5	5	3	2	1	1	1								
							Talud			349	69	79																	

Diseño Original: M.Sc. Victor Tolentino

Diseño Modificado: Reinaldo Rodriguez - 2017

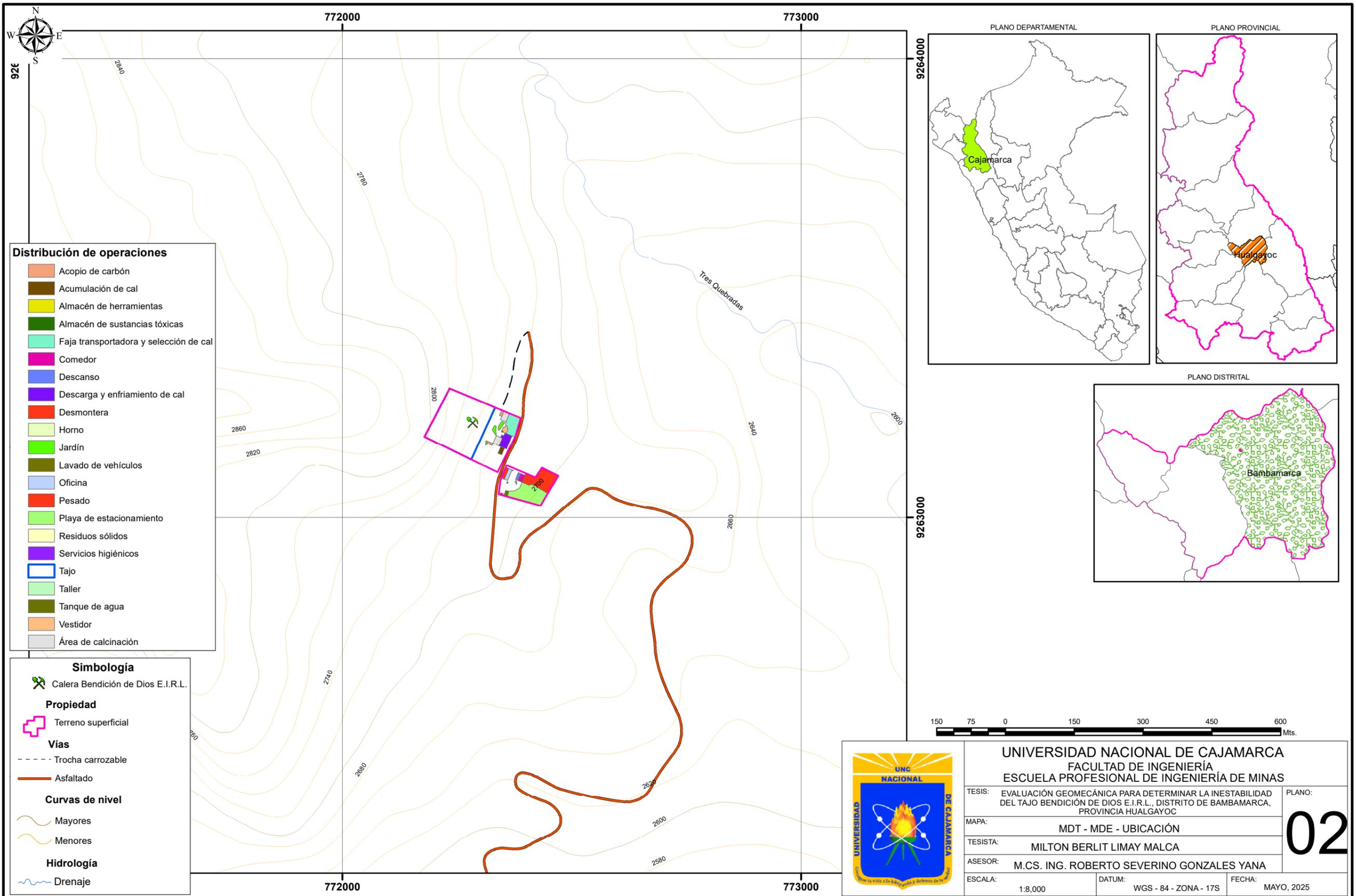
ANEXO C
PLANOS



Simbología	
	Calera Bendición de Dios E.I.R.L.
Propiedad	
	Terreno superficial
Vías	
	Trocha carrozable
	Asfaltado
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores
Hidrología	
	Drenaje

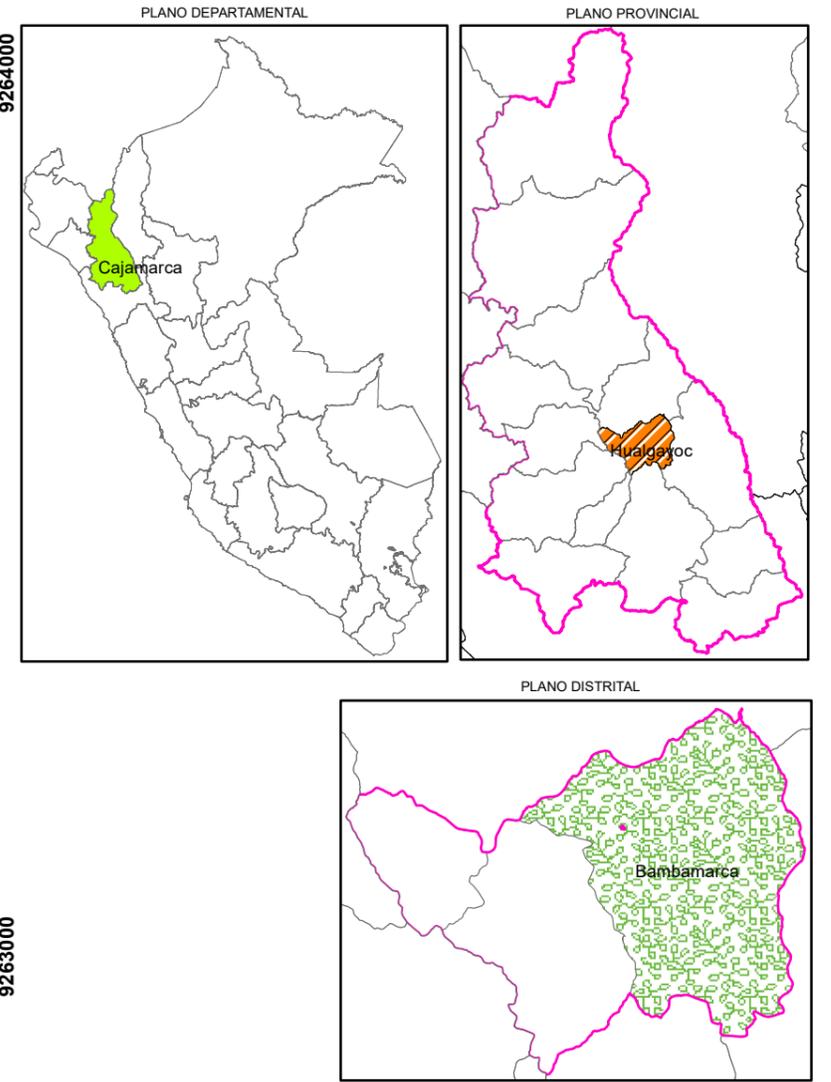


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESISTA:	EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC	PLANO:
MAPA:	PLANO SATELITAL SASPLANET - BING MAPS	01
TESISTA:	MILTON BERLIT LIMAY MALCA	
ASESOR:	M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA	
ESCALA:	1:8,000	DATUM:
		WGS - 84 - ZONA - 17S
		FECHA:
		MAYO, 2025

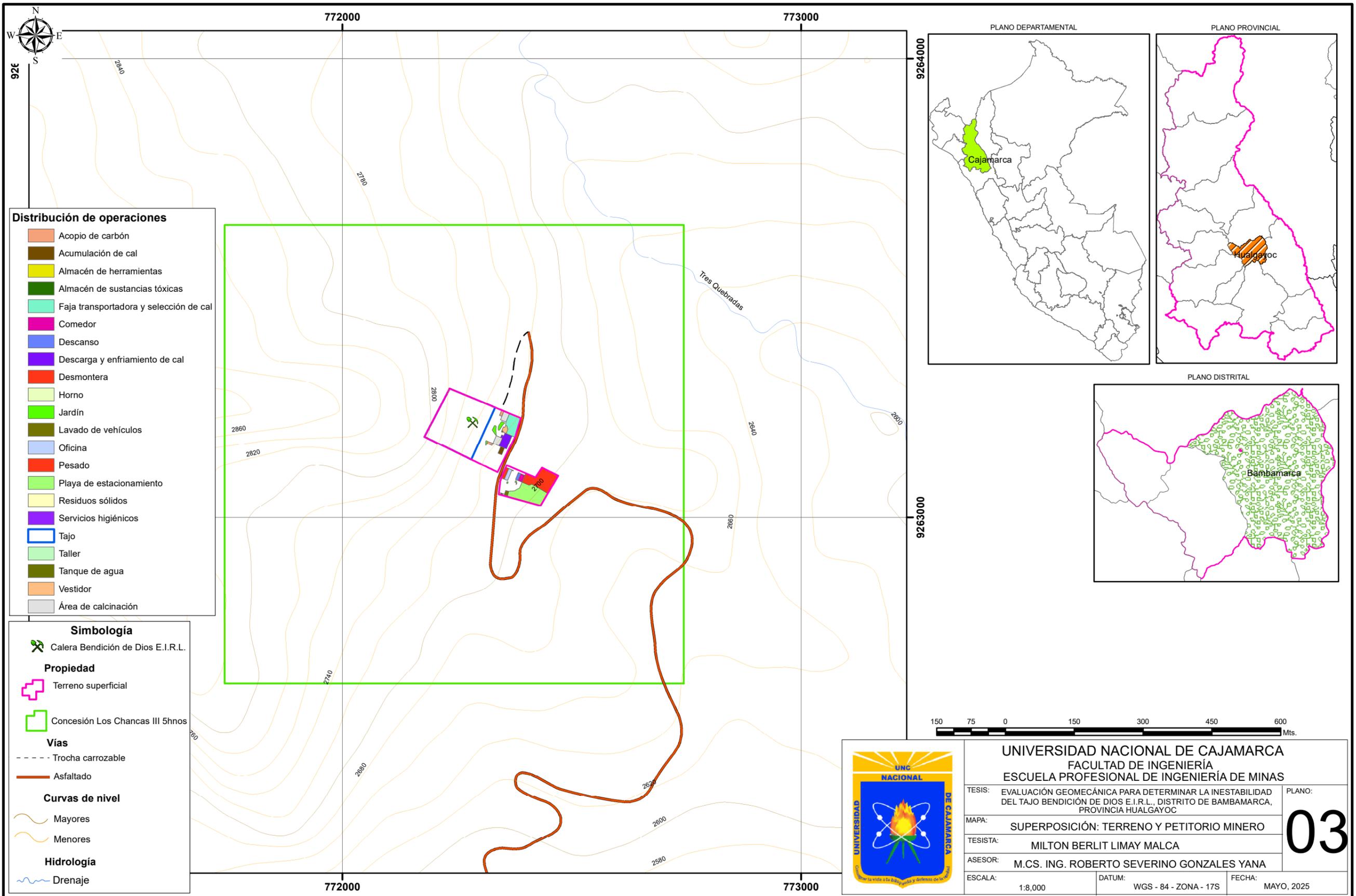


- Distribución de operaciones**
- Acopio de carbón
 - Acumulación de cal
 - Almacén de herramientas
 - Almacén de sustancias tóxicas
 - Faja transportadora y selección de cal
 - Comedor
 - Descanso
 - Descarga y enfriamiento de cal
 - Desmontera
 - Horno
 - Jardín
 - Lavado de vehículos
 - Oficina
 - Pesado
 - Playa de estacionamiento
 - Residuos sólidos
 - Servicios higiénicos
 - Tajo
 - Taller
 - Tanque de agua
 - Vestidor
 - Área de calcinación

- Simbología**
- Calera Bendición de Dios E.I.R.L.
 - Propiedad**
 - Terreno superficial
 - Vías**
 - Trocha carrozable
 - Asfaltado
 - Curvas de nivel**
 - Mayores
 - Menores
 - Hidrología**
 - Drenaje

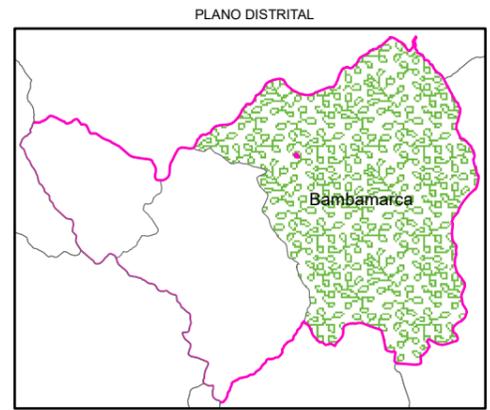
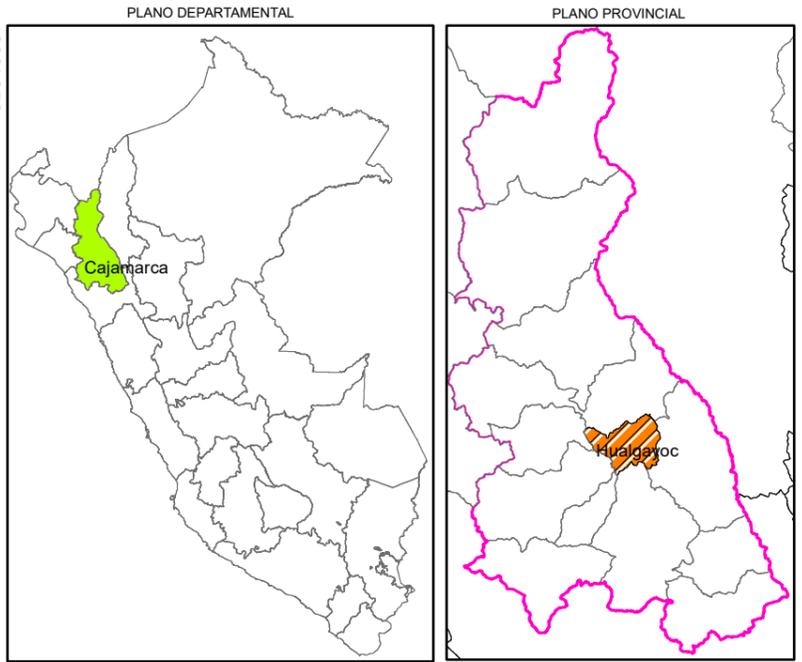


	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		02
	TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC		
	MAPA: MDT - MDE - UBICACIÓN		
	TESISISTA: MILTON BERLIT LIMAY MALCA		
ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA		ESCALA: 1:8,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MAYO, 2025	

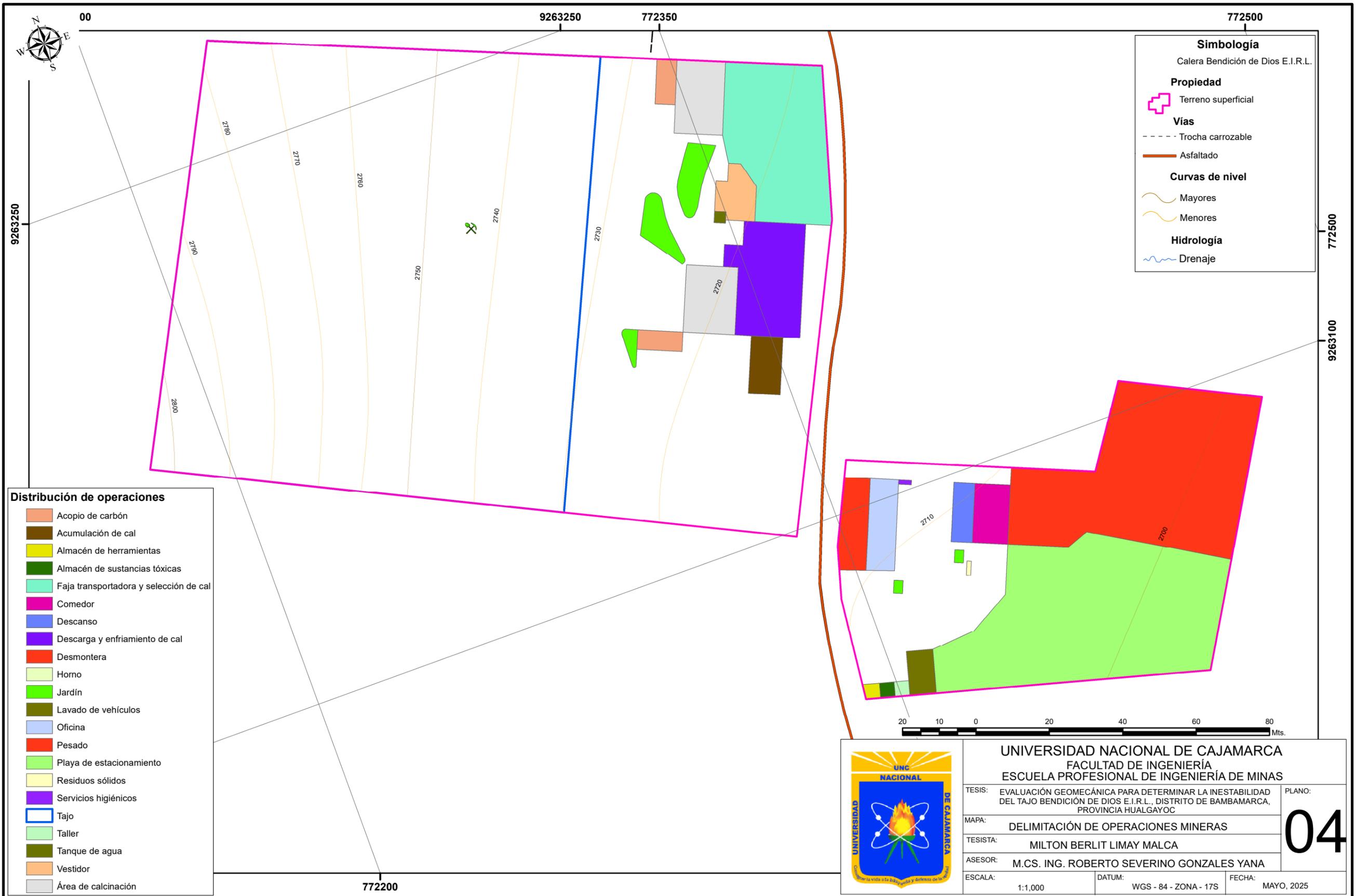


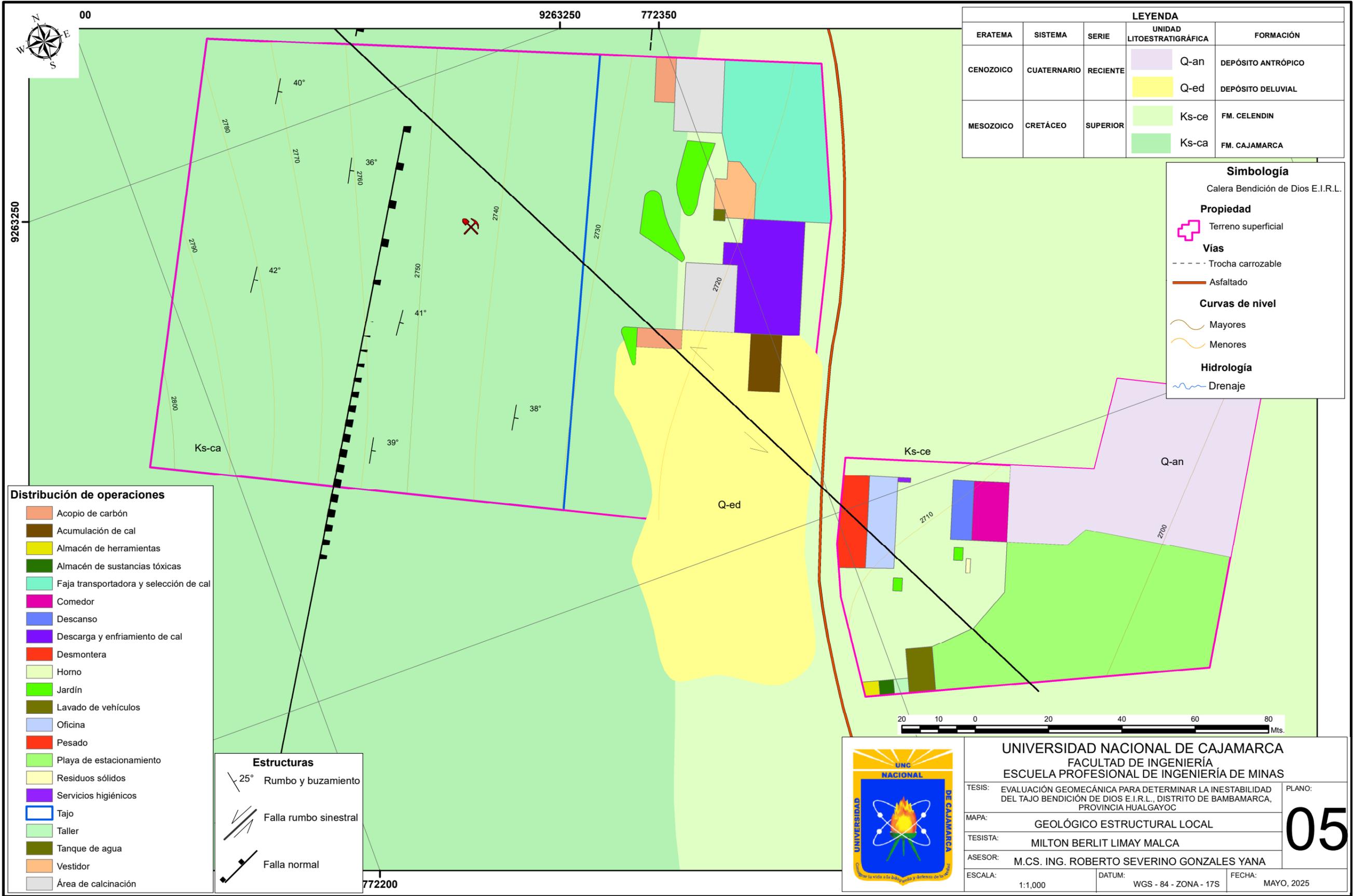
- Distribución de operaciones**
- Acopio de carbón
 - Acumulación de cal
 - Almacén de herramientas
 - Almacén de sustancias tóxicas
 - Faja transportadora y selección de cal
 - Comedor
 - Descanso
 - Descarga y enfriamiento de cal
 - Desmontera
 - Horno
 - Jardín
 - Lavado de vehículos
 - Oficina
 - Pesado
 - Playa de estacionamiento
 - Residuos sólidos
 - Servicios higiénicos
 - Tajo
 - Taller
 - Tanque de agua
 - Vestidor
 - Área de calcinación

- Simbología**
- Calera Bendición de Dios E.I.R.L.
- Propiedad**
- Terreno superficial
 - Concesión Los Chancas III Shnos
- 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: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC		PLANO:
	MAPA: SUPERPOSICIÓN: TERRENO Y PETITORIO MINERO		03
	TESIS: MILTON BERLIT LIMAY MALCA		
	ASESOR: M.C.S. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA		FECHA:
ESCALA: 1:8,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	MAYO, 2025	





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

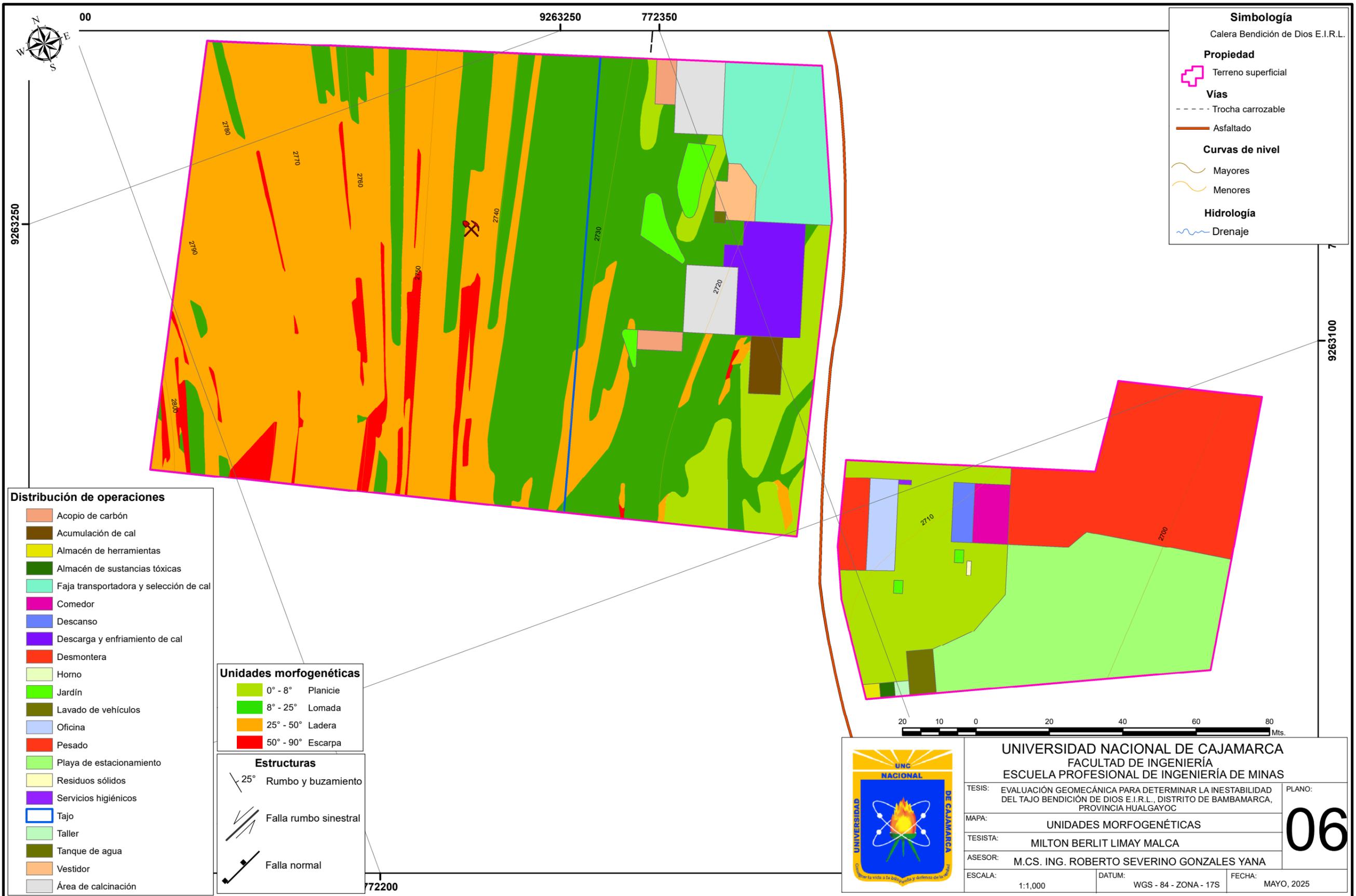
Simbología	
Calera Bendición de Dios E.I.R.L.	
Propiedad	
	Terreno superficial
Vías	
	Trocha carrozable
	Asfaltado
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores
Hidrología	
	Drenaje

Distribución de operaciones	
	Acopio de carbón
	Acumulación de cal
	Almacén de herramientas
	Almacén de sustancias tóxicas
	Faja transportadora y selección de cal
	Comedor
	Descanso
	Descarga y enfriamiento de cal
	Desmontera
	Horno
	Jardín
	Lavado de vehículos
	Oficina
	Pesado
	Playa de estacionamiento
	Residuos sólidos
	Servicios higiénicos
	Tajo
	Taller
	Tanque de agua
	Vestidor
	Área de calcinación

Estructuras	
	25° Rumbo y buzamiento
	Falla rumbo sinistral
	Falla normal



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC	PLANO: 05	
MAPA: GEOLÓGICO ESTRUCTURAL LOCAL		
TESISISTA: MILTON BERLIT LIMAY MALCA		
ASESOR: M.CS. ING. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA		
ESCALA: 1:1,000	DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: MAYO, 2025



Simbología
 Calera Bendición de Dios E.I.R.L.

Propiedad
 Terreno superficial

Vías
 Trocha carrozable
 Asfaltado

Curvas de nivel
 Mayores
 Menores

Hidrología
 Drenaje

Distribución de operaciones

- Acopio de carbón
- Acumulación de cal
- Almacén de herramientas
- Almacén de sustancias tóxicas
- Faja transportadora y selección de cal
- Comedor
- Descanso
- Descarga y enfriamiento de cal
- Desmontera
- Horno
- Jardín
- Lavado de vehículos
- Oficina
- Pesado
- Playa de estacionamiento
- Residuos sólidos
- Servicios higiénicos
- Tajo
- Taller
- Tanque de agua
- Vestidor
- Área de calcinación

Unidades morfogénicas

- 0° - 8° Planicie
- 8° - 25° Lomada
- 25° - 50° Ladera
- 50° - 90° Escarpa

Estructuras

- 25° Rumbo y buzamiento
- Falla rumbo sinistral
- Falla normal

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

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC

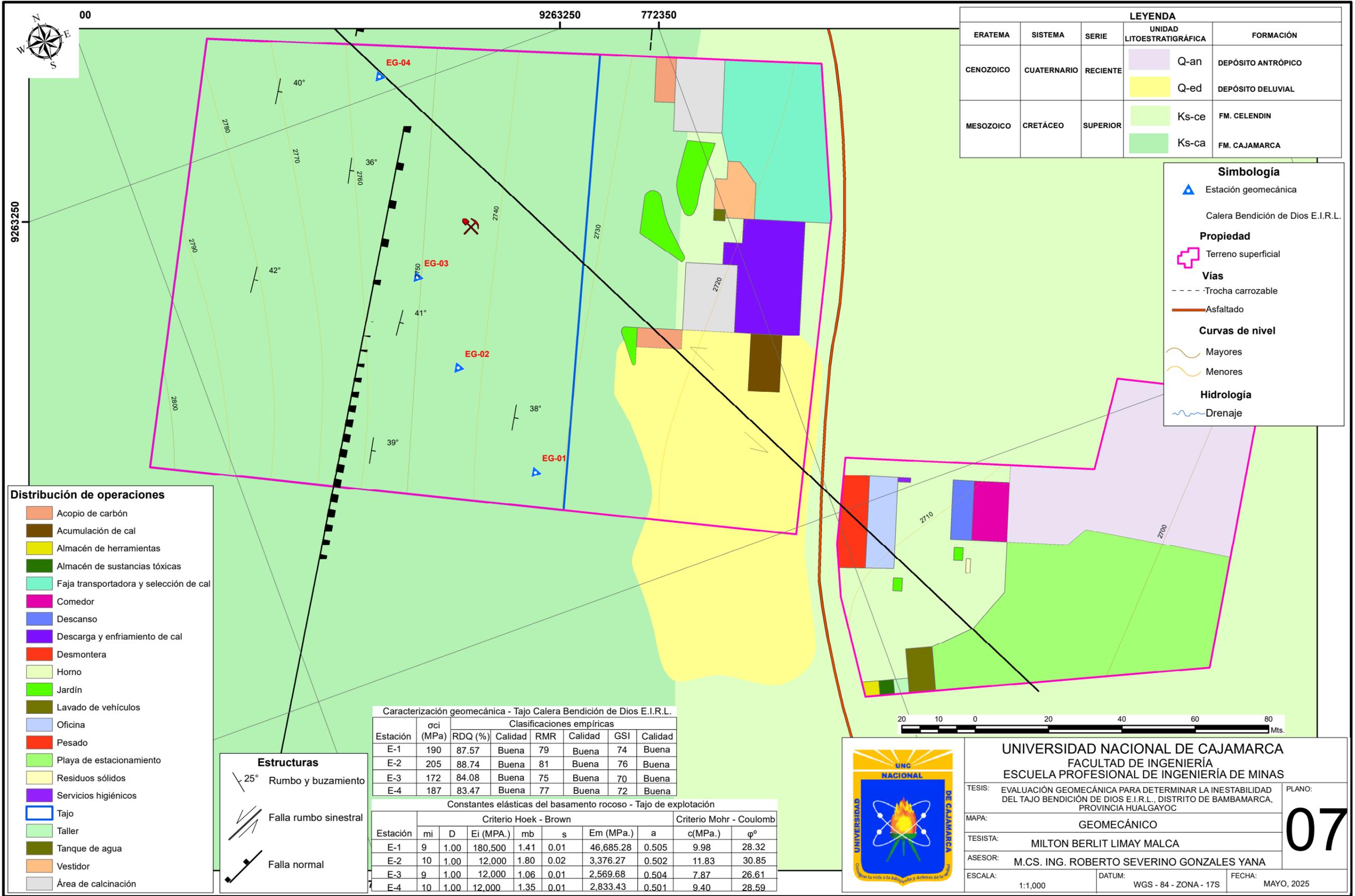
MAPA: UNIDADES MORFOGENÉTICAS

TESISTA: MILTON BERLIT LIMAY MALCA

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

ESCALA: 1:1,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MAYO, 2025

PLANO: **06**



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

Simbología	
	Estación geomecánica
Calera Bendición de Dios E.I.R.L.	
Propiedad	
	Terreno superficial
Vías	
	Trocha carrozable
	Asfaltado
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores
Hidrología	
	Drenaje

Distribución de operaciones	
	Acopio de carbón
	Acumulación de cal
	Almacén de herramientas
	Almacén de sustancias tóxicas
	Faja transportadora y selección de cal
	Comedor
	Descanso
	Descarga y enfriamiento de cal
	Desmontera
	Horno
	Jardín
	Lavado de vehículos
	Oficina
	Pesado
	Playa de estacionamiento
	Residuos sólidos
	Servicios higiénicos
	Tajo
	Taller
	Tanque de agua
	Vestidor
	Área de calcinación

Estructuras	
	25° Rumbo y buzamiento
	Falla rumbo sinistral
	Falla normal

Caracterización geomecánica - Tajo Calera Bendición de Dios E.I.R.L.

Estación	σci (MPa)	RDQ (%)	Clasificaciones empíricas			
			Calidad	RMR	Calidad	GSI
E-1	190	87.57	Buena	79	Buena	74
E-2	205	88.74	Buena	81	Buena	76
E-3	172	84.08	Buena	75	Buena	70
E-4	187	83.47	Buena	77	Buena	72

Constantes elásticas del basamento rocoso - Tajo de explotación

Estación	Criterio Hoek - Brown						Criterio Mohr - Coulomb		
	mi	D	Ei (MPa.)	mb	s	Em (MPa.)	a	c(MPa.)	φ°
E-1	9	1.00	180,500	1.41	0.01	46,685.28	0.505	9.98	28.32
E-2	10	1.00	12,000	1.80	0.02	3,376.27	0.502	11.83	30.85
E-3	9	1.00	12,000	1.06	0.01	2,569.68	0.504	7.87	26.61
E-4	10	1.00	12,000	1.35	0.01	2,833.43	0.501	9.40	28.59



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

TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC

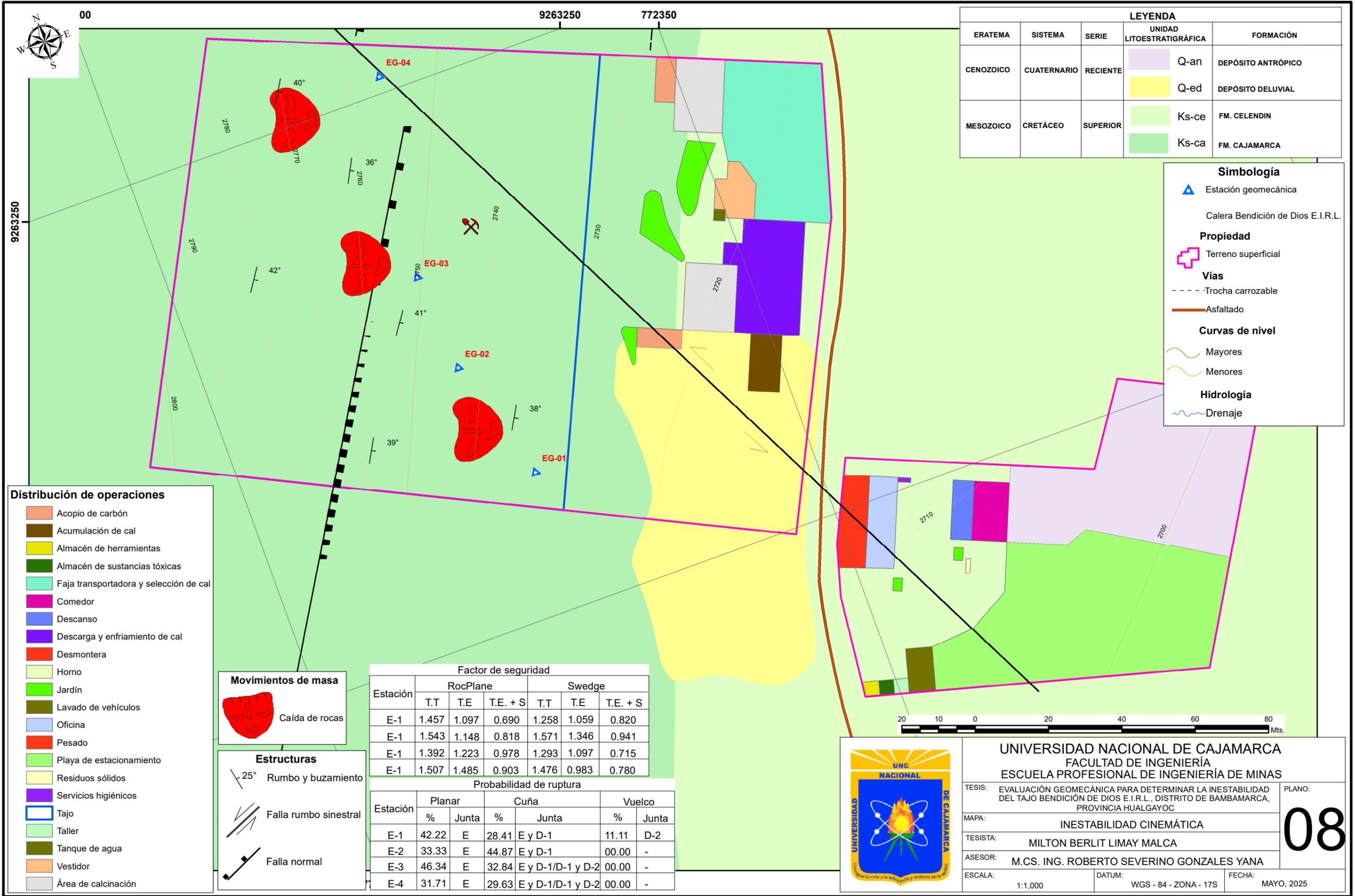
MAPA: GEOMECÁNICO

TESISTA: MILTON BERLIT LIMAY MALCA

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

ESCALA: 1:1,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MAYO, 2025

PLANO: **07**



LEYENDA				
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	FORMACIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Q-an	DEPÓSITO ANTRÓPICO
			Q-ed	DEPÓSITO DELUVIAL
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Ks-ce	FM. CELENDIN
			Ks-ca	FM. CAJAMARCA

Simbología	
	Estación geomecánica
Calera Bendición de Dios E.I.R.L.	
Propiedad	
	Terreno superficial
Vías	
	Trocha carrozable
	Asfaltado
Curvas de nivel	
	Mayores
	Menores
Hidrología	
	Drenaje

Distribución de operaciones	
	Acopio de carbón
	Acumulación de cal
	Almacén de herramientas
	Almacén de sustancias tóxicas
	Faja transportadora y selección de cal
	Comedor
	Descanso
	Descarga y enfriamiento de cal
	Desmontera
	Horno
	Jardín
	Lavado de vehículos
	Oficina
	Pesado
	Playa de estacionamiento
	Residuos sólidos
	Servicios higiénicos
	Tajo
	Taller
	Tanque de agua
	Vestidor
	Área de calcinación

Movimientos de masa	
	Caída de rocas

Estructuras	
	25° Rumbo y buzamiento
	Falla rumbo sinistral
	Falla normal

Estación	Factor de seguridad					
	RocPlane			Swedge		
	T.T	T.E	T.E. + S	T.T	T.E	T.E. + S
E-1	1.457	1.097	0.690	1.258	1.059	0.820
E-1	1.543	1.148	0.818	1.571	1.346	0.941
E-1	1.392	1.223	0.978	1.293	1.097	0.715
E-1	1.507	1.485	0.903	1.476	0.983	0.780

Estación	Probabilidad de ruptura					
	Planar		Cuña		Vuelco	
	%	Junta	%	Junta	%	Junta
E-1	42.22	E	28.41	E y D-1	11.11	D-2
E-2	33.33	E	44.87	E y D-1	00.00	-
E-3	46.34	E	32.84	E y D-1/D-1 y D-2	00.00	-
E-4	31.71	E	29.63	E y D-1/D-1 y D-2	00.00	-



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

TESISTA: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD DEL TAJO BENDICIÓN DE DIOS E.I.R.L., DISTRITO DE BAMBAMARCA, PROVINCIA HUALGAYOC

MAPA: INESTABILIDAD CINEMÁTICA

TESISTA: MILTON BERLIT LIMAY MALCA

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

ESCALA: 1:1,000 DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S FECHA: MAYO, 2025

PLANO: **08**