

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



**TESIS**

**“DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS  
POLLOC, DISTRITO DE LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA”**

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

**AUTOR:**

**Bach. Castrejón Caruanambo Eliana Ivette.**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. Rodríguez Cruzado Segundo Reinaldo.**

**CAJAMARCA – PERÚ**  
**2023**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por guiar mis pasos y brindarme fortaleza.*

*A la Universidad Nacional de Cajamarca , mi Alma Mater, por haberme albergado durante mi formación académica.*

*A mis docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, en especial a mi asesor Dr. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado, por su dedicación, apoyo, por haber compartido conmigo sus conocimientos y experiencias, enriqueciendo así mi formación profesional.*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Erasmo y Angélica por su apoyo, amor incondicional y por siempre confiar en mí. Todos mis logros son para ustedes.*

*A Edinson, Adrián y Mateo, por inspirarme a mejorar cada día y siempre mantenerme en el camino del bien*

*A toda mi familia, en especial a mi mamá Rosa por ser un ejemplo de superación y humildad.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	3
2.1.3. Antecedentes Locales .....	4
2.2. BASES TEÓRICAS .....	5
2.2.1. Modelo Geológico .....	5
2.2.2. Modelo Geomecánico .....	6
2.2.3. Índice de Calidad de la Roca RQD (1964) .....	7
2.2.4. Clasificación RMR de Bieniawski (1989) .....	8
2.2.5. Índice de Resistencia Geológica GSI (1997) .....	10
2.2.6. Resistencia a la Compresión Uniaxial de la Roca .....	12
2.2.7. Criterios de Rotura .....	13
2.2.7.1. <i>Criterio de rotura de Hoek – Brown</i> .....	13
2.2.7.2. <i>Criterio de Mohr – Coulomb</i> .....	16
2.2.8. Taludes en Roca .....	17
2.2.8.1. <i>Tipos de Rotura</i> .....	17
2.2.9. Factores que influyen en la estabilidad .....	19
2.2.10. Diseño de Explotación en Canteras .....	20



	<b>Pág.</b>
2.2.11. Condiciones de Seguridad.....	21
2.2.11.1. <i>Parámetros geométricos de diseño</i> .....	21
2.2.11.2. <i>Sistemas de explotación en Canteras</i> .....	23
2.2.11.3. <i>Alternativas de explotación en canteras</i> .....	25
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	26
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
3.1 UBICACIÓN.....	28
3.1.1. Ubicación Política .....	28
3.1.2. Ubicación Geográfica .....	29
3.2 ACCESIBILIDAD .....	30
3.3 CLIMA .....	31
3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	32
3.4.1. Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación .....	32
3.4.2. Población.....	33
3.4.3. Muestra .....	33
3.4.4. Unidad de Análisis .....	33
3.4.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	33
3.4.5.1. <i>Etapas de gabinete</i> .....	33
3.4.5.2. <i>Etapas de campo</i> .....	33
3.4.6. Recursos Materiales .....	34
3.4.6.1. <i>Equipos</i> .....	34
3.4.6.2. <i>Materiales</i> .....	34
3.5 GEOLOGÍA REGIONAL .....	35
3.5.1. Grupo Quilquiñán-Mujarrún .....	35
3.5.2. Grupo Pullucana .....	35
3.5.3. Formación Pariatambo.....	35
3.6 GEOLOGÍA LOCAL .....	36
3.6.1. Grupo Pullucana .....	36
3.6.2. Grupo Quilquiñán-Mujarrún .....	37

	Pág.
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	38
4.1.1 Estaciones geomecánicas .....	38
4.1.1.1 <i>Estación Geomecánica 1</i> .....	38
4.1.1.2 <i>Estación Geomecánica 2</i> .....	46
4.1.1.3 <i>Estación Geomecánica 3</i> .....	54
4.1.1.4 <i>Estación Geomecánica 4</i> .....	61
4.1.1.5 <i>Estación Geomecánica 5</i> .....	69
4.1.1.6 <i>Estación Geomecánica 6</i> .....	78
4.1.1.7 <i>Resultados de Estaciones Geomecánicas</i> .....	87
4.1.2 Diseños de los Métodos de Explotación .....	87
4.1.2.1 <i>Diseño del Método de Explotación A.</i> .....	91
4.1.2.2 <i>Diseño del Método de Explotación B.</i> .....	93
4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	94
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	95
5.2 RECOMENDACIONES.....	95
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de Posicionamiento Global.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
RQD	:	Índice de Calidad de la Roca.
RMR	:	Valoración de la Masa Rocosa.
$\phi'$	:	Ángulo de Fricción.
$\lambda$	:	Número de discontinuidades
$\tau$	:	Resistencia al corte
$c'$	:	Cohesión
$\sigma'_n$	:	Tensión efectiva normal
$\sigma_1$	:	Esfuerzo principal mayor
$\sigma_3$	:	Esfuerzo principal menor
$\sigma_{ci}$	:	Resistencia a compresión simple
$m_i$	:	Constante de la roca intacta
$m_b$	:	Constante del macizo rocoso
D	:	Dip.
DD	:	Dip Direction.
FS	:	Factor de Seguridad.
MDE	:	Modelo Digital de Elevaciones
EG	:	Estación Geomecánica

## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b>	Índice de Calidad de la Roca (1964) .....	8
<b>Tabla 2.</b>	Clasificación RMR <sub>89</sub> de Bieniawski.....	9
<b>Tabla 3.</b>	Tipo de roca según los valores de RMR <sub>89</sub> .....	10
<b>Tabla 4.</b>	Estimación del Índice Geológico de Resistencia, GSI, en base a una Descripción Geológica del Macizo Rocoso.....	11
<b>Tabla 5.</b>	Estimación de la RCU en campo.....	12
<b>Tabla 6.</b>	Guía para estimar el Factor de Alteración D.....	15
<b>Tabla 7.</b>	Factores condicionantes en la estabilidad de taludes.....	19
<b>Tabla 8.</b>	Ubicación Política del área de estudio.....	29
<b>Tabla 9.</b>	Ubicación Geográfica del área de estudio .....	29
<b>Tabla 10.</b>	Ruta de acceso y tiempo .....	30
<b>Tabla 11.</b>	Metodología de la Investigación .....	32
<b>Tabla 12.</b>	Índice de Calidad de la Roca, EG 1.....	39
<b>Tabla 13.</b>	RMR <sub>89</sub> - Estación Geomecánica 1 .....	40
<b>Tabla 14.</b>	Clasificación Geomecánica RMR <sub>89</sub> – Estación Geomecánica 1 .....	41
<b>Tabla 15.</b>	Índice Geológico de resistencia, EG1.....	41
<b>Tabla 16.</b>	Reporte de la Estación Geomecánica 1 .....	42
<b>Tabla 17.</b>	Índice de Calidad de la Roca, EG 2.....	46
<b>Tabla 18.</b>	RMR <sub>89</sub> - Estación Geomecánica 2.....	47
<b>Tabla 19.</b>	Clasificación Geomecánica RMR <sub>89</sub> – Estación Geomecánica 2 .....	48
<b>Tabla 20.</b>	Índice Geológico de resistencia, EG 2.....	48
<b>Tabla 21.</b>	Reporte de la Estación Geomecánica 2 .....	49
<b>Tabla 22.</b>	Índice de Calidad de la Roca, EG 3.....	54
<b>Tabla 23.</b>	RMR <sub>89</sub> - Estación Geomecánica 3.....	55
<b>Tabla 24.</b>	Clasificación Geomecánica RMR <sub>89</sub> – Estación Geomecánica 3 .....	56
<b>Tabla 25.</b>	Índice Geológico de resistencia, EG 3.....	56
<b>Tabla 26.</b>	Reporte de la Estación Geomecánica 3 .....	57
<b>Tabla 27.</b>	Índice de Calidad de la Roca, EG 4.....	61
<b>Tabla 28.</b>	RMR <sub>89</sub> - Estación Geomecánica 4.....	62
<b>Tabla 29.</b>	Clasificación Geomecánica RMR <sub>89</sub> – Estación Geomecánica 4 .....	63
<b>Tabla 30.</b>	Índice Geológico de resistencia, EG 4.....	63

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 31.</b> Reporte de la Estación Geomecánica 4 .....	64
<b>Tabla 32.</b> Índice de Calidad de la Roca, EG 5.....	69
<b>Tabla 33.</b> RMR <sub>89</sub> - Estación Geomecánica 5.....	70
<b>Tabla 34.</b> Clasificación Geomecánica RMR <sub>89</sub> – Estación Geomecánica 5 .....	71
<b>Tabla 35.</b> Índice Geológico de resistencia, EG 5.....	71
<b>Tabla 36.</b> Reporte de la Estación Geomecánica 5 .....	72
<b>Tabla 37.</b> Índice de Calidad de la Roca, EG 5.....	78
<b>Tabla 38.</b> RMR <sub>89</sub> - Estación Geomecánica 6.....	79
<b>Tabla 39.</b> Clasificación Geomecánica RMR <sub>89</sub> – Estación Geomecánica 6 .....	80
<b>Tabla 40.</b> Índice Geológico de resistencia, EG 6.....	80
<b>Tabla 41.</b> Reporte de la Estación Geomecánica 6 .....	81
<b>Tabla 42.</b> Resultados de Estaciones Geomecánicas .....	87
<b>Tabla 43.</b> Cubicación de reservas, Diseño A.....	93
<b>Tabla 44.</b> Cubicación de reservas, Diseño B.....	94

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Modelo geológico .....	6
<b>Figura 2.</b> Modelo geomecánico .....	7
<b>Figura 3.</b> Relación entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Mohr-Coulomb.....	16
<b>Figura 4.</b> Rotura plana .....	17
<b>Figura 5.</b> Rotura en cuña.....	18
<b>Figura 6.</b> Parámetros geométricos de diseño .....	23
<b>Figura 7.</b> Cantera en terreno horizontal.....	24
<b>Figura 8.</b> Cantera en ladera .....	25
<b>Figura 9.</b> Ubicación del Yacimiento de calizas Polloc.....	28
<b>Figura 10.</b> Ubicación de la zona de estudio.....	29
<b>Figura 11.</b> Ruta de acceso Cajamarca - Polloc .....	30
<b>Figura 12.</b> Ruta de acceso Polloc - Yacimiento de calizas .....	31
<b>Figura 13.</b> Diagrama meteorológico de la estación La Encañada.....	31
<b>Figura 14.</b> Temperatura promedio por mes en La Encañada. ....	32
<b>Figura 15.</b> Estratos de calizas nodulares grisáceas pertenecientes al Grupo Pulluicana, Formación Yumagual. E 794758, N 9213091.....	36
<b>Figura 16.</b> Afloramientos de calizas nodulares delgadas intercaladas con margas pardoamarillentas perteneciente a la Formación Quilquiñán Mujarrún. E 794213, N 9213132. (Vista al SW). ....	37
<b>Figura 17.</b> Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 1. ....	43
<b>Figura 18.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 1. Diseño A. ...	44
<b>Figura 19.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 1. Diseño B. ...	45
<b>Figura 20.</b> Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 2.....	50
<b>Figura 21.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 2. Diseño A. ..	51
<b>Figura 22.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 2. Diseño B. ...	52
<b>Figura 23.</b> Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 2. Diseño B. ....	53
<b>Figura 24.</b> Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y	

	<b>Pág.</b>
Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 3. ....	58
<b>Figura 25.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 3. Diseño A. ...	59
<b>Figura 26.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 3. Diseño B. ...	60
<b>Figura 27.</b> Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 4. ....	65
<b>Figura 28.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 4. Diseño A. ...	66
<b>Figura 29.</b> Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 4. Diseño A. ....	67
<b>Figura 30.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 4. Diseño B. ...	68
<b>Figura 31.</b> Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 5. ....	73
<b>Figura 32.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 5. Diseño A. ...	74
<b>Figura 33.</b> Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 5. Diseño A. ....	75
<b>Figura 34.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 5. Diseño B. ...	76
<b>Figura 35.</b> Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 5. Diseño B. ....	77
<b>Figura 36.</b> Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 6. ....	82
<b>Figura 37.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 6. Diseño A. ...	83
<b>Figura 38.</b> Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 6. Diseño A. ....	84
<b>Figura 39.</b> Proyección estereográfica de discontinuidades, EG 6. Diseño B. ...	85
<b>Figura 40.</b> Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 6. Diseño B. ....	86
<b>Figura 41.</b> Parámetros Geométricos de Diseño del Método de explotación del Yacimiento de Caliza Polloc. ....	91
<b>Figura 42.</b> Perfil A-A' - Diseño A del Método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc. ....	92
<b>Figura 43.</b> Perfil B-B' - Diseño B del Método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc. ....	94

## RESUMEN

La presente Investigación analiza el Comportamiento Geomecánico del Yacimiento de Calizas Polloc, ubicado en el Distrito de La Encañada, Provincia Cajamarca, cuya extensión es de 10 hectáreas. La finalidad es definir el Diseño del Método de Explotación de las calizas pertenecientes al Grupo Pulluicana (Formación Yumagual) del Cretácico Superior. Se analizaron 6 Estaciones para definir el Comportamiento Geomecánico del Yacimiento, utilizando parámetros  $RMR_{89}$ , RQD, RCU y GSI, determinándose que la Calidad de la Roca según el RQD es Media para las estaciones EG 3 y EG 5 y Buena para las estaciones EG 1, EG 2, EG4 y, EG 6. Según la Clasificación  $RMR_{89}$  de Bieniawski la Roca es de Calidad Regular en la estación EG 5 y Buena en las estaciones EG 1, EG 2, EG 3, EG 4 y EG 6. De acuerdo al índice Geológico de Resistencia GSI, la Roca es de Calidad Buena para las Estaciones EG 1, EG 2, EG 3, EG 4, EG 5, EG 6. De los resultados obtenidos en el Software RocData se calculó la cohesión entre 0.718 a 2.074 MPa ; y ángulo de fricción entre 45.22° a 49.32°, determinando una roca compacta y dura. El software DIPS reportó bajos porcentajes de rotura planar y cuñas. Con los resultados obtenidos se diseñó el Métodos de Explotación por Bancos Escalonados Ascendentes cuyos parámetros de diseño son: altura de banco 7m, anchura de banco 6m, ángulo de trabajo 75° y ángulo de talud final 42°.

Palabras clave: Comportamiento geomecánico, método de explotación.



## ABSTRACT

The present Investigation analyzes the Geomechanical Behavior of the Polloc Limestone Deposit, located in the Encañada District, Cajamarca Province, whose extension is 10 hectares. The purpose is to define the Design of the Exploitation Method of the limestones belonging to the Pulluicana Group (Yumagual Formation) of the Upper Cretaceous. 6 Stations were analyzed to define the Geomechanical Behavior of the Reservoir, using RMR89, RQD, RCU and GSI parameters, determining that the Rock Quality according to the Deere's RQD is Medium for stations EG 3 and EG 5 and Good for stations EG 1, EG 2, EG 4 and EG 6. According to Bieniawski's RMR<sub>89</sub> Classification, the Rock is of Regular Quality at station EG 5 and Good at stations EG 1, EG 2, EG 3, EG 4 and EG 6. According to the Geological Resistance Index GSI, the Rock is of Good Quality for Stations EG 1, EG 2, EG 3, EG 4, EG 5, EG 6. From the results obtained in the RocData Software, cohesion between 0.718 and 2.074 was calculated. MPa; and friction angle between 45.22° to 49.32°, determining a compact and hard rock. The DIPS software reported low percentages of flat breakage and wedges. With the results obtained, we designed the Exploitation Methods for Ascending Staggered Banks, whose design parameters are bank height 7m, bank width 6m, working angle 75° and final slope angle 42°.

Keywords: Geomechanical behavior, exploitation method.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El Yacimiento de calizas Polloc, comprende 10 hectáreas de terreno, ubicadas en el Centro Poblado de Polloc, Distrito de La Encañada, donde observamos afloramientos de rocas competentes, pertenecientes al Grupo Pulluicana (Formación Yumagual) del Cretácico Superior, conformado por calizas grisáceas, nodulares, macizas, presentando espesor de la Formación aproximado a 700 m. Estas rocas se encuentran moderadamente fracturadas y levemente meteorizadas. El comportamiento geomecánico es similar en toda la zona de investigación, y por el interés de explotar la caliza para comercialización en la zona y empresas locales y regionales, es necesario analizar el comportamiento geomecánico, para el diseño del método de explotación de la cantera.

Por lo mencionado, formulamos el problema de investigación: ¿Cómo influye el comportamiento geomecánico del yacimiento de calizas Polloc en el diseño del método de explotación?, cuya hipótesis es: El comportamiento geomecánico del yacimiento de calizas Polloc donde se desarrollará el diseño del método de explotación presenta estructuras, fracturamiento, meteorización y condiciones apropiadas para el diseño de explotación por bancos.

La justificación de la investigación comprende el estudio geológico y geomecánico del Yacimiento de calizas Polloc, en donde se observan afloramientos de roca caliza competente, con la finalidad de diseñar el método de explotación por bancos, considerando parámetros que condicionan la inestabilidad del talud, teniendo en consideración el grado de fracturamiento, meteorización del macizo rocoso y su comportamiento geomecánico, cohesión y ángulo de fricción.

El objetivo general es: Definir el método de explotación del yacimiento de calizas Polloc. Los objetivos específicos son: Realizar el cartografiado geológico del yacimiento de calizas Polloc, Determinar el comportamiento geomecánico del

macizo rocoso del yacimiento de calizas Polloc, Caracterizar Geomecánicamente el yacimiento de calizas Polloc y Diseñar el modelo de explotación del yacimiento de caliza Polloc.

La investigación, se desarrolla en cinco capítulos: En el primer capítulo, se incluye el planteamiento y formulación del problema, objetivo general y específicos, hipótesis y justificación.

En el capítulo II, "Marco Teórico", se consideran los antecedentes de la investigación desde el aspecto internacional, nacional y local; así como bases teóricas que sustentan la misma y la definición de términos básicos.

En el capítulo III, se detalla la ubicación geográfica, metodología, procedimientos, técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos así como los recursos empleados.

En el capítulo IV, se analizaron 6 estaciones geomecánicas mediante los Softwares RocData y DIPS, evaluando: RQD, GSI, RMR<sub>89</sub> con sus parámetros resistencia de la matriz rocosa, separación de diaclasas, condiciones de discontinuidades, presencia de agua. Así también se determinó la cohesión y ángulo de fricción para posteriormente presentar dos propuesta de Diseño para la Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc realizadas en el Software ArcGIS.

En el capítulo V se presenta las conclusiones y recomendaciones y finalmente se muestra las referencias bibliográficas revisadas y consultadas para el desarrollo de la presente investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Inocencio (2019) en su trabajo de investigación: Evaluación de las características geomecánicas del macizo rocoso en el yacimiento de caliza "Mogote San Nicolás", empleó el índice RQD de Deere, la clasificación Q de Barton y el RMR de Bieniawski para la obtención de la calidad de la roca. Encontró que según la clasificación RMR, la roca tiene un rango de calidad que varía entre regular a media, alcanzando valores de 50 a 78. Según el RQD las rocas tienen un rango de calidad media. Concluyendo que, a partir de los resultados en condiciones naturales o in situ, el macizo rocoso se evalúa de calidad regular y al ser los bloques de rocas de tamaño medio, los tramos del macizo rocoso del yacimiento estudiado son medianamente estables por lo que es apropiada una explotación por bancos.

Herrera y Cuenca (2015) en su tesis: Diseño de explotación de las calizas existentes en el yacimiento "Isimanchi", buscó diseñar el método de explotación de un yacimiento de calizas mediante la caracterización geomecánica y parámetros geométricos. En base a los datos de campo, el depósito es de tipo "ladera", el índice RQD tiene un valor de 58.4, lo que hace referencia a roca de calidad Regular; de acuerdo a la clasificación RMR= 57, la calidad del macizo rocoso es Regular; el peso específico es de 2.69 gr/cm<sup>3</sup> y la resistencia a la compresión es de 515 kg/cm<sup>2</sup>. En base a estos datos; el diseño adecuado de explotación es por bancos, con el frente de excavación descendente.

##### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Gutiérrez (2019) en su investigación: Análisis y evaluación entre los métodos de

explotación convencional y plataformas aplicado en la cantera de caliza de la Empresa UNACEM SAA., identificó 30 estaciones para realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso. La roca de acuerdo a la clasificación RMR = 51, es de tipo 3 (Roca Regular), la densidad de la roca es  $26 \text{ KN/m}^3$ . De acuerdo al estudio geomecánico y de estabilidad de taludes, el método convencional por bancos es el más adecuado, siendo sus principales parámetros operativos: talud de banco  $=70^\circ$ , ancho de banco = 20-30m, altura de banco = 10m, berma de seguridad=5m.

Tinco (2016), en su tesis: Evaluación geomecánica y química de las rocas calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta – Ayacucho, buscó conocer el comportamiento de afloramientos de rocas calcáreas a nivel geomecánico en función a las propiedades físicas y los porcentajes de elementos químicos que las componen. Tras realizar un levantamiento geológico y geomecánico, concluye que valores de los parámetros establecidos por los sistemas geomecánicos de Deere RQD = 79% (Calidad Buena), Bieniawski RMR = 63 (Roca Buena), determinan que la roca es de calidad buena por lo que es posible diseñar taludes que se exploten por el método de bancos.

Ferrer (2015) en su investigación: Planeamiento de minado de largo plazo para proyecto minero no metálico, de acuerdo a la evaluación geotécnica – geomecánica, el índice RQD fue del 75%, es decir la calidad de la roca es Buena; de acuerdo a la clasificación RMR= 72, la roca es de calidad buena y en base a la clasificación de Barton  $Q=7.25$ , el macizo rocoso es de calidad regular. Así también,  $c = 7.18 \text{ MPa}$  y  $\varphi = 35.4^\circ$ . De acuerdo a estos valores, el diseño de explotación elegidos es por Bancos múltiples, con un talud de  $75^\circ$ .

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

Huamán y Quispe (2019) en su investigación: Método de extracción por bancos descendentes para optimizar la producción de agregados en la Cantera La Tuna Blanca, Santa Cruz – Cajamarca, tuvo como objetivo proponer el método de extracción por bancos descendentes para optimizar la producción de agregados. Mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso según las

clasificaciones geomecánicas RQD = 93.3% (Roca muy Buena), RMR= 74 (Roca Buena), por lo que el macizo es estable. Concluye que el diseño de extracción propuesto es a cielo abierto en cantera por el método de bancos descendentes.

Piérola (2017) en su tesis: Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión, Distrito de Baños del Inca – Cajamarca, mediante la evaluación de las características geomecánicas del yacimiento, determinó que el RQD=95 % (Roca muy Buena), RMR=57 lo que indica roca de calidad regular, la densidad de la caliza es 2.5 TM/m<sup>3</sup>, la resistencia a la compresión se encuentra entre 50.3 y 95.6 MPa. Tras conocer las características del macizo, y para las operaciones mineras artesanales, con estratos de potencia de 5 metros de altura; el método que permite un mayor control en la estabilidad del terreno es el método de explotación por bancos descendentes.

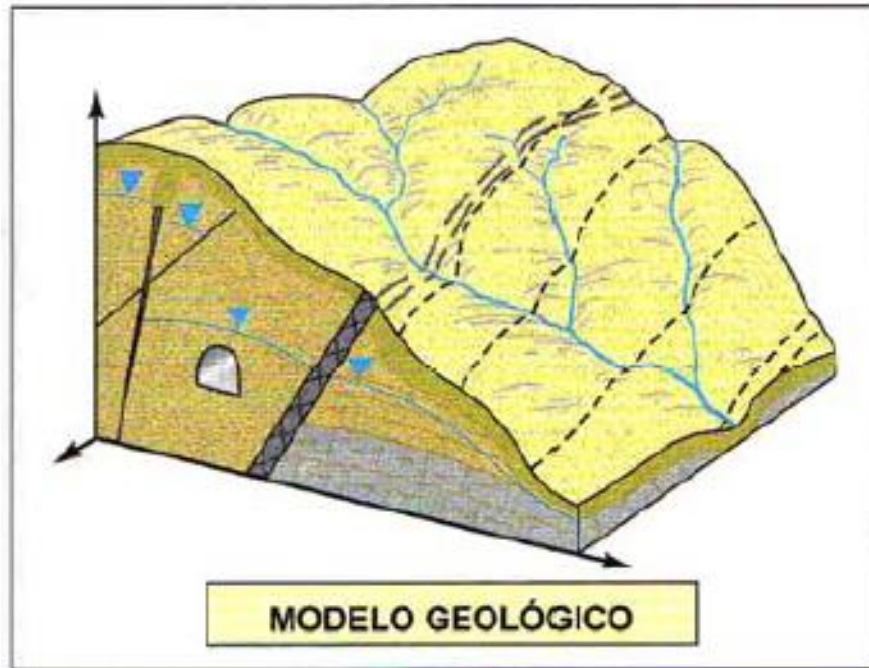
## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Modelo Geológico**

González de Vallejo (2004) indica que el “modelo geológico es la representación espacial del macizo rocoso, estructuras e información hidrológica y geomorfológica de una zona de investigación y su área de influencia”.

El modelo geológico es la representación en 3 o 2 dimensiones de la zona en donde se encuentra el área de investigación.

El macizo rocoso es un medio discontinuo, es por ello que su caracterización se realiza en función a las características geológicas, hidrogeológicas y las discontinuidades que influyen en el diseño de una cantera (Gavilanes y Andrade, 2004).



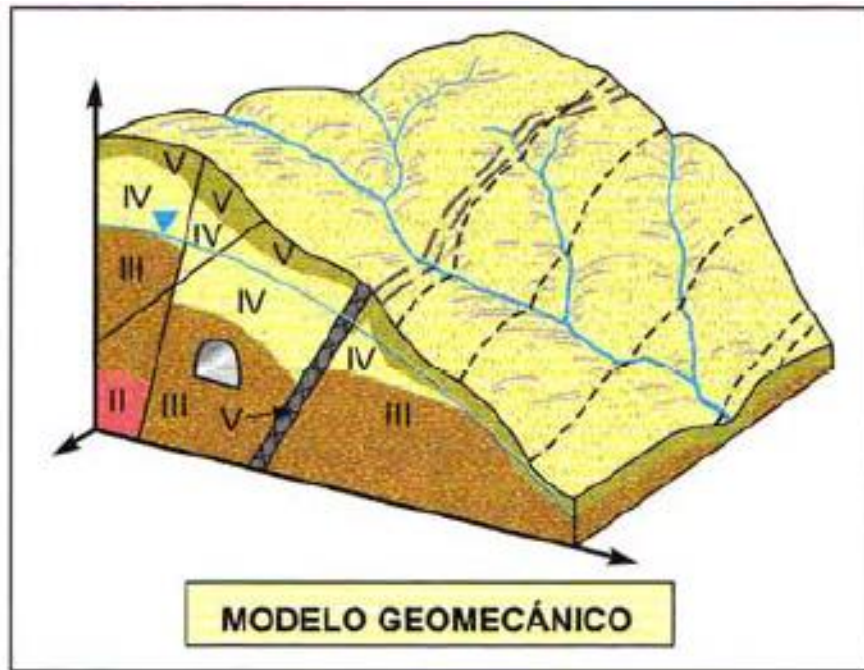
**Figura 1.** Modelo geológico

Fuente: González de Vallejo (2004)

### **2.2.2. Modelo Geomecánico**

Modelo en el que están representadas las principales características y propiedades mecánicas del macizo rocoso, así como de la roca intacta y de las discontinuidades. Dentro de estas propiedades encontramos a la resistencia y deformabilidad, cuyo fin es determinar el comportamiento del macizo rocoso condicionado por factores de inestabilidad por efectos de la construcción de una cantera, teniendo en cuenta los criterios de rotura y las características del macizo. Dentro del modelo geomecánico se evalúa también la geología estructural, geofísica e hidrología (Gavilanes y Andrade, 2004).

Este modelo está determinado por la representación geotécnica e hidrológica del macizo rocoso, así como su calidad en función a las clasificaciones geomecánicas bajo las condiciones de diseño de la cantera (Gavilanes y Andrade, 2004).



**Figura 2.** Modelo geomecánico

Fuente: González de Vallejo (2004)

### 2.2.3. Índice de Calidad de la Roca RQD (1964)

El RQD es un índice que permite determinar la calidad de la roca en función a características geológicas y al grado de fracturamiento del macizo rocoso (Gavilanes y Andrade, 2004).

El índice RQD, es utilizado para conocer las zonas en los que la roca presenta baja calidad y es un parámetro importante para las clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski y Q de Barton (González de Vallejo, 2004).

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}}$$



La calidad de la roca en función al RQD está en función a la siguiente tabla:

**Tabla 1.**

Índice de Calidad de la Roca (1964)

RQD %	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

Fuente: González de Vallejo (2004)

#### **2.2.4. Clasificación RMR de Bieniawski (1989)**

Sistema de clasificación desarrollado por Bieniawski en 1973, y actualizado en 1979 y 1989, los cuales permiten conocer la calidad del macizo rocoso. Para nuestro proyecto utilizamos el RMR 1989 (RMR<sub>89</sub>) y se evalúa con los siguientes parámetros geomecánicos:

- a) Resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa
- b) Índice de calidad de la roca RQD
- c) Separación entre diaclasas: distancia perpendicular entre planos de discontinuidad pertenecientes a una misma familia.
- d) Estado de las discontinuidades: definido por las características y propiedades de las discontinuidades.

Persistencia: longitud del plano de la discontinuidad.

Abertura: distancia vertical entre las paredes de una discontinuidad.

Rugosidad: ondulaciones o irregularidades a pequeña escala presentes en la superficie de la discontinuidad.

Relleno: material que aparece entre las paredes de la discontinuidad.

e) Flujo de agua en las juntas

**Tabla 2.**

Clasificación RMR<sub>89</sub> de Bieniawski

PARÁMETRO			RANGO DE VALORES						
1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	> 10 Mpa	4 - 10 MPa	2 - 4 Mpa	1 - 2 MPa	Compresión simple Mpa		
		Compresión simple	>250 Mpa	100 - 250MPa	50 - 100Mpa	25 -50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 Mpa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Relación Pagua / Ppric.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación	15	10	7	4	0			

Fuente: González de Vallejo (2004)

**Tabla 3.**

Tipo de roca según los valores de RMR<sub>89</sub>

CALIDAD	RMR	CLASE	COHESIÓN	FRICCIÓN
Roca Muy Buena	81 – 100	I	> 4 Kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
Roca Buena	61 – 80	II	3 - 4 Kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
Roca Regular	41 – 60	III	2 - 3 Kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
Roca Mala	21 – 40	IV	1 - 2 Kg/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
Roca Muy Mala	0 – 20	V	< 1 Kg/cm <sup>2</sup>	< 15°

Fuente: González de Vallejo (2004)

### 2.2.5. Índice de Resistencia Geológica GSI (1997)

Índice de calidad de los macizos rocosos, basado en observaciones de campo considerando las condiciones geomecánicas de la matriz rocosa, la macroestructura y las condiciones de las discontinuidades. Fue propuesto por Hoek y Brown en 1997 y considera las características físicas y mecánicas del macizo rocoso (Gavilanes y Andrade, 2004).

El GSI se basa en la valoración de diversos parámetros entre los que destacan: la litología, estructuras y condiciones de las discontinuidades, mismas que se evalúan mediante la observación del macizo rocoso y afloramientos (Marinos, Marinos, y Hoek, 2014).




El GSI se determina en función a las clasificaciones RMR de Bieniawski y Q de Barton. Es así que para:

RMR<sub>89</sub> > 23, se utiliza la clasificación RMR, tal que:  $GSI = RMR_{89} - 5$

RMR<sub>89</sub> < 23, se utiliza la valoración Q, por lo que:  $GSI = 9 \cdot \ln Q + 44$

**Tabla 4.**

Estimación del Índice Geológico de Resistencia, GSI, en base a una Descripción Geológica del Macizo Rocos.

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES							
<p>De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p>		<b>MUY BUENA</b> Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración).	<b>BUENA</b> Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro.	<b>REGULAR</b> Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas.	<b>MALA</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes	<b>MUY MALA</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos.			
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES 							
		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA 							
	<p><b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b></p> <p>MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABAJADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	80	70	60	50	40	30	20	10
	<p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b></p> <p>MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABAJADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MÁS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>								
	<p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b></p> <p>MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>								
	<p><b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b></p> <p>MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS.</p>								

Fuente: Hoek y Brown (1997).

## 2.2.6. Resistencia a la Compresión Uniaxial de la Roca

La Resistencia a la Compresión Uniaxial de la roca se puede determinar en campo, mediante la siguiente tabla:

**Tabla 5.**

Estimación de la RCU en campo

Clase (a)	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia Uniaxial (Mpa)	Índice de carga puntual (Mpa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo de geólogo solo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneis, granito, cuarcita
R5	Muy Resistente	100-250	4-10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo de geólogo para fracturarse.	Anfibolita, gabro, arenisca, basalto, gneis, mármol, granodiorita, caliza, riolita, toba.
R4	Resistente	50-100	2-4	Un trozo de roca requiere más de un golpe de martillo de geólogo para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras,
R3	Moderadamente Resistente	25-50	1-2	Un trozo de roca puede fracturarse con un golpe del martillo de geólogo, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5-25	(b)	Un golpe con la punta del martillo de geólogo deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas, pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1-5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo de geólogo. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0.25-1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Fuente: Hoek y Brown (1997).

### **2.2.7. Criterios de Rotura**

Se conoce como criterios de rotura a los parámetros que permiten evaluar la resistencia de la matriz rocosa. El criterio de rotura es determinado como la relación entre tensiones para predecir la resistencia de la matriz rocosa cuando está sometida a un campo tensional (Ramírez y Alejano, 2004).

La resistencia de la matriz rocosa se puede evaluar mediante los criterios de rotura de Mohr Coulomb y de Hoek y Brown. La principal diferencia entre ambos es que el primero es criterio lineal mientras que Hoek y Brown es no lineal, por lo que es más adecuado para evaluar el comportamiento mecánico real de las roca (González de Vallejo, 2004).

#### **2.2.7.1. Criterio de rotura de Hoek – Brown**

Criterio desarrollado por Hoek y Brown en 1980 y actualizado en 2002. El criterio se dedujo a partir de los resultados de las investigaciones de Hoek de roturas frágiles de rocas intactas y de un modelo de estudio del comportamiento de macizos rocosos de Brown y toma como base a la teoría de Griffith.

Inicialmente fue utilizado para el diseño de excavaciones subterráneas, sin embargo, en macizos rocosos es utilizado para determinar la resistencia (Ramírez y Alejano, 2004).

El criterio de rotura de Hoek – Brown se desarrolló en un comienzo para determinar la resistencia de los macizos de roca dura. Debido a la falta de alternativas adecuadas, el criterio se ha aplicado a una variedad de macizos rocosos, incluyendo rocas de muy mala calidad (Hoek y Brown, 1997).

Es así que en la actualización del año 2002 Hoek y Brown reemplazaron el índice RMR por el GSI, considerando que al aplicar el RMR, no se analizaba adecuadamente los macizos rocosos de mala calidad.

El criterio de rotura de Hoek y Brown se establece según:

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

Donde:

- $\sigma'_1$  y  $\sigma'_3$  son los esfuerzos axial (mayor) y confinante (menor) respectivamente.
- $m_b$  es un valor reducido (para macizos rocosos) de la constante  $m_i$  (para la roca intacta).

$$m_b = m_i \exp \left( \frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right)$$

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

$$s = \exp \left( \frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} * \left( e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

D es un factor que depende principalmente del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso ya sea causado por tensiones de relajación o por la voladura.

Este factor varía desde 0 hasta 1, dependiendo si el macizo rocoso in situ está inalterado o muy alterado (Hoek, Carranza y Corkum, 2002).

De acuerdo con la tabla 5, el factor D se estima según:

**Tabla 6.**

Guía para estimar el Factor de Alteración D

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	<p>Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel.</p>	<p>D=0</p>
	<p>Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladura) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.</p>	<p>D=1</p>
	<p>Voladura de muy alta calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.</p>	<p>D=0.8</p>
	<p>Pequeñas voladuras en taludes de Ingeniería Civil dan lugar a pequeños daños del macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta alguna alteración.</p>	<p>D=0.7 Good blasting D=1.0 Poor blasting</p>
	<p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje de tractores de orugas y el grado de afectación a los taludes será menor.</p>	<p>D=1.0 Production blasting D=0.7 Mechanical excavation</p>

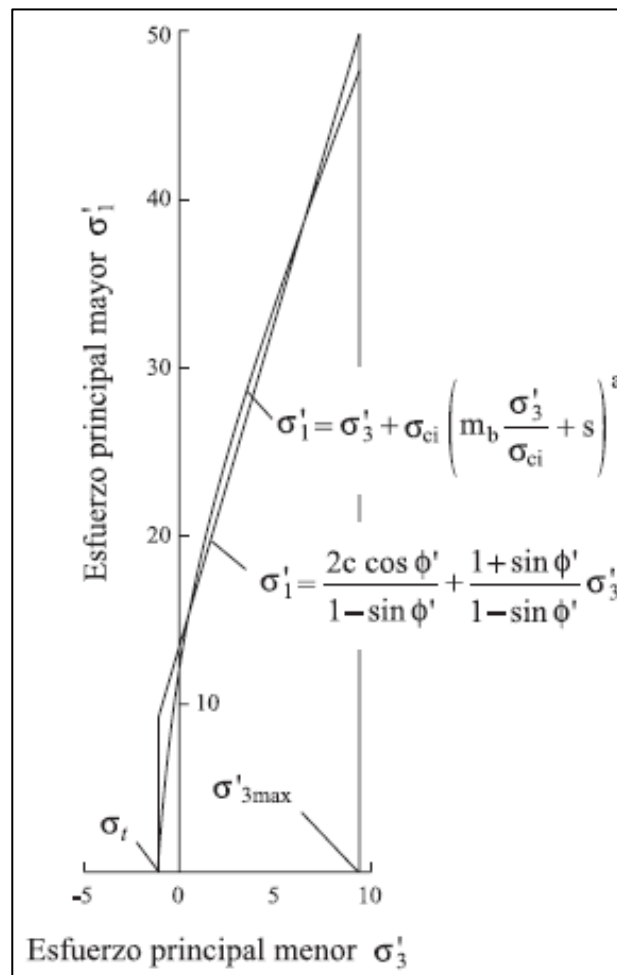
Fuente: Hoek, Carranza y Corkum (2002)



### 2.2.7.2. Criterio de Mohr – Coulomb

En este criterio la resistencia es expresada a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones y es obtenido mediante la relación entre el esfuerzo normal y tangencial que actúa en el momento de rotura (González de Vallejo, 2004).

Teniendo en cuenta que los softwares geotécnicos se basan en el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, es necesario determinar los ángulos de fricción y las resistencias cohesivas para cada macizo rocoso e intervalo de esfuerzos tal como se ilustra a continuación:



**Figura 3.** Relación entre esfuerzos principales mayores y menores para el criterio de Mohr-Coulomb.

Fuente: Hoek, Carranza y Corkum (2002)

## 2.2.8. Taludes en Roca

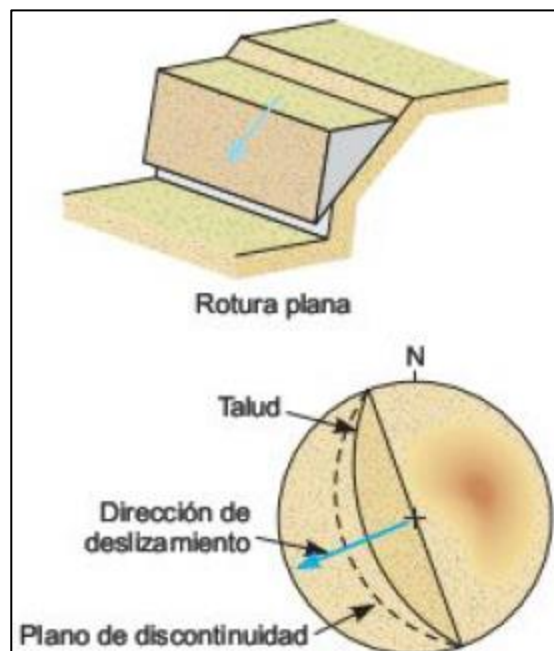
Los diversos tipos de rotura en los taludes en roca generalmente están condicionados por el grado de fracturamiento del macizo rocoso, por la distribución y orientación de las discontinuidades, así como los parámetros de resistencia de la matriz rocosa, mismos que juegan un rol fundamental en la generación de planos de rotura (Ros, 2006).

### 2.2.8.1. Tipos de Rotura

#### ➤ *Rotura plana*

La rotura ocurre en la superficie preexistente, cuya condición básica se da cuando las discontinuidades buzan en la misma dirección del talud. Se cumple que:

- Las discontinuidades están descalzadas por el talud y su buzamiento tiene que ser mayor que el ángulo de rozamiento interno (González de Vallejo, 2004).



**Figura 4.** Rotura plana

Fuente: González de Vallejo (2004)

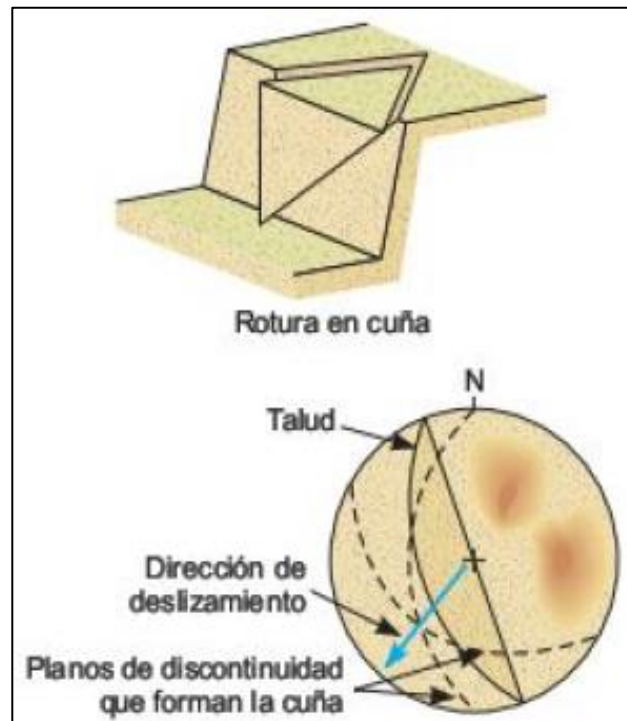
➤ *Rotura en Cuña*

Este tipo de rotura corresponde al deslizamiento de un bloque de material rocoso en forma de cuña, el cual está conformado por 2 o 3 planos de discontinuidad.

Las condiciones que se deben cumplir para que se genere este tipo de rotura son:

- Los planos de las discontinuidades deben aflorar en la superficie del talud
- El buzamiento de la línea de intersección tiene que ser mayor que el ángulo de rozamiento interno.

Generalmente este tipo de rotura se produce en los macizos rocosos con diversas familias de discontinuidades y la forma y volumen de la cuña están determinadas por las condiciones de las discontinuidades (Ros, 2006).



**Figura 5.** Rotura en cuña

Fuente: González de Vallejo (2004)

### 2.2.9. Factores que influyen en la estabilidad

La estabilidad de los taludes está condicionada por factores geológicos, factores geométricos, hidrogeológicos y geotécnicos.

En combinación, dichos factores determinan la rotura a lo largo de la superficie del talud (Trigueros, 2005).

En la tabla 7 se describen los principales factores que condicionan la estabilidad de taludes, entre los que tenemos factores que condicionan la estabilidad (condicionantes) y factores que desencadenan la estabilidad (desencadenantes).

**Tabla 7.**

Factores condicionantes en la estabilidad de taludes

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
Estratigrafía, litología y estructura geológica	Sobrecargas estáticas y dinámicas y factores climáticos
Condiciones y comportamiento hidrogeológicos de los materiales.	Cambios en las condiciones hidrogeológicas.
Propiedades físicas, resistentes y deformaciones.	Variaciones en la geometría.
Tensiones naturales y estado tenso-deformacional.	Reducción de parámetros resistentes

Fuente: Ros (2006)

Herrera (2007) señala que la estabilidad de taludes es un aspecto fundamental para la viabilidad de un proyecto, la seguridad y la rentabilidad. Por dicho motivo se debe evaluar durante todas las etapas de la vida útil de la cantera.

Los factores que más influyen en la seguridad de las operaciones de una cantera son:

- \* Deslizamiento o caída de rocas o materiales sueltos
- \* Colapso de un banco y colapso del talud final

Así mismo, para el control de la estabilidad, prevención y control de riesgos, es necesario considerar los siguientes aspectos:

- \* Identificación y caracterización de los sistemas de discontinuidades y juntas
- \* Estudio geomecánico y geotécnico del área de trabajo
- \* Características hidrogeológicas e identificación de presencia de agua
- \* Adecuado diseño de los bancos y plataformas de trabajo

#### **2.2.10. Diseño de Explotación en Canteras**

Los métodos de explotación en canteras son procedimientos que se utilizan para la extracción de materiales no metálicos, de interés económico como la caliza y dependen fundamentalmente de las características topográficas y de la morfología del yacimiento (López, 2003).

Una cantera es una explotación minera mayormente a cielo abierto que actúa como una fuente de aprovisionamiento de rocas o suelos requeridos como materiales de construcción (Herrera, 2007).

Una cantera debe contar con una serie de requisitos, entre los cuales tenemos:

- \* Material disponible en cantidad y potencial suficiente
- \* Calidad del material, determinando sus características y propiedades

- \* Accesos a la cantera los cuales influyen generalmente en los costos del proyecto.

### **2.2.11. Condiciones de Seguridad**

La explotación de canteras se realiza en función a criterios o parámetros de diseño los cuales permiten la extracción del material de la forma más económica y bajo las condiciones más seguras, generalmente en capas horizontales (bancos) de forma simultánea, aprovechando la pendiente y va adquiriendo así su forma escalonada (Barragán, 2007).

La estabilidad de los taludes en una cantera no solamente es un aspecto de fundamental importancia, sino que es una de las claves principales para incrementar la seguridad del proyecto (Muachissaco, 2017).

Herrera (2007) señala que la estabilidad de los taludes en el diseño de explotación de una cantera no solamente es un aspecto de fundamental importancia, sino que es una de las claves de la viabilidad del proyecto, su seguridad y su rentabilidad.

La estabilidad debe ser analizada desde las etapas iniciales del proyecto. En líneas generales, los factores más importantes que afectan a la seguridad y cuyo estudio debe quedar perfectamente claro desde el principio de las operaciones, son los siguientes:

- Caída o deslizamiento de materiales sueltos.
- Colapso parcial de un banco.
- Colapso general del talud de la excavación.

#### **2.2.11.1. Parámetros geométricos de diseño**

Herrera (2007) señala que los parámetros geométricos principales para la diseño de explotación de canteras son:

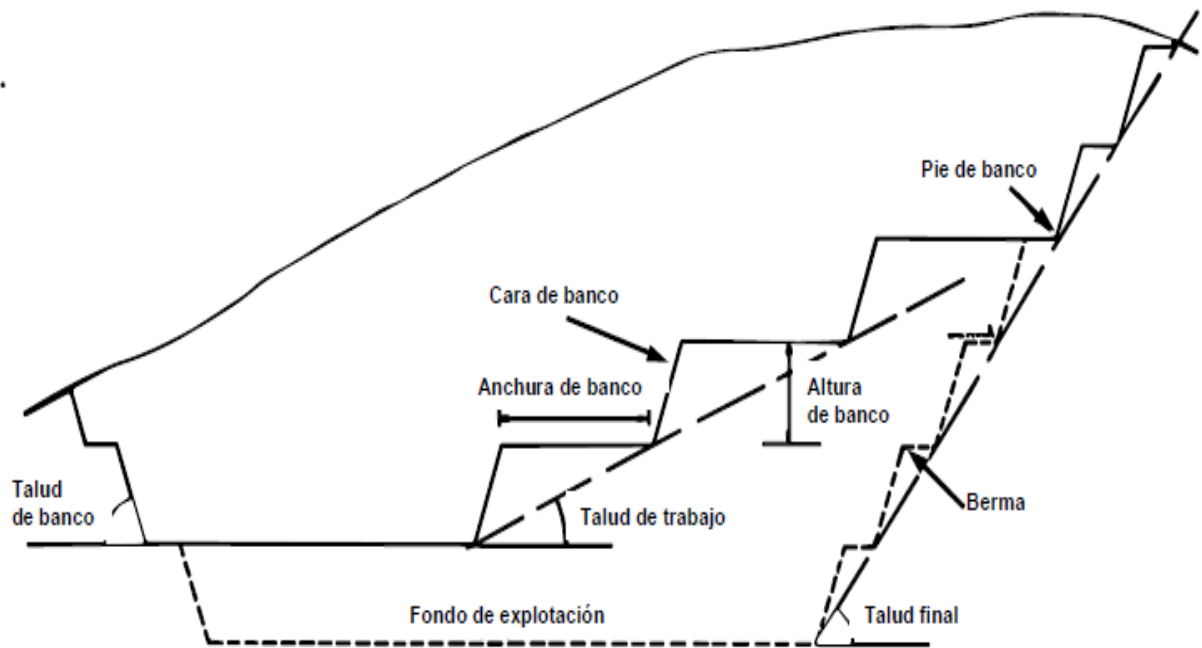
- **Banco:** escalón comprendido entre dos niveles, comprende la rebanada a explotar de mineral y/o estéril. La geometría de los bancos depende de la configuración de los taludes, así como de su orientación respecto a los estratos.
- **Altura de banco:** distancia vertical entre el nivel superior e inferior, tomada desde el pie del banco hasta la cabeza o parte más alta del mismo. Se establece en función a las dimensiones de los equipos y de las características del macizo rocoso.

Debemos tomar en cuenta que, a menor altura de banco, son mejores las condiciones de seguridad.

- **Talud de banco:** ángulo que está determinado por la línea de máxima pendiente de la cara de un banco y la horizontal.
- **Talud de trabajo:** es un ángulo que se encuentra determinado por los pies de los bancos entre los que podemos encontrar las plataformas de trabajo o tajos
- **Límites finales de la explotación:** son los límites de la excavación. Están determinados por el límite vertical y los límites laterales.
- **Talud final de explotación:** determinado por el ángulo del talud en condición estable, formado por la línea que une el pie del banco inferior con la cabeza del banco superior.
- **Bermas:** son las plataformas horizontales definidas por los límites de la excavación sobre el talud final y buscan dar una mayor estabilidad y por ende mejorar las condiciones de seguridad ante caídas de rocas o deslizamientos.

Dependen del ángulo de reposo, del talud y de la cara del banco.

- **Ángulo de reposo:** es el talud máximo estable para el cual no existe deslizamiento.



**Figura 6.** Parámetros geométricos de diseño

Fuente: Herrera (2007)

### 2.2.11.2. *Sistemas de explotación en Canteras*

#### ➤ *Canteras en terrenos horizontales*

Las labores de explotación se inician en trinchera con la finalidad de profundizar en el primer nivel para luego ir ensanchando el área creado de forma lateral (Herrera, 2007). Las características de este diseño son:

- \* Mayor control medioambiental del proyecto
- \* Menor impacto visual
- \* Mayor costo de dimensionamiento





**Figura 7.** Cantera en terreno horizontal

Fuente: Herrera (2007)

➤ *Canteras en ladera*

Según Herrera (2007), el sistema de explotación de canteras en ladera se divide en:

- \* **Avance frontal y frente de trabajo de altura creciente:** es la forma más común de explotación ya que facilita la apertura de la cantera teniendo una distancia mínima de transporte desde la cantera hasta la planta de tratamiento. Así mismo, el frente de trabajo se encuentra siempre activo.
- \* **Excavación descendente y abandono del talud final:** permite ir restaurando desde los bancos superiores durante toda la vida útil de la cantera, aunque requiere una mayor distancia de transporte durante el primer año de vida de la cantera.
- \* **Avance lateral y abandono del talud final:** Se lleva a cabo de manera transversal, de tal forma que la profundización de la cantera sea lenta en comparación con un rápido avance lateral. Facilita la recuperación de taludes finales.



**Figura 8.** Cantera en ladera

Fuente: Herrera (2007)

### ***2.2.11.3. Alternativas de explotación en canteras***

Contento y Pinto (2014) señalan que la correcta elección del método de explotación se analiza en función de las características del yacimiento tales como la topografía, geometría, parámetros geomecánicos y geotécnicos, etc. Para la explotación de canteras generalmente se utiliza el método de explotación por bancos ya sea con uno o varios niveles.

- \* **Banco único:** en este método se tiene un mayor rendimiento respecto a la perforación y voladura mientras que la producción es baja. Los costos de equipos y personal son menores al tenerse una cantidad menor de material. Sin embargo, considerando la altura del banco y dimensiones el talud, este método no es muy seguro.
  
- \* **Bancos escalonados descendentes:** este método permite un mayor rendimiento en las operaciones y un mejor control de las condiciones de seguridad, iniciando a la vez la restauración desde los bancos superiores desde el inicio de la explotación.

- \* **Bancos escalonados ascendentes:** es la opción más utilizada en la explotación de canteras por la facilidad de apertura y porque requiere una distancia mínima de transporte estando el frente de trabajo siempre activo. Sin embargo, se dificulta la restauración de la zona antes de la finalización de la explotación.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- **Cantera:** término generalmente utilizado para hacer referencia a la explotación de rocas industriales y materiales de construcción (Herrera, 2006).
- **Macizo rocoso:** medio conformado por la matriz rocosa y discontinuidades, es discontinuo, heterogéneo y anisótropo (González de Vallejo, 2004).
- **Matriz rocosa:** material rocoso sin presencia de discontinuidades, hace referencia a los bloques de roca intacta del macizo rocoso (González de Vallejo, 2004).
- **Discontinuidades:** planos de debilidad (diaclasas, foliación, estratificación) que determinan el comportamiento geomecánico del macizo rocoso (Trigueros, 2005).
- **Clasificación del macizo rocoso (RMR):** clasificación geomecánica que permite conocer la calidad del macizo rocoso mediante la evaluación de las condiciones de las discontinuidades, resistencia de la matriz rocosa y presencia de agua (Gavilanes y Andrade, 2004).
- **Índice de calidad de la roca RQD:** índice que indica el grado de fracturamiento del macizo rocoso (Gavilanes y Andrade, 2004).
- **Deslizamiento:** rotura y desplazamiento de material situado en un talud,

lo que provoca un movimiento hacia la parte inferior y hacia afuera del material rocoso del mismo. Mayormente son producidos como consecuencia de excavaciones en el pie del talud o presencia de agua (DeMatteis, 2003).

- **Zonificación Geomecánica:** proceso que permite delimitar una determinada área de investigación por zonas, cuyas características y condiciones geomecánicas presentan un comportamiento similar (Zuloaga, 2020) .

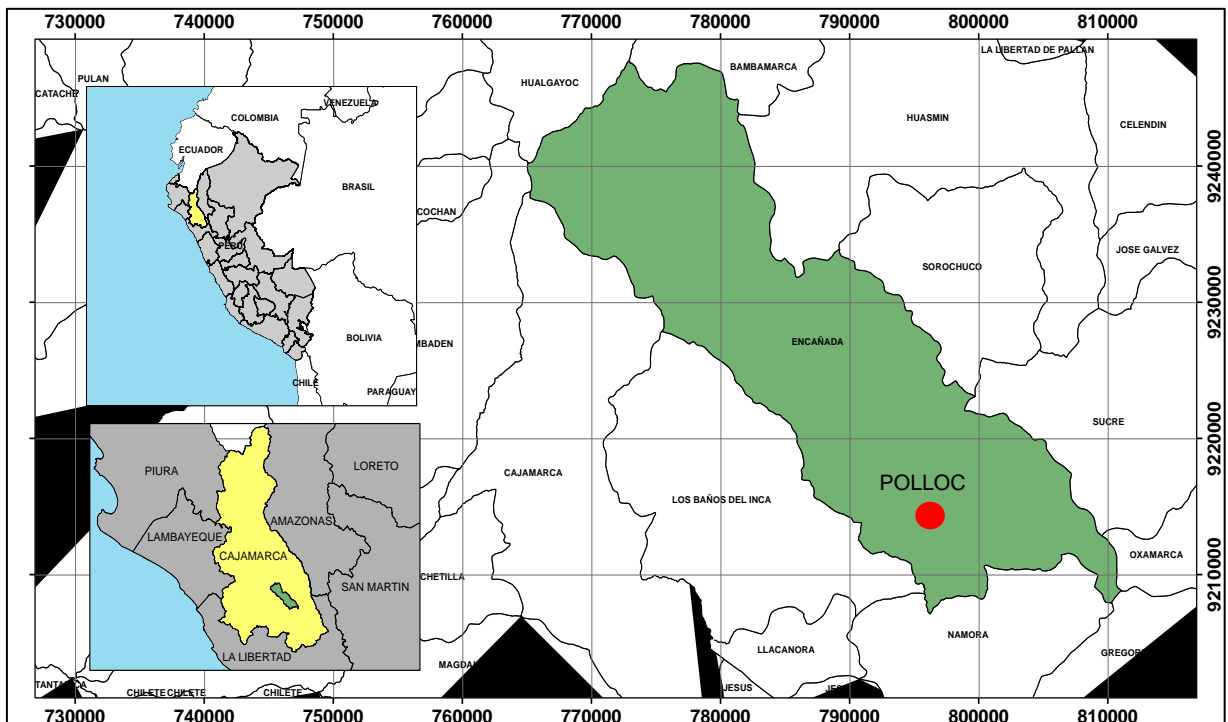
## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 UBICACIÓN

#### 3.1.1. Ubicación Política

El Yacimiento de calizas Polloc, comprende alrededor de 10 hectáreas de terreno, ubicadas en el Centro Poblado de Polloc, Distrito de La Encañada, Provincia y Departamento de Cajamarca, a una altitud promedio de 3077 m.s.n.m.

Gráficamente podemos observar la ubicación del Yacimiento de calizas Polloc en la Figura 9.



**Figura 9.** Ubicación del Yacimiento de calizas Polloc

**Tabla 8.**

Ubicación Política del área de estudio

Departamento	Cajamarca
Provincia	Cajamarca
Distrito	Encañada
Centro Poblado	Polloc

### 3.1.2. Ubicación Geográfica

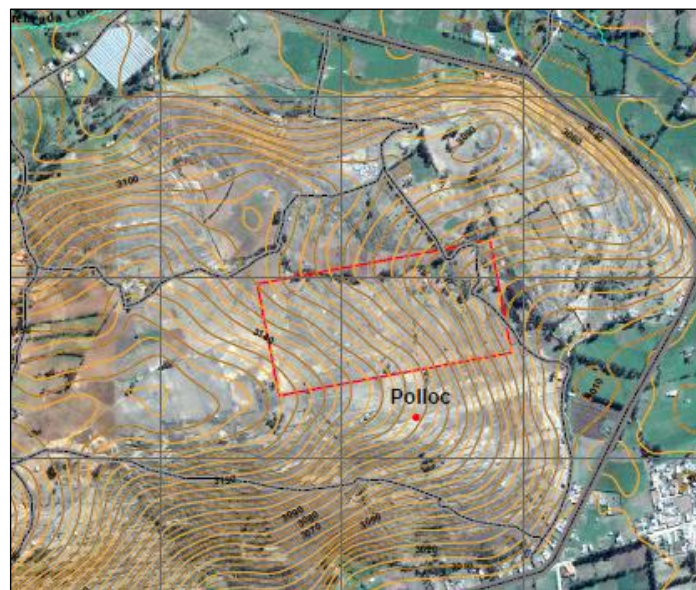
El área de investigación está delimitada en el sistema UTM. WGS 84, zona 17s, mediante las coordenadas mostradas en la tabla 9.

**Tabla 9.**

Ubicación Geográfica del área de estudio

Vértices	Norte	Sur
1	794255	9212967
2	794214	9213185
3	794727	9213280
4	794768	9213062

En la figura 10 se muestra la ubicación del área de investigación (Ver Anexo II):



**Figura 10.** Ubicación de la zona de estudio



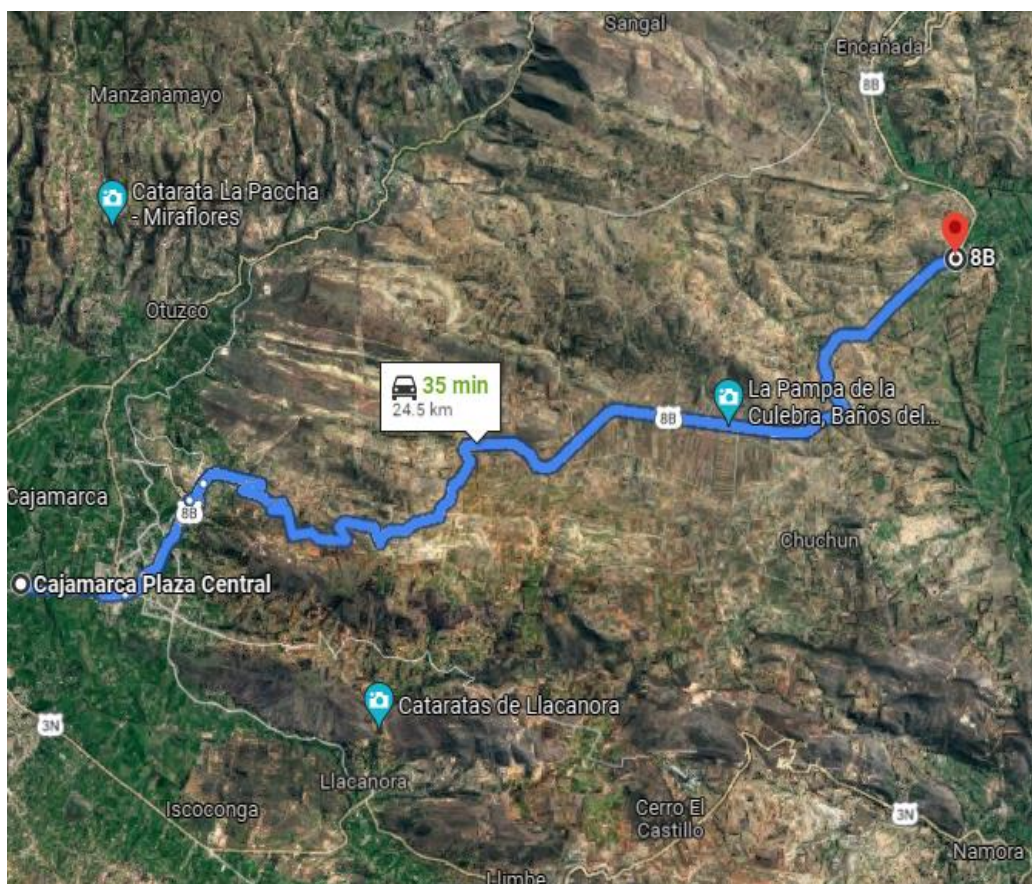
### 3.2 ACCESIBILIDAD

Se puede llegar a la zona de investigación desde la ciudad de Cajamarca por vía terrestre como se detalla en la tabla 10:

**Tabla 10.**

Ruta de acceso y tiempo

Origen – Destino	Distancia	Tiempo (min)	Tipo de carretera
Cajamarca – Polloc	24.5 km	35	Asfaltada
Polloc – Yacimiento de calizas	650 m	6	Trocha



**Figura 11.** Ruta de acceso Cajamarca - Polloc

Fuente: Google Maps



**Figura 12.** Ruta de acceso Polloc - Yacimiento de calizas

Fuente: Google Maps

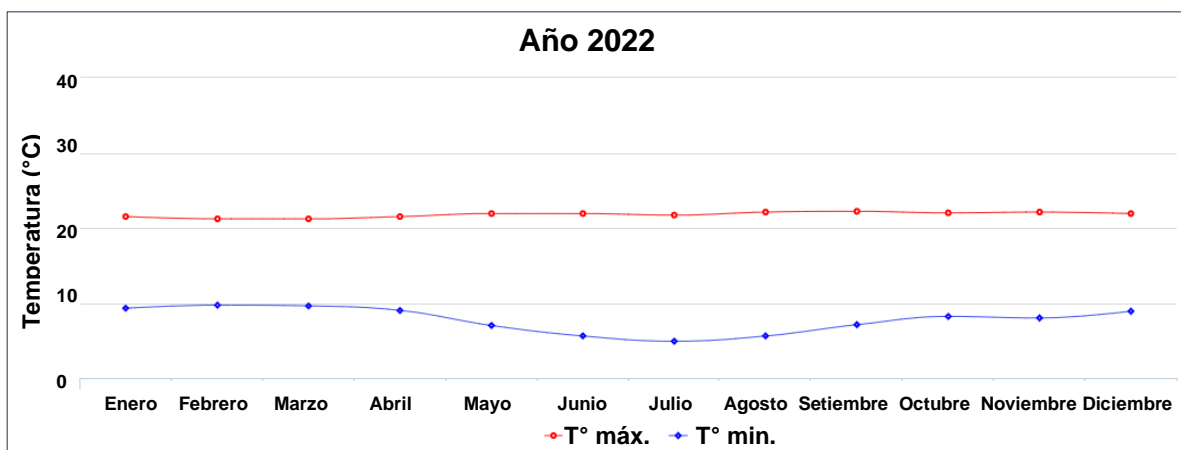
### 3.3 CLIMA

El clima de Cajamarca es templado o tropical de montaña. La temperatura varía normalmente entre los 5 °C y los 19 °C. El área de estudio presenta un clima templado subhúmedo, con presencia de dos estaciones fácilmente reconocibles: entre los meses de diciembre a marzo con fuertes precipitaciones y clima seco en los meses de abril a noviembre, aunque se presentan climas transicionales a causa del fenómeno de El Niño, ya sea con abundantes lluvias o sequías. La precipitación promedio anual es de 1143 mm, presentándose las épocas más frías entre los meses de mayo a setiembre. De acuerdo con datos del Senamhi del 2022, tenemos:



**Figura 13.** Diagrama meteorológico de la estación La Encañada





**Figura 14.** Temperatura promedio por mes en La Encañada.

### 3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.4.1. Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación

La investigación es tipo No experimental, explicativa, con diseño transversal ya que la recopilación de datos se realizará en un momento dado.

El método de investigación es deductivo -inductivo porque utilizamos la recolección de datos para la contrastación de la hipótesis.

**Tabla 11.**

Metodología de la Investigación

Clasificación	Categoría
Tipo	Aplicada
Nivel	Explicativo
Diseño	No experimental - transversal
Método de investigación	Deductivo – inductivo

Fuente: Hernández, Fernández y Baptista (2010).

### **3.4.2. Población**

Macizo rocoso del Yacimiento de Calizas Polloc cuya área es de 10 hectáreas.

### **3.4.3. Muestra**

Estaciones geomecánicas del yacimiento de calizas Polloc.

### **3.4.4. Unidad de Análisis**

Litología, Estructuras geológicas, meteorización, parámetros geomecánicos.

### **3.4.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Se utilizará la observación, descripción y explicación, empleando como instrumento de recolección de datos el Registro Geológico-Geotécnico de Rodríguez (2016), además se utilizará imágenes satelitales, planos geológicos, libreta de campo.

#### **3.4.5.1. *Etapa de gabinete***

En esta etapa se realizó la búsqueda de información, teniendo en cuenta fuentes bibliográficas como libros, revistas, artículos científicos; con la finalidad de tener una perspectiva clara de la investigación. Así también se revisaron planos geológicos, y datos relacionados la zona de influencia del Yacimiento de calizas Polloc.

#### **3.4.5.2. *Etapa de campo***

En esta etapa se realizó el reconocimiento del área de estudio, cartografiado, geológico y geomecánico en etapas, recolectando información en el instrumento Registro geológico – geotécnico de Rodríguez (2016) mediante la descripción del macizo rocoso y las propiedades de las discontinuidades para posteriormente procesarla en los software RocData, DIPS y ArcGIS.

### 3.4.6. Recursos Materiales

Los recursos utilizados en el desarrollo del trabajo de investigación son:

#### 3.4.6.1. Equipos

- **GPS:** equipo utilizado para la ubicación geográfica del área de investigación y de las estaciones geomecánicas.
- **Brújula:** para medir los datos de rumbo y buzamiento de las estructuras.
- **Lupa:** para determinar la composición mineralógica de la roca
- **Rayador:** para determinar la dureza de los minerales
- **Picota:** utilizada para la recolección de muestras y para la obtención de la resistencia del macizo rocoso de forma empírica.
- **Laptop:** utilizada para la elaboración del informe de Tesis, para el procesamiento y análisis de datos mediante el uso de softwares, así como para la elaboración de planos.

#### 3.4.6.2. Materiales

- **Registro geológico – geotécnico** de Rodríguez (2016)
- **Plano geológico:** utilizado para conocer las condiciones litológicas del área de investigación
- **Libreta de campo:** utilizada para la recolección de datos e información geomecánica y geotécnica.
- **Imágenes satelitales:** utilizadas para la ubicación real del área de investigación.

### **3.5 GEOLOGÍA REGIONAL**

En el presente acápite se describe la conformación Geológica Regional del área de investigación “Yacimiento de Calizas Polloc” de acuerdo con Reyes (1985) en el Boletín N° 31.

#### **3.5.1. Grupo Quilquiñán-Mujarrún**

Alcanza un grosor máximo de 500 metros. La parte inferior de la secuencia descansa concordantemente sobre la Formación Yumagual, mientras que su parte superior, infrayace con discordancia paralela a la Formación Cajamarca (Reyes, 1980).

La base consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas. Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas pardo-amarillentas también fosilíferas. Finalmente, bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles (Reyes, 1980).

#### **3.5.2. Grupo Pullucana**

Está constituido principalmente por calizas marinas y en menor proporción por margas y lutitas, con espesores que varían entre 500 y 1000 m. Las calizas son grisáceas, bastante compactas, y se presenta en capas medianas, nodulares o irregularmente estratificadas (Carlotto y Peña, 2012).

#### **3.5.3. Formación Pariatambo**

La Formación Pariatambo yace concordantemente sobre la Formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la Formación Yumagual; relación observable en la cuenca de Pullucana, en la carretera Cajamarca-La Encañada, al este de los Baños del Inca.

El área consiste de una alternancia de lutitas con lechos delgados de calizas

bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Generalmente, su espesor oscila entre los 150 a 200 m (Reyes, 1980).

### 3.6 GEOLOGÍA LOCAL

El área de Investigación se encuentra emplazada en rocas calcáreas pertenecientes al Grupo Pulluicana y al Grupo Quilquiñán-Mujarrún.

#### 3.6.1. Grupo Pulluicana

##### Formación Yumagual (Ks-yu)

Constituido por una secuencia de rocas calizas nodulares, macizas de color gris parduzco en bancos medianamente uniformes cuyo espesor de estratos están entre los 10 cm hasta mayores a 1 m, presentando un espesor de la Formación entre los 500m. Estas rocas se encuentren fuertemente fracturadas y similarmente meteorizadas.



**Figura 15.** Estratos de calizas nodulares grisáceas pertenecientes al Grupo Pulluicana, Formación Yumagual. E 794758, N 9213091. (Vista al SW).

### 3.6.2. Grupo Quilquiñán-Mujarrún

#### Formación Quilquiñán Mujarrún (Ks-qm)

TAFUR (1950) reconoció con el nombre de Formación Mujarrún y Quilquiñán a dos unidades consecutivas, integradas dentro de los grupos Pullucana y Otuzco; años después, BENAVIDES (1956) diferencia en la Formación Mujarrún a los miembros Choro y Culebra y eleva a la categoría de grupo a la Formación Quilquiñán. (Reyes, 1980)

Al NW de la zona de investigación se observan calizas nodulares macizas de color gris parduzcas con intercalación de margas y lutitas pardo-amarillentas fosilíferas pertenecientes al grupo Quilquiñán - Mujarrún. Presenta una fauna abundante donde se observan elementos de fósiles Exogyra Flabellata.



**Figura 16.** Afloramientos de calizas nodulares delgadas intercaladas con margas pardoamarillentas perteneciente a la Formación Quilquiñán Mujarrún. E 794213, N 9213132. (Vista al SW).

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El comportamiento geomecánico del yacimiento de calizas Polloc donde se desarrollará el diseño del método de explotación, está condicionado por la litología, las estructuras, fracturamiento y meteorización del macizo rocoso las cuales definen condiciones inestables en la explotación de las calizas.

Para el análisis geomecánico del yacimiento de calizas Polloc, se consideraron 6 estaciones geomecánicas, evaluando: RQD,  $RMR_{89}$  con sus parámetros resistencia de la matriz rocosa, separación de diaclasas, condiciones de discontinuidades y presencia de agua procedente principalmente de las precipitaciones en la zona.

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizarán los siguientes softwares: RocData y DIPS, los cuales permitirán determinar el comportamiento geomecánico calculando la cohesión y ángulo de fricción, parámetros necesarios para el diseño del método de explotación.

##### **4.1.1 Estaciones geomecánicas**

###### **4.1.1.1 Estación Geomecánica 1**

Para el análisis de la Estación Geomecánica 1, se procesaron los datos obtenidos en el instrumento de recolección Registro Geológico-Geotécnico de Rodríguez (2016). El RMR se determinó siguiendo las pautas que se indican en el Tabla 2 de acuerdo a Bieniawski (1989) .

La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al Grupo Pulluicana (Formación Yumagual), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 90 MPa, lo que corresponde a la Clase R4, categorizada como Roca Resistente, según la Tabla 4 de “Estimación de la RCU en campo” de Hoek y Brown (1997).

El Índice de Calidad de la Roca RQD, segundo parámetro del RMR<sub>89</sub>, se ha calculado según:

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

Donde :

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}}$$

$$\lambda = \frac{26}{2.8} = 9.3$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(9.3)} * (0.1(9.3) + 1)$$

$$RQD = 76.2$$

**Tabla 12.**

Índice de Calidad de la Roca, EG 1.

RQD %	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

El valor de RQD = 76.2, corresponde a Calidad de Roca Buena.



El Macizo Rocos, se encuentra definido por tres familias de discontinuidades, con espaciados de 0.6 a 2 m y persistencia de 1 a 3 m. Su estructura presenta superficies ligeramente rugosas, ligeramente alteradas.

Según la tabla 13, el RMR de la Estación Geomecánica 1 tiene un valor de 67, correspondiente a Clase II, lo que la categoriza como Roca Buena.

**Tabla 13.**  
RMR<sub>89</sub> - Estación Geomecánica 1

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 Mpa	1 - 2 MPa	Compresión simple Mpa		
		Compresión simple	>250 MPa	100 - 250MPa	50 - 100Mpa	25 -50 MPa	5- 25MPa	1- 5MPa	< 1 Mpa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%			
	Valor	20	17	13	8	3			
3	Separación entre diaclasas	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada -Lisa	Suave - Pulida		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Relación Pagua / Ppric.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condiciones Generales	Seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntuación	15	10	7	4	0			
<b>RMR</b>							<b>67</b>		

**Tabla 14.**

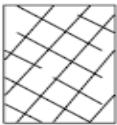



Clasificación Geomecánica RMR89 – Estación Geomecánica 1

CALIDAD	RMR	CLASE
Roca Muy Buena	81 – 100	I
Roca Buena	61 – 80	II
Roca Regular	41 – 60	III
Roca Mala	21 – 40	IV
Roca Muy Mala	0 – 20	V

El Índice Geológico de Resistencia fue estimado de acuerdo a una descripción geológica del macizo rocoso según Hoek y Brown (1997).

**Tabla 15.**

Índice Geológico de resistencia, EG1

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES						
 <p><b>FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABAJADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS ORTOGONALES ENTRE SI.</p>	 <p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS DE ROCA TRABAJADOS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MÁS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>	 <p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCIÓN DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>	 <p><b>DESINTEGRADO</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS.</p>	<p><b>MUY BUENA:</b> Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración).</p>	<p><b>BUENA:</b> Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas, con pátinas de óxido de hierro.</p>	<p><b>REGULAR:</b> Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas.</p>	<p><b>MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes</p>	<p><b>MUY MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos.</p>
				80	70	60	50	40
								30
								20
				10				

De acuerdo con el análisis de datos de la Estación Geomecánica 1, se tiene:

**Tabla 16.**

Reporte de la Estación Geomecánica 1

<b>EG1</b>	<b>PUNTAJE</b>	
<b>Criterios Empíricos</b>	<b>Cuantitativo</b>	<b>Cualitativo</b>
<b>RQD</b>	76	Buena
<b>RMR</b>	67	Roca buena
<b>GSI</b>	70	Buena

**a) Análisis en RocData**

En la Figura 17 se muestra el análisis de la Estación Geomecánica 1 en el software RocData, donde se determinó parámetros del macizo rocoso como la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso ante esfuerzos mayores vs esfuerzos menores y esfuerzo normal vs esfuerzo de corte. Los parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción son 1.305 MPa y 48.09° respectivamente; es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

**b) Análisis cinemático en DIPS**

Se utilizó el software DIPS para realizar el análisis cinemáticos de los datos tomados en la Estación Geomecánica 1. Se ha considerado para ello las 2 propuestas de diseño para el método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc.

En la Figura 18 se observa el análisis cinemático del Diseño A, donde se visualiza un total de 190 cuñas, de las cuales el 15% son críticas. Por otro lado, en la Figura 19 para el Diseño B se tiene un 3% de cuñas críticas.

Si bien estos valores son bajos, deben tomarse en cuenta en el planeamiento de Minado a corto plazo para la explotación de la caliza.

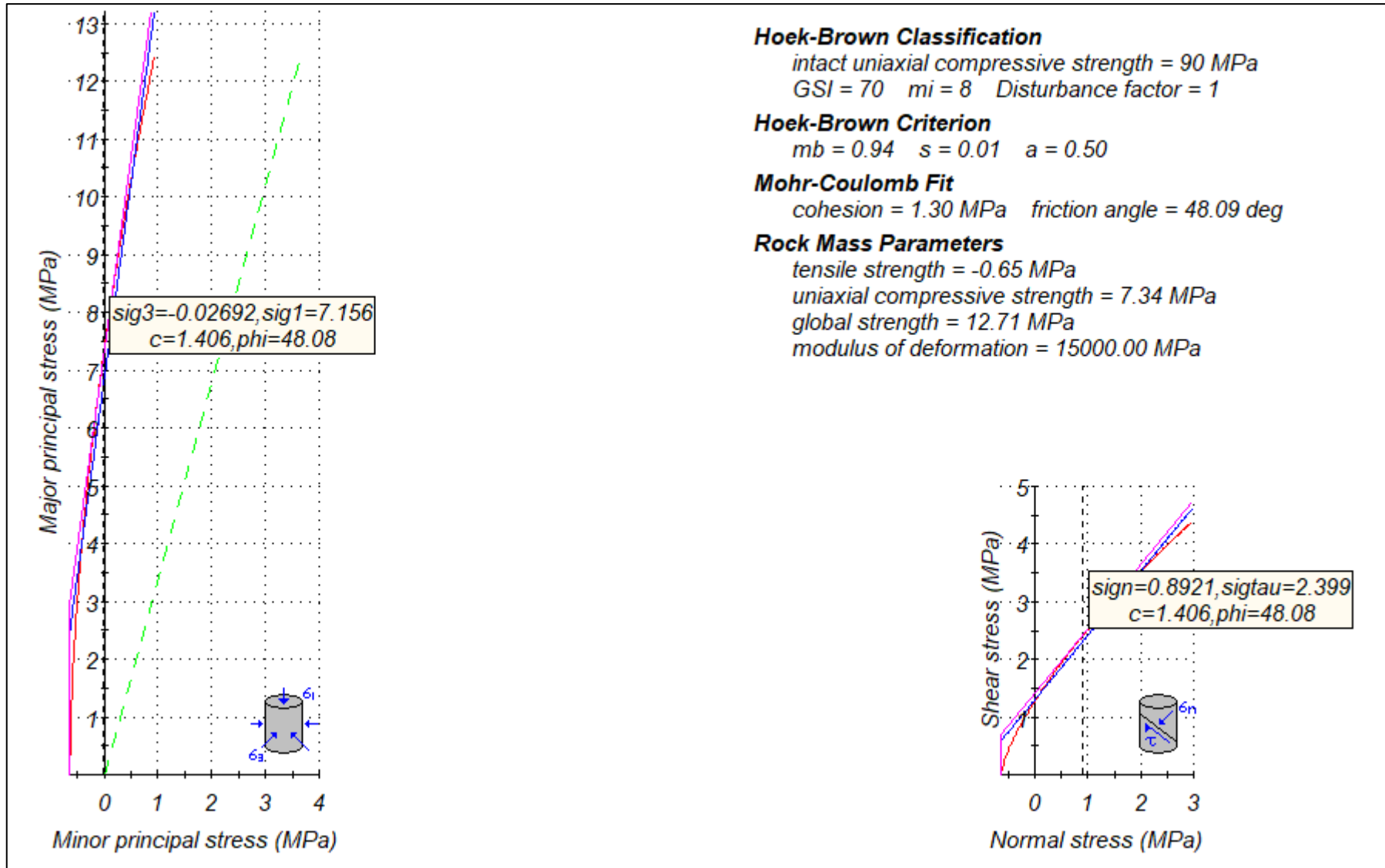


Figura 17. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 1.

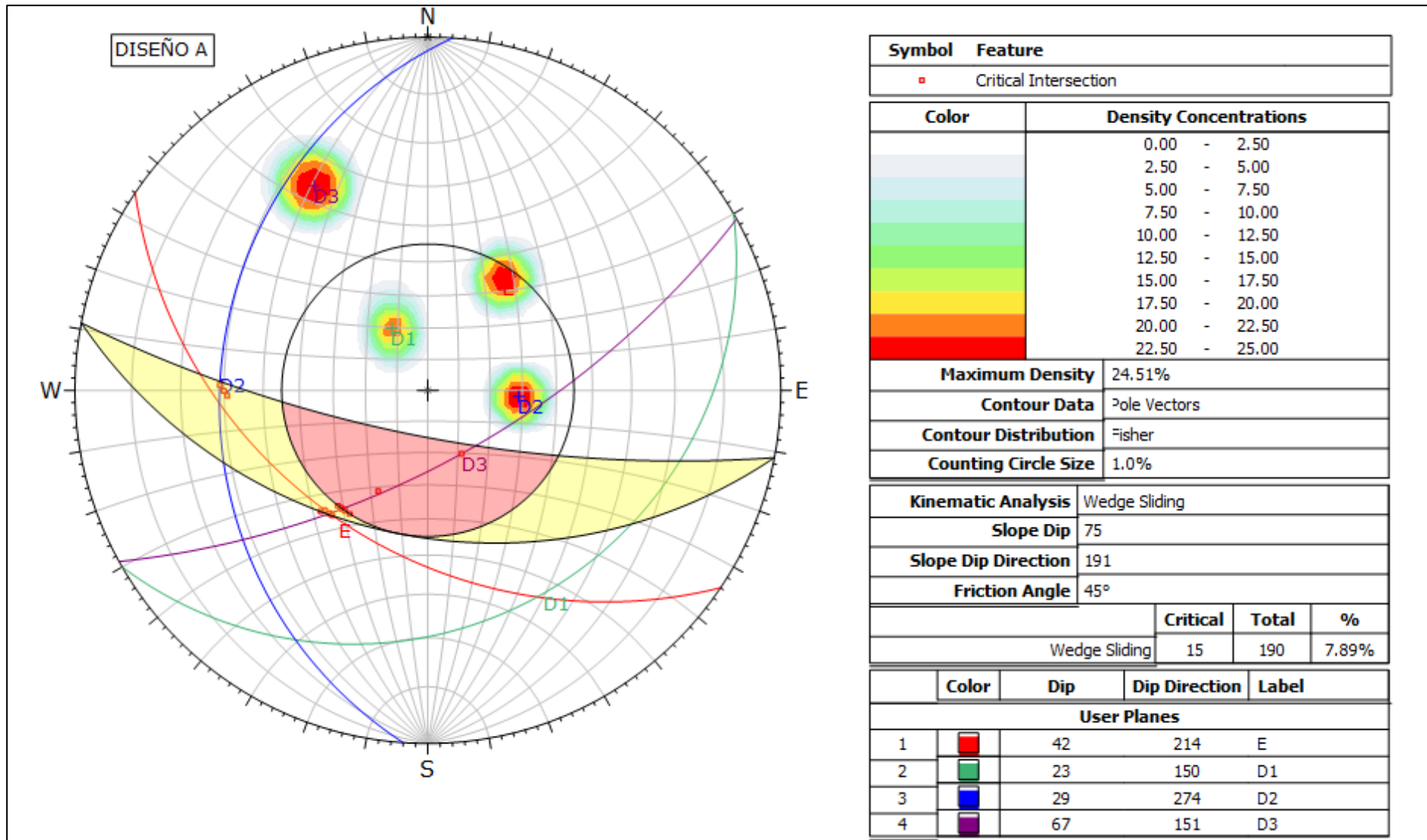
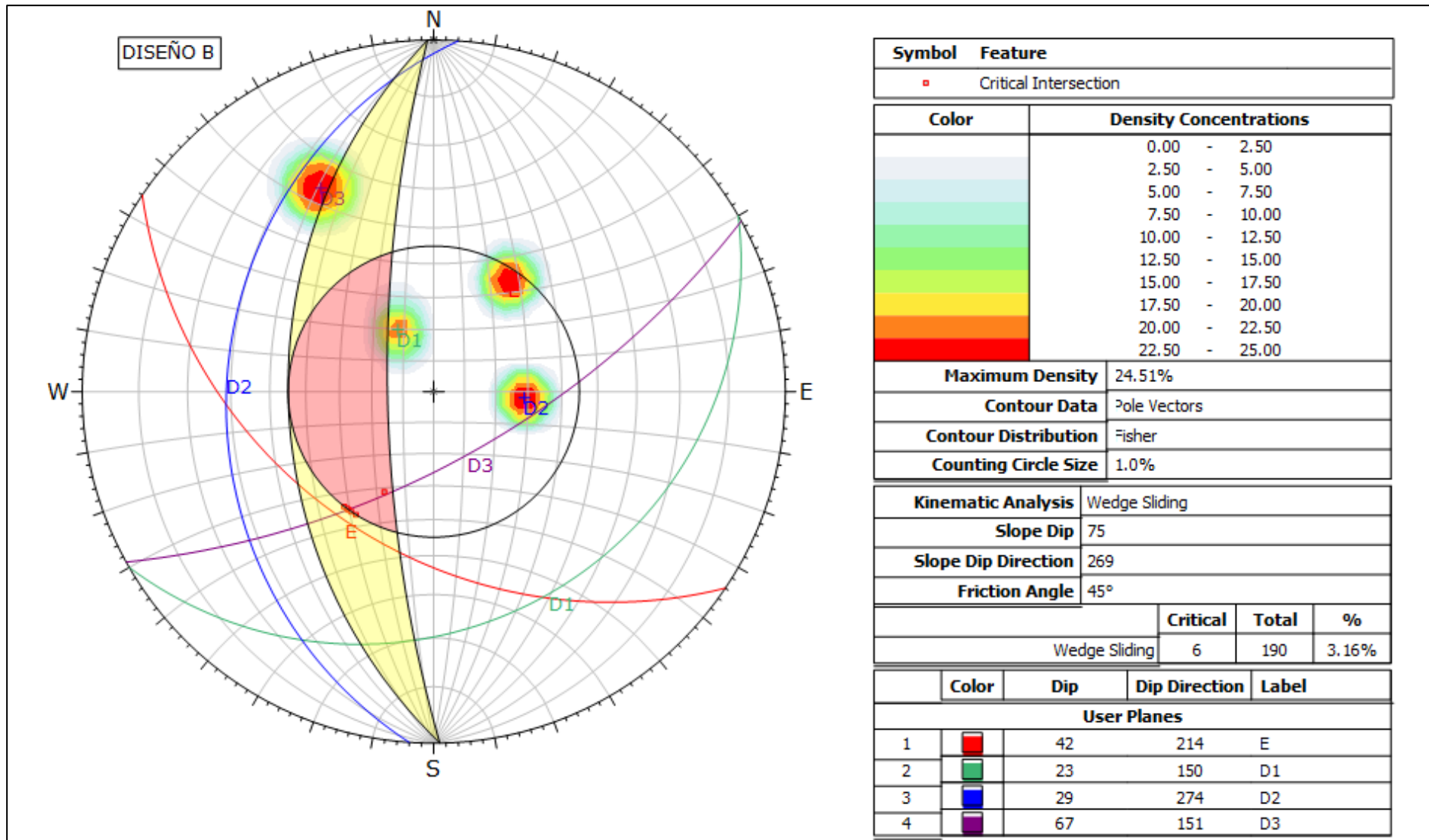


Figura 18. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 1. Diseño A.



**Figura 19.** Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 1. Diseño B.

#### 4.1.1.2 Estación Geomecánica 2

Para el análisis de la Estación Geomecánica 2, se procesaron los datos obtenidos en el instrumento de recolección Registro Geológico-Geotécnico de Rodríguez (2016). El RMR se determinó siguiendo las pautas que se indican en el Tabla 2 de acuerdo a Bieniawski (1989) . La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al Grupo Pulluicana (Formación Yumagual), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 95 MPa, lo que corresponde a la Clase R4, categorizada como Roca Resistente, según la Tabla 4 de “Estimación de la RCU en campo” de Hoek y Brown (1997).

El Índice de Calidad de la Roca RQD, segundo parámetro del RMR<sub>89</sub>, se ha calculado según:

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

Donde :

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}} = \frac{12}{1.4} = 8.6$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(8.6)} * (0.1(8.6) + 1) = 78.8$$

**Tabla 17.** Índice de Calidad de la Roca, EG 2.

RQD %	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

El valor de RQD = 78.8, corresponde a Calidad de Roca Buena.

El Macizo Rocoso, se encuentra definido por dos familias de discontinuidades, con espaciados de 0.6 a 2 m y persistencia de 1 a 3 m. Su estructura presenta superficies ligeramente rugosas, ligeramente alteradas.

Según la tabla 18, el RMR de la Estación Geomecánica 2 tiene un valor de 69, correspondiente a Clase II, lo que la categoriza como Roca Buena.

**Tabla 18.**  
RMR<sub>89</sub> - Estación Geomecánica 2

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 Mpa	1 - 2 MPa	Compresión simple MPa		
		Compresión simple	>250 MPa	100 - 250MPa	50 - 100Mpa	25 -50 Mpa	5- 25MPa	1- 5MPa	< 1 MPa
Puntuación		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%			
	Valor	20	17	13	8	3			
3	Separación entre diaclasas	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada -Lisa	Suave - Pulida		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Relación Pagua / Ppric.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condiciones Generales	Seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntuación	15	10	7	4	0			
<b>RMR</b>							<b>69</b>		



**Tabla 19.**

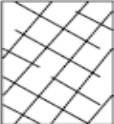



Clasificación Geomecánica RMR<sub>89</sub> – Estación Geomecánica 2

CALIDAD	RMR	CLASE
Roca Muy Buena	81 – 100	I
Roca Buena	61 – 80	II
Roca Regular	41 – 60	III
Roca Mala	21 – 40	IV
Roca Muy Mala	0 – 20	V

El GSI de la Estación Geomecánica 2 fue según Hoek y Brown (1997).

**Tabla 20.**

Índice Geológico de resistencia, EG 2

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
<p>De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p>		<p><b>MUY BUENA:</b> Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración).</p> <p><b>BUENA:</b> Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro.</p> <p><b>REGULAR:</b> Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas.</p> <p><b>MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes</p> <p><b>MUY MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos.</p>			
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES			
 <p><b>FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABAJADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	<p>DISMINUYE LA TRABAZÓN DE LOS BLOQUES DE ROCA</p>	80	75	70	
 <p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS DE ROCA TRABAJADOS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MÁS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		60	50		
 <p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCIÓN DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		40	30		
 <p><b>DESINTEGRADO</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS.</p>		20	10		

De acuerdo con el análisis de datos de la Estación Geomecánica 2, se tiene:

**Tabla 21.**

Reporte de la Estación Geomecánica 2

<b>EG2</b>	<b>PUNTAJE</b>	
<b>Criterios Empíricos</b>	<b>Cuantitativo</b>	<b>Cualitativo</b>
<b>RQD</b>	79	Buena
<b>RMR</b>	69	Roca buena
<b>GSI</b>	75	Buena

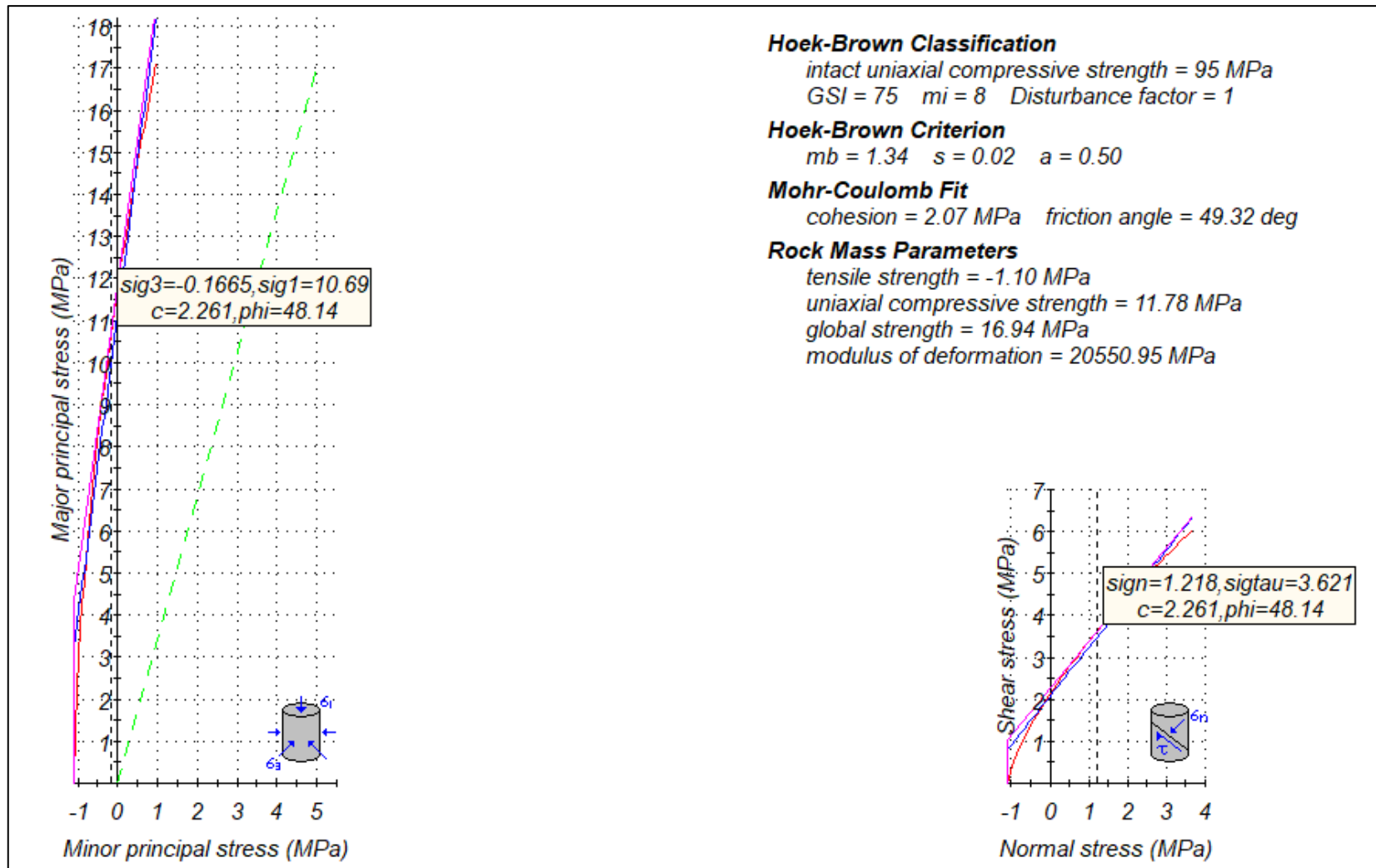
**a) Análisis en RocData**

En la Figura 20 se muestra el análisis de la Estación Geomecánica 2 en el software RocData, donde se determinó parámetros del macizo rocoso como la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso ante esfuerzos mayores vs esfuerzos menores y esfuerzo normal vs esfuerzo de corte. Los parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción son 2.074 MPa y 49.32° respectivamente; es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

**b) Análisis cinemático en DIPS**

Se utilizó el software DIPS para realizar el análisis cinemáticos de los datos tomados en la Estación Geomecánica 2. Se ha considerado para ello las 2 propuestas de diseño para el método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc.

En la Figura 21 se observa el análisis cinemático del Diseño A, donde se visualiza un total de 105 cuñas, de las cuales el 19.05 % son críticas. Por otro lado, en la Figura 22 para el Diseño B se tiene un 23.81 % de cuñas críticas y en la Figura 23 tenemos un porcentaje crítico de 6.67% respecto a rotura planar. Estos valores deben tomarse en cuenta en la explotación de la caliza



**Figura 20.** Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 2.

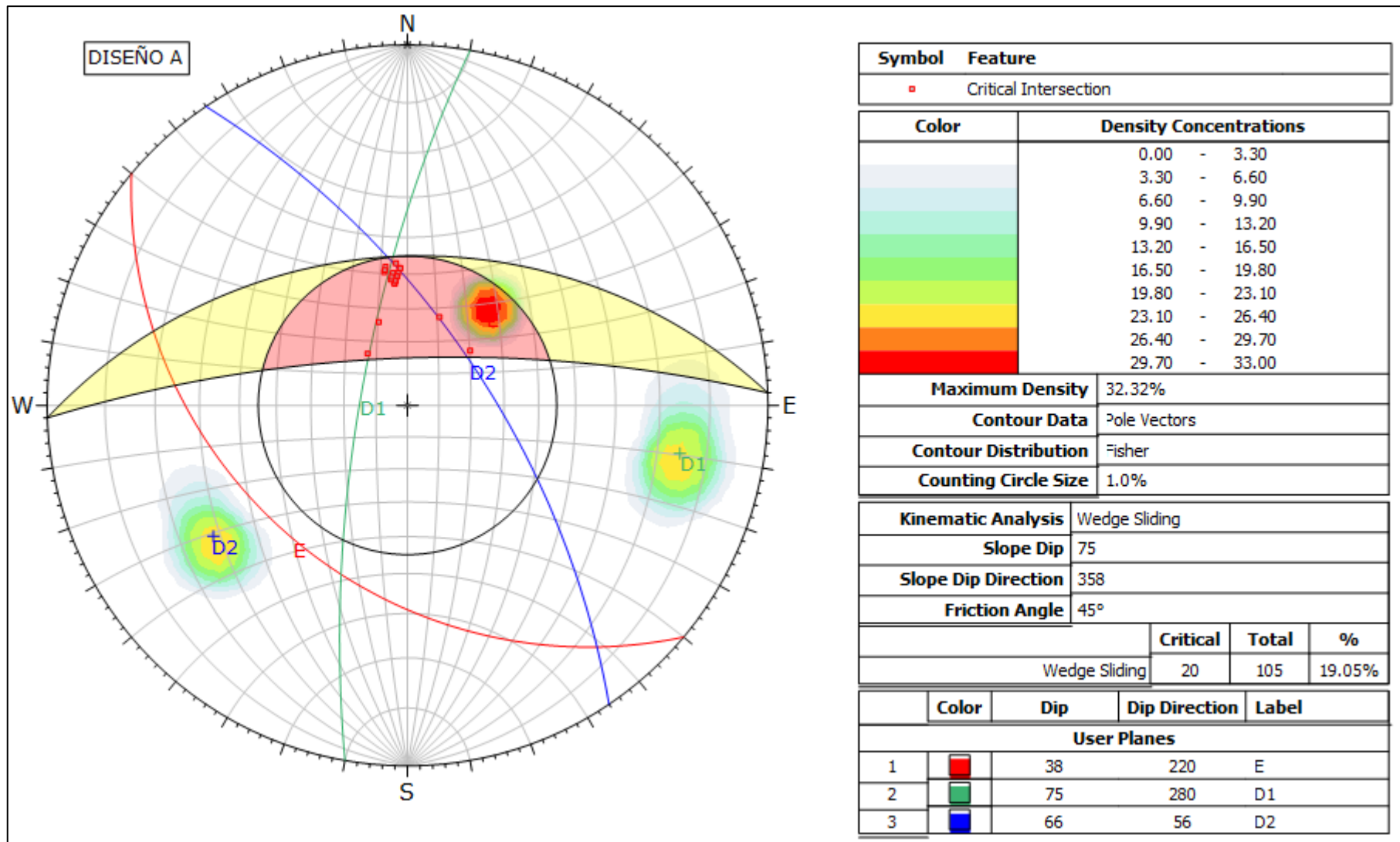


Figura 21. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 2. Diseño A.

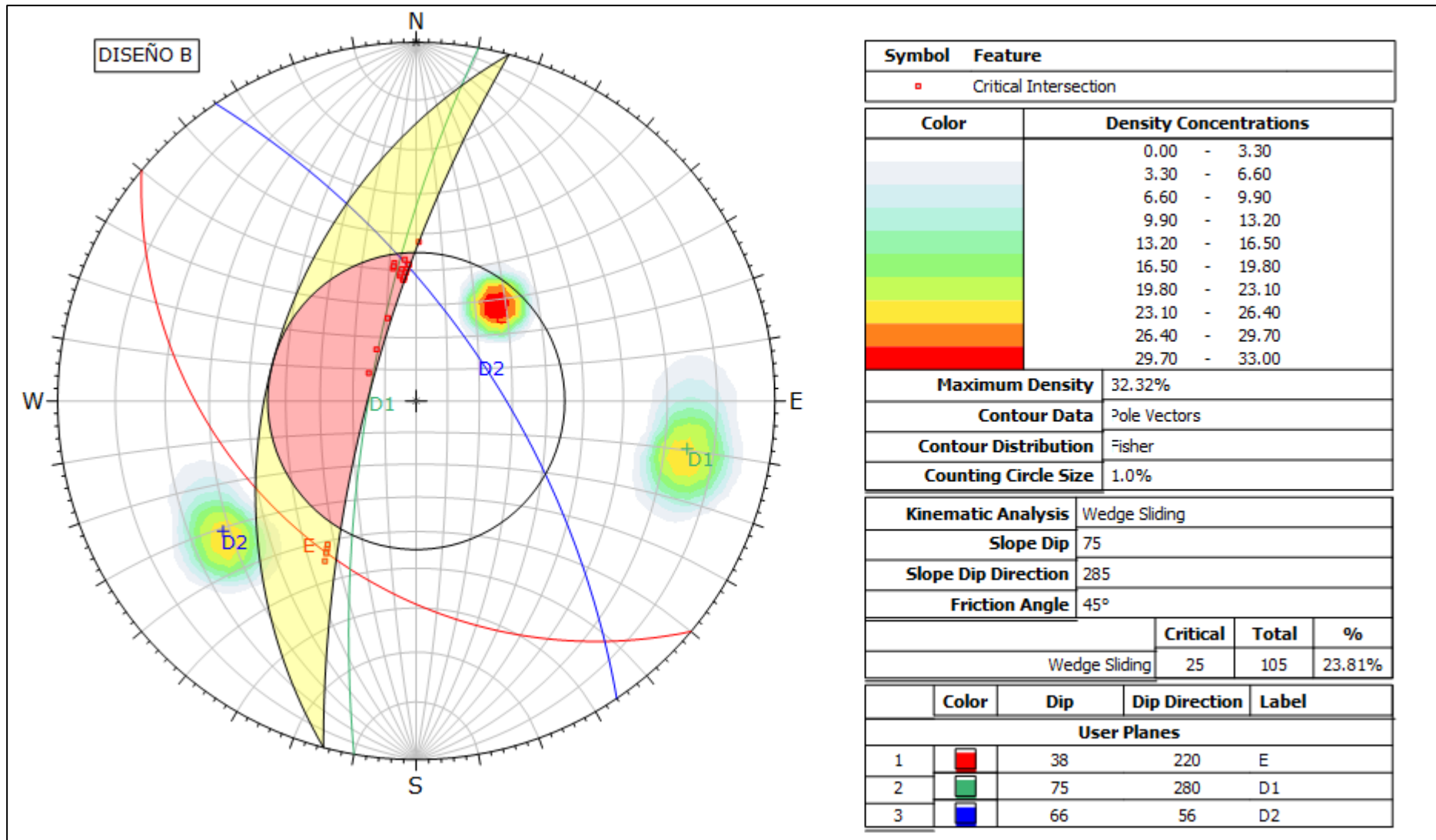
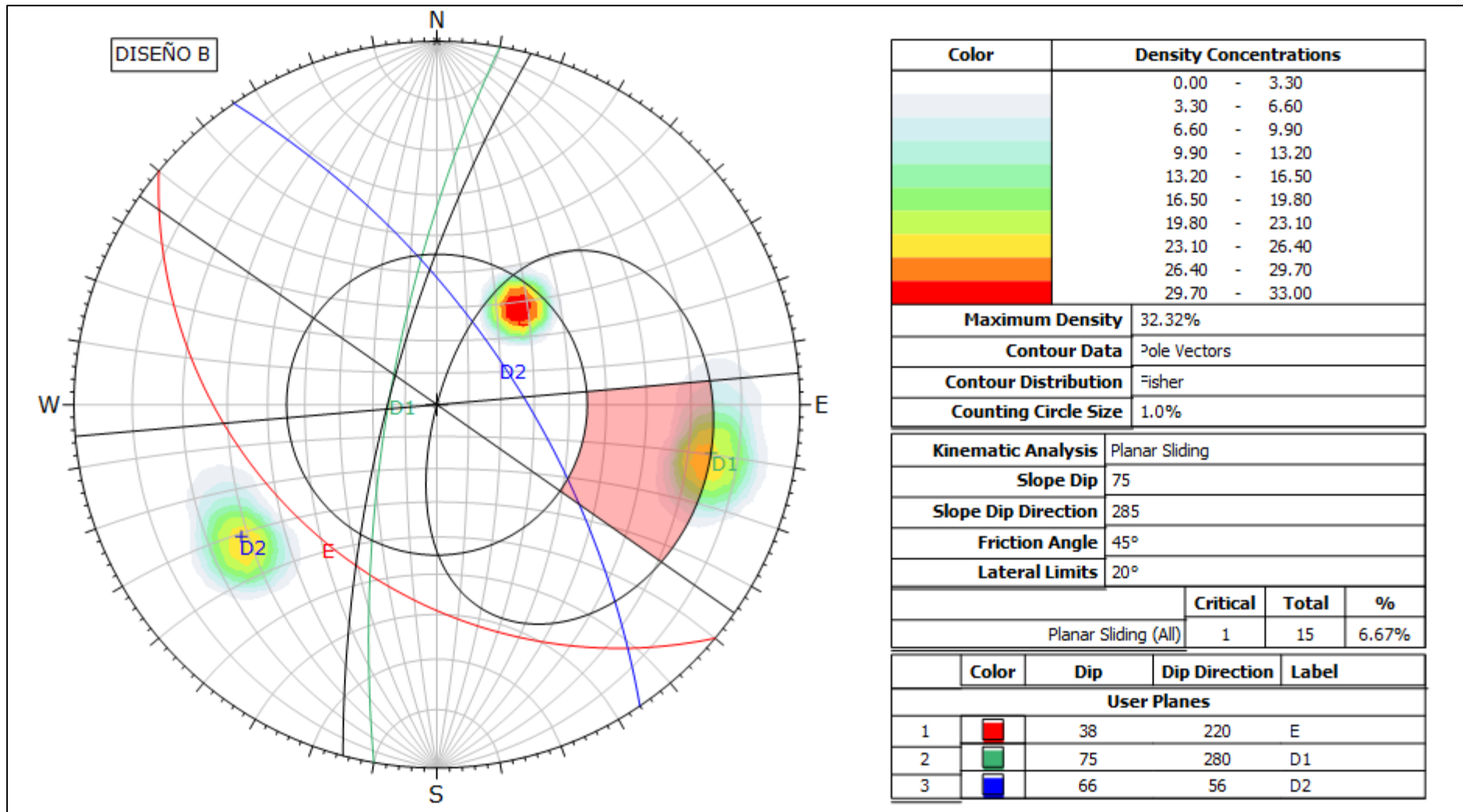


Figura 22. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 2. Diseño B.



**Figura 23.** Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 2. Diseño B.

### 4.1.1.3 Estación Geomecánica 3

Para el análisis de la Estación Geomecánica 3, se procesaron los datos obtenidos en el instrumento de recolección Registro Geológico-Geotécnico de Rodríguez (2016). El RMR se determinó siguiendo las pautas que se indican en el Tabla 2 de acuerdo a Bieniawski (1989). La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al Grupo Pulluicana (Formación Yumagual), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 80 MPa, lo que corresponde a la Clase R4, categorizada como Roca Resistente, según la Tabla 4 de “Estimación de la RCU en campo” de Hoek y Brown (1997).

El Índice de Calidad de la Roca RQD, segundo parámetro del RMR<sub>89</sub>, se ha calculado según:

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

Donde :

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}} = \frac{18}{1.8} = 10$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(10)} * (0.1(10) + 1) = 73.6$$

**Tabla 22.**

Índice de Calidad de la Roca, EG 3.

RQD %	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena



El valor de RQD = 73.6, corresponde a Calidad de Roca Media.

El Macizo Rocos, se encuentra definido por tres familias de discontinuidades, con espaciados de 0.6 a 2 m y persistencia de 1 a 3 m. Su estructura presenta superficies rugosas, ligeramente alteradas.

Según la tabla 23, el RMR de la Estación Geomecánica 3 tiene un valor de 68, correspondiente a Clase II, lo que la categoriza como Roca Buena.

**Tabla 23.**  
RMR<sub>89</sub> - Estación Geomecánica 3

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 Mpa	1 - 2 MPa	Compresión simple Mpa		
		Compresión simple	>250 MPa	100 - 250MPa	50 - 100Mpa	25 -50 MPa	5- 25MPa	1- 5MPa	< 1 Mpa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada -Lisa	Suave – Pulida		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Relación Pagua / Ppric.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condiciones Generales	Seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
<b>RMR</b>							<b>68</b>		



**Tabla 24.**

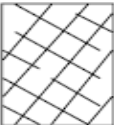



Clasificación Geomecánica RMR<sub>89</sub> – Estación Geomecánica 3

CALIDAD	RMR	CLASE
Roca Muy Buena	81 – 100	I
Roca Buena	61 – 80	II
Roca Regular	41 – 60	III
Roca Mala	21 – 40	IV
Roca Muy Mala	0 – 20	V

El GSI de la Estación Geomecánica 3 fue estimado según Hoek y Brown (1997).

**Tabla 25.**

Índice Geológico de resistencia, EG 3

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
<p>De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p>		<p><b>MUY BUENA:</b> Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración).</p> <p><b>BUENA:</b> Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro.</p> <p><b>REGULAR:</b> Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas.</p> <p><b>MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes</p> <p><b>MUY MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos.</p>				
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
 <p><b>FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABAJADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	<p>80</p> <p>70</p>					
 <p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES TRABAJADOS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MÁS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>	<p>60</p> <p>50</p>					
 <p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCIÓN DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>	<p>40</p> <p>30</p>					
 <p><b>DESINTEGRADO</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS.</p>	<p>20</p> <p>10</p>					
		DISMINUYE LA TRABAZÓN DE LOS BLOQUES DE ROCA				

De acuerdo con el análisis de datos de la Estación Geomecánica 3, se tiene:

**Tabla 26.**

Reporte de la Estación Geomecánica 3

<b>EG3</b>	<b>PUNTAJE</b>	
<b>Criterios Empíricos</b>	<b>Cuantitativo</b>	<b>Cualitativo</b>
<b>RQD</b>	74	Media
<b>RMR</b>	68	Roca buena
<b>GSI</b>	70	Buena

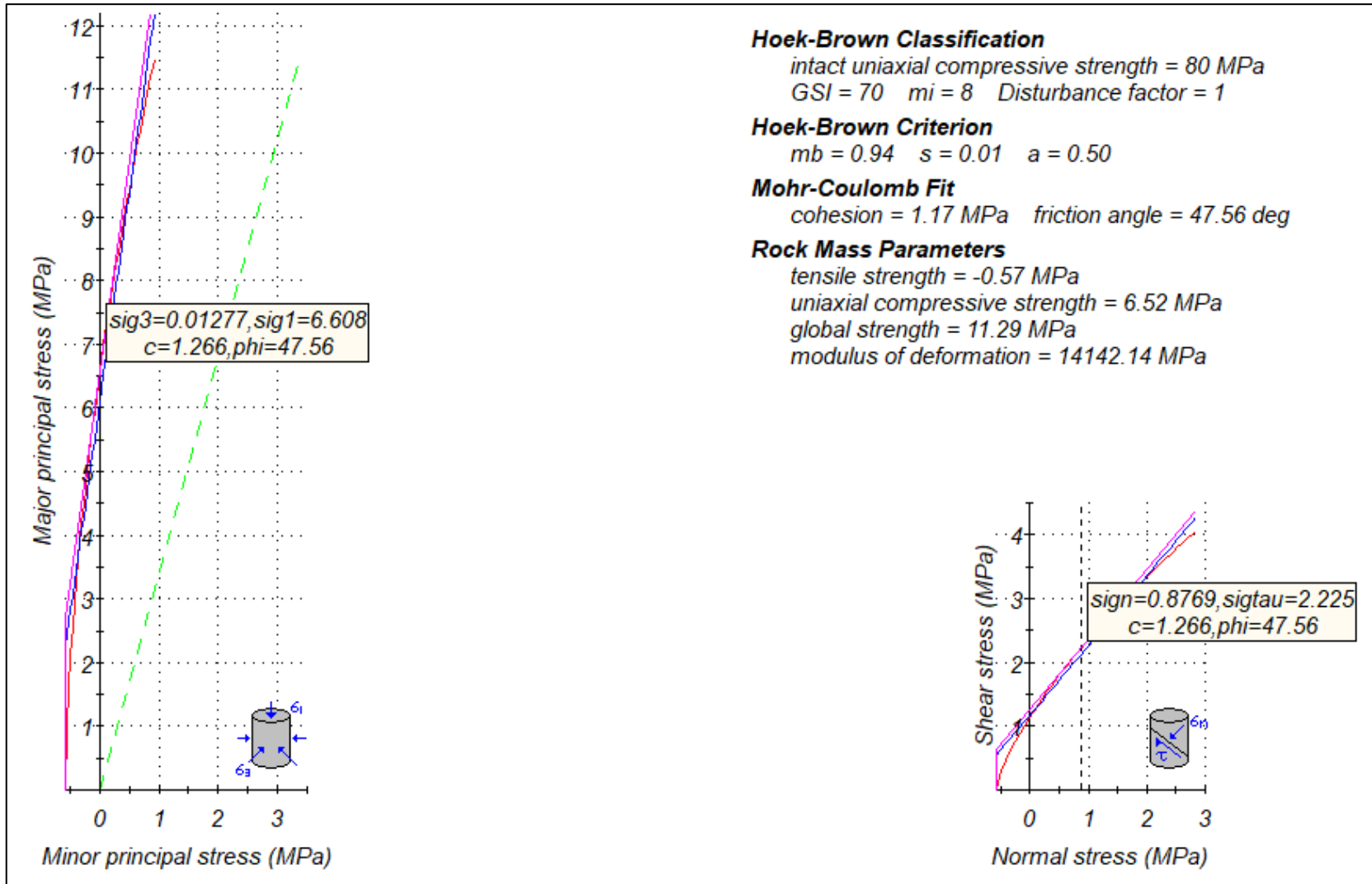
**a) Análisis en RocData**

En la Figura 24 se muestra el análisis de la Estación Geomecánica 3 en el software RocData, donde se determinó parámetros del macizo rocoso como la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso ante esfuerzos mayores vs esfuerzos menores y esfuerzo normal vs esfuerzo de corte. Los parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción son 1.173 MPa y 47.56° respectivamente; es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

**b) Análisis cinemático en DIPS**

Se utilizó el software DIPS para realizar el análisis cinemáticos de los datos tomados en la Estación Geomecánica 3. Se ha considerado para ello las 2 propuestas de diseño para el método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc.

En la Figura 25 se observa el análisis cinemático del Diseño A, donde se visualiza un total de 190 cuñas, de las cuales el 13.16 % son críticas. Por otro lado, en la Figura 26 para el Diseño B se tiene 190 cuñas, no habiendo cuñas críticas. Se debe considerar el porcentaje de cuñas críticas obtenido respecto al primer diseño durante explotación de la caliza.



**Figura 24.** Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 3.

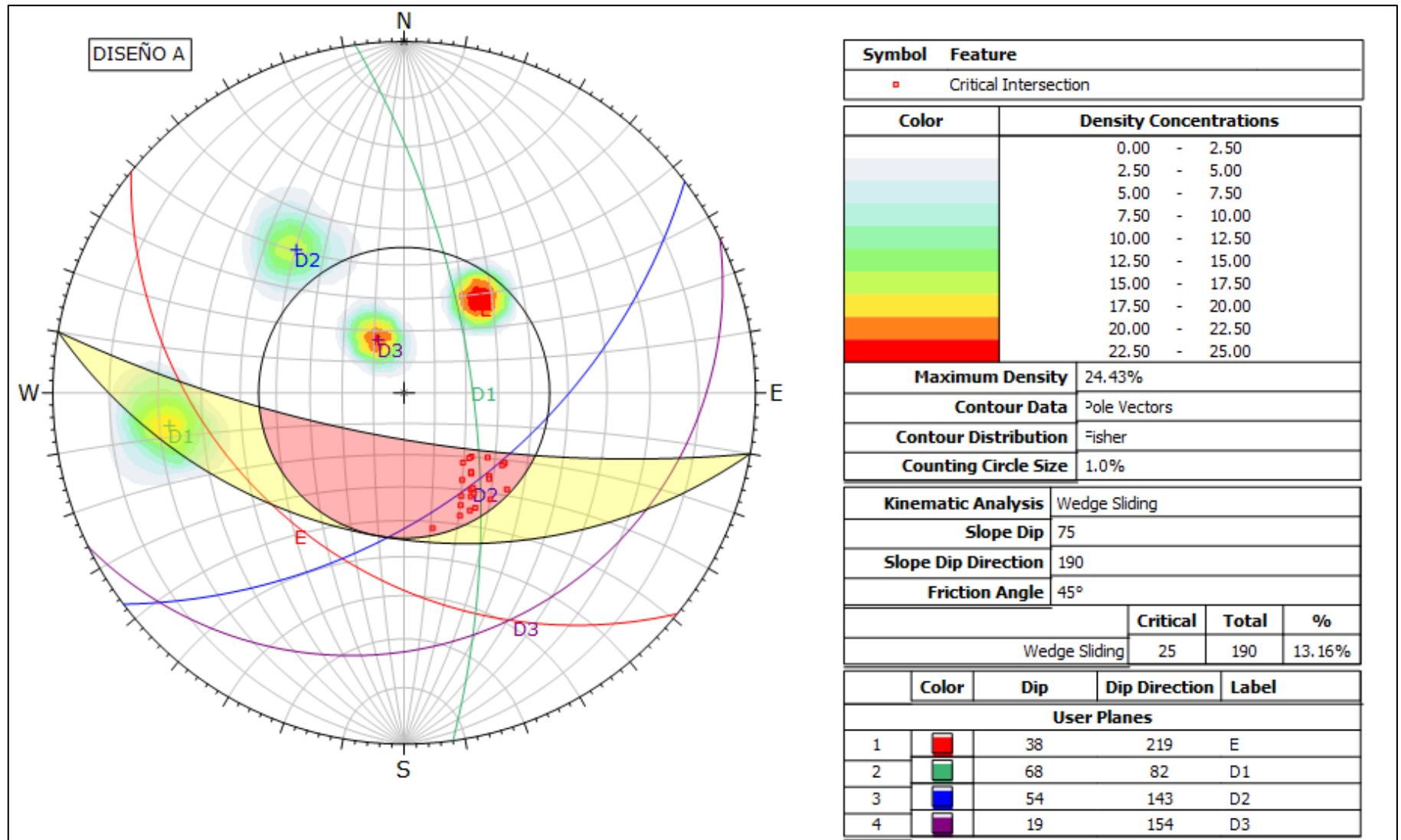


Figura 25. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 3. Diseño A.

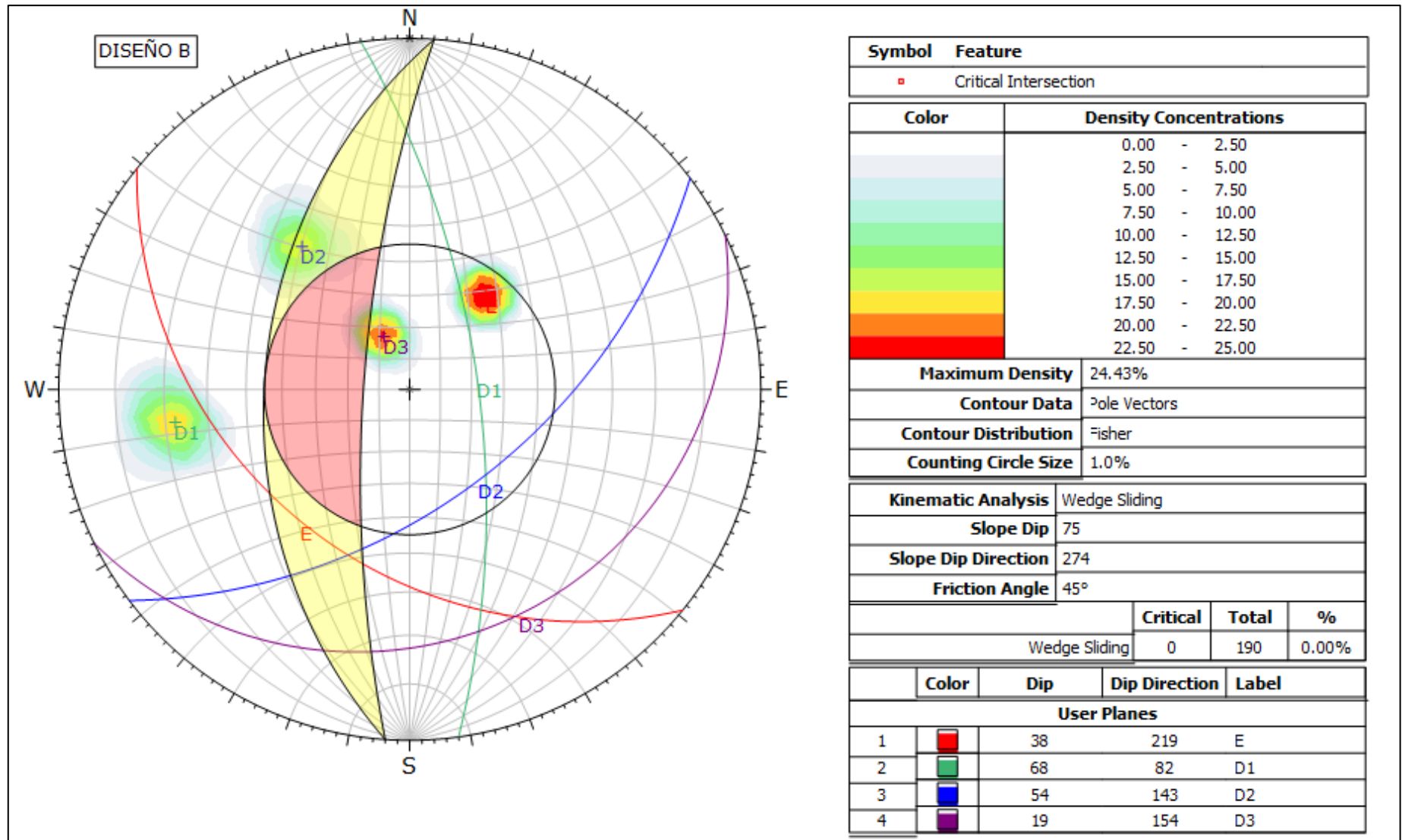


Figura 26. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 3. Diseño B.

#### 4.1.1.4 Estación Geomecánica 4

Para el análisis de la Estación Geomecánica 4, se procesaron los datos obtenidos en el instrumento de recolección Registro Geológico-Geotécnico de Rodríguez (2016). El RMR se determinó siguiendo las pautas que se indican en el Tabla 2 de acuerdo a Bieniawski (1989). La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al Grupo Pulluicana (Formación Yumagual), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 80 MPa, lo que corresponde a la Clase R4, categorizada como Roca Resistente, según la Tabla 4 de “Estimación de la RCU en campo” de Hoek y Brown (1997).

El Índice de Calidad de la Roca RQD, segundo parámetro del RMR<sub>89</sub>, se ha calculado según:

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

Donde :

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}} = \frac{15}{1.6} = 9.4$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(9.4)} * (0.1(9.4) + 1) = 76$$

**Tabla 27.**

Índice de Calidad de la Roca, EG 4.

RQD %	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

El valor de RQD = 76, corresponde a Calidad de Roca Buena.

El Macizo Rocos, se encuentra definido por dos familias de discontinuidades, con espaciados de 0.6 a 2 m y persistencia de 1 a 3 m. Su estructura presenta superficies rugosas, ligeramente alteradas.

Según la tabla 28, el RMR de la Estación Geomecánica 4 tiene un valor de 69, correspondiente a Clase II, lo que la categoriza como Roca Buena.

**Tabla 28.**  
RMR<sub>89</sub> - Estación Geomecánica 4

Parámetro		Rango de valores								
1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 Mpa	1 - 2 MPa	Compresión simple MPa			
		Compresión simple	>250 MPa	100 - 250MPa	50 - 100Mpa	25 -50 MPa	5- 25MPa	1- 5MPa	< 1 MPa	
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0		
2	RQD	90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%				
	Valor	20	17	13	8	3				
3	Separación entre diaclasas	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm				
	Puntuación	20	15	10	8	5				
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
		Puntuación	6	4	2	1	0			
		Abertura	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			
		Puntuación	6	5	4	1	0			
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada -Lisa	Suave - Pulida			
		Puntuación	6	5	3	1	0			
		Relleno			Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
				Ninguno	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0			
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Puntuación	6	5	3	1	0					
5	Agua freática	Relación Pagua / Ppric.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5			
		Condiciones Generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			
	Puntuación	15	10	7	4	0				
<b>RMR</b>							<b>69</b>			



**Tabla 29.**

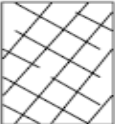



Clasificación Geomecánica RMR<sub>89</sub> – Estación Geomecánica 4

CALIDAD	RMR	CLASE
Roca Muy Buena	81 – 100	I
Roca Buena	61 – 80	II
Roca Regular	41 – 60	III
Roca Mala	21 – 40	IV
Roca Muy Mala	0 – 20	V

El GSI de la Estación Geomecánica 4 fue estimado según Hoek y Brown (1997).

**Tabla 30.**

Índice Geológico de resistencia, EG 4

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
<p>De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p>		<p><b>MUY BUENA:</b> Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración).</p> <p><b>BUENA:</b> Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro.</p> <p><b>REGULAR:</b> Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas.</p> <p><b>MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes.</p> <p><b>MUY MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos.</p>				
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
 <p><b>FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABAJADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	<p>80</p> <p>75</p> <p>70</p>					
 <p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS DE ROCA TRABAJADOS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MÁS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		60				
 <p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCIÓN DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>			40			
 <p><b>DESINTEGRADO</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS.</p>				30		
					20	
					10	



De acuerdo con el análisis de datos de la Estación Geomecánica 4, se tiene:

**Tabla 31.**

Reporte de la Estación Geomecánica 4

<b>EG4</b>	<b>PUNTAJE</b>	
<b>Criterios Empíricos</b>	<b>Cuantitativo</b>	<b>Cualitativo</b>
<b>RQD</b>	76	Buena
<b>RMR</b>	69	Roca buena
<b>GSI</b>	75	Buena

**a) Análisis en RocData**

En la Figura 27 se muestra el análisis de la Estación Geomecánica 4 en el software RocData, donde se determinó parámetros del macizo rocoso como la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso ante esfuerzos mayores vs esfuerzos menores y esfuerzo normal vs esfuerzo de corte. Los parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción son 1.761 MPa y 48.7° respectivamente; es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

**b) Análisis cinemático en DIPS**

Se utilizó el software DIPS para realizar el análisis cinemáticos de los datos tomados en la Estación Geomecánica 4. Se ha considerado para ello las 2 propuestas de diseño para el método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc.

En la Figura 28 se observa el análisis cinemático del Diseño A, donde se visualiza un total de 105 cuñas, de las cuales 14 son críticas, lo que corresponde a un 13.33%; así también en la Figura 29 observamos un porcentaje crítico de 26.67% respecto a rotura planar . Para el diseño B, en la Figura 30 se tiene 105 cuñas, y solo una es crítica. Se deberá considerar el análisis respecto a cuñas y rotura planar del Diseño A durante la explotación de la caliza

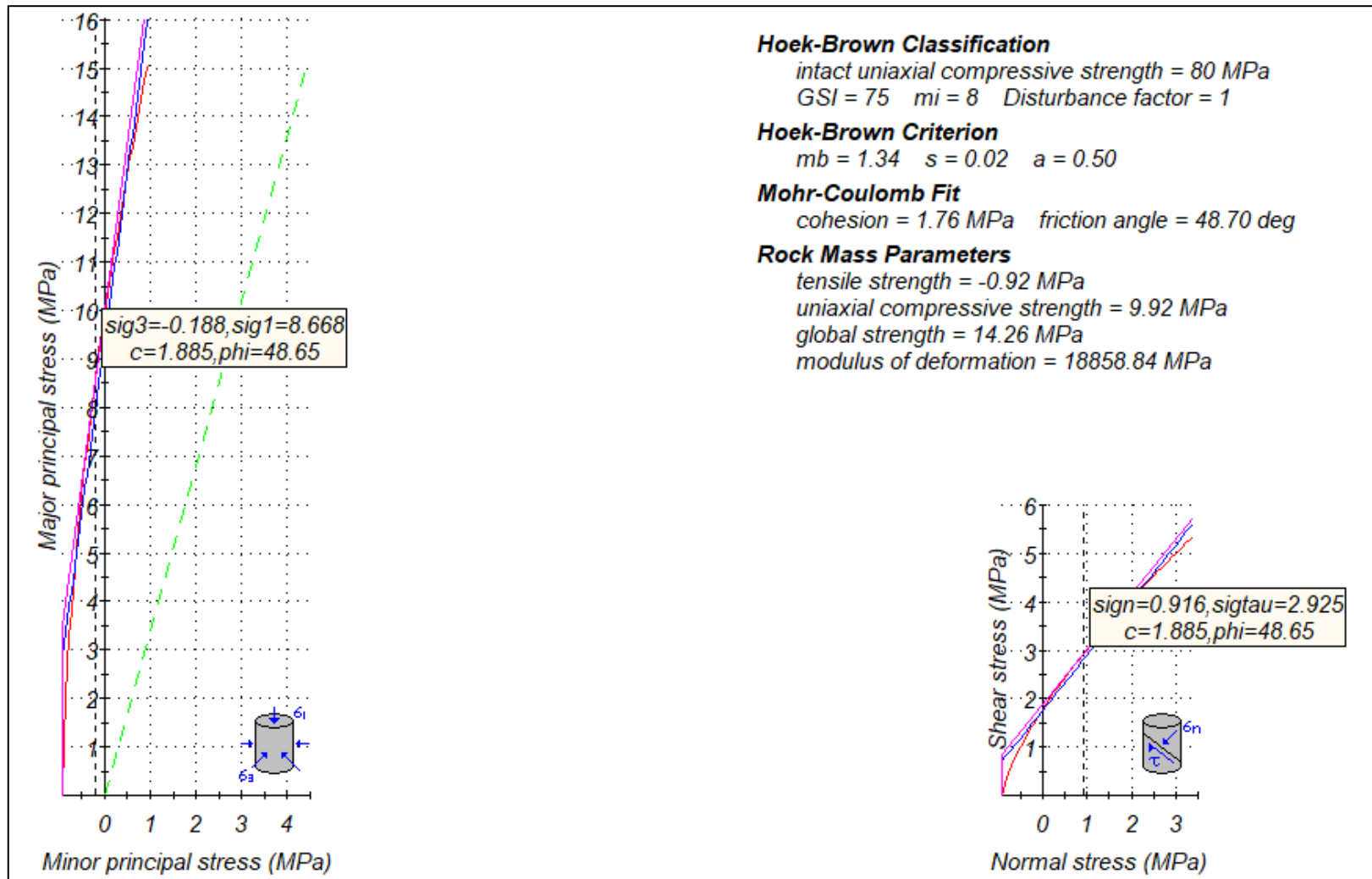


Figura 27. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 4.

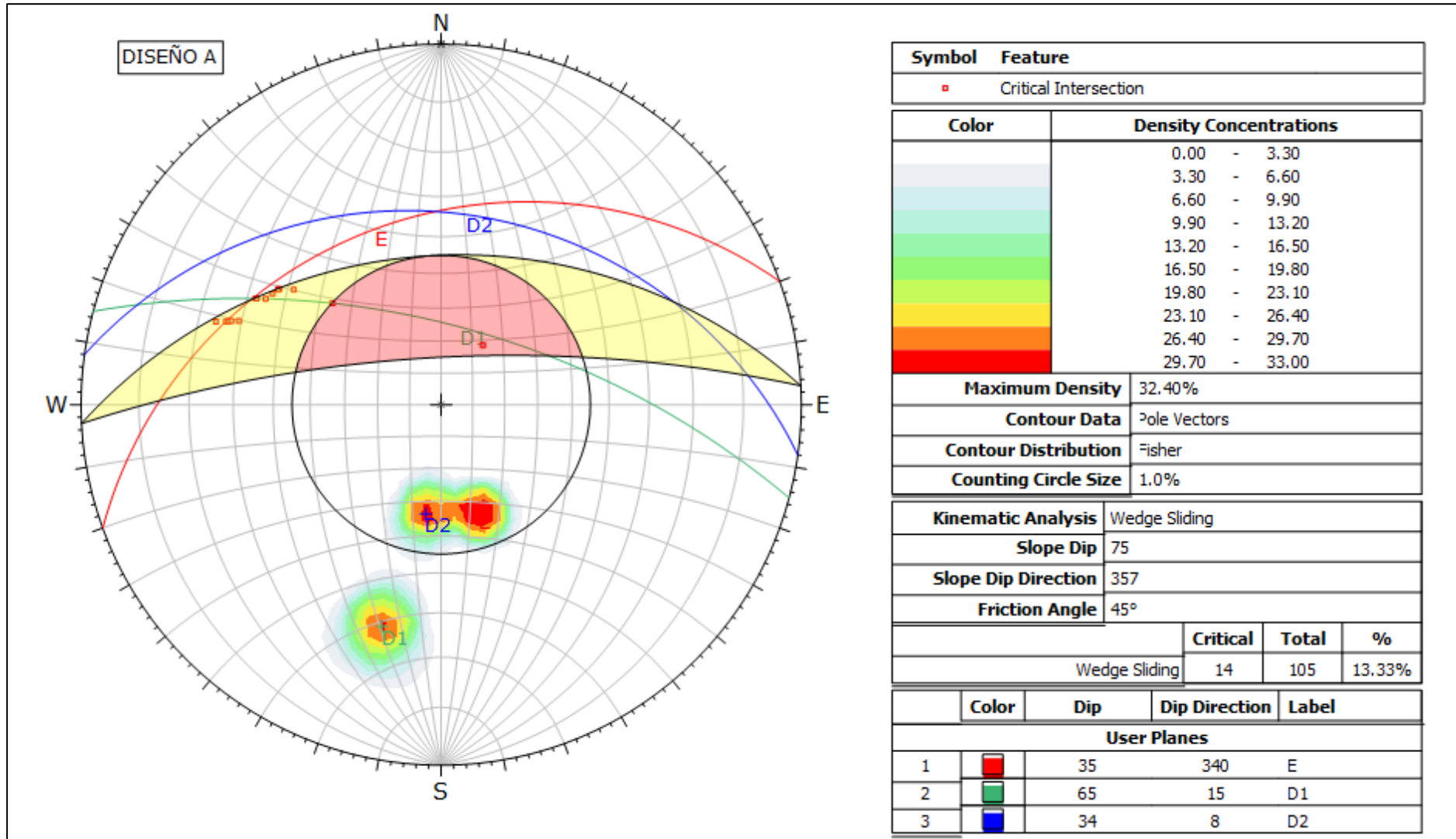
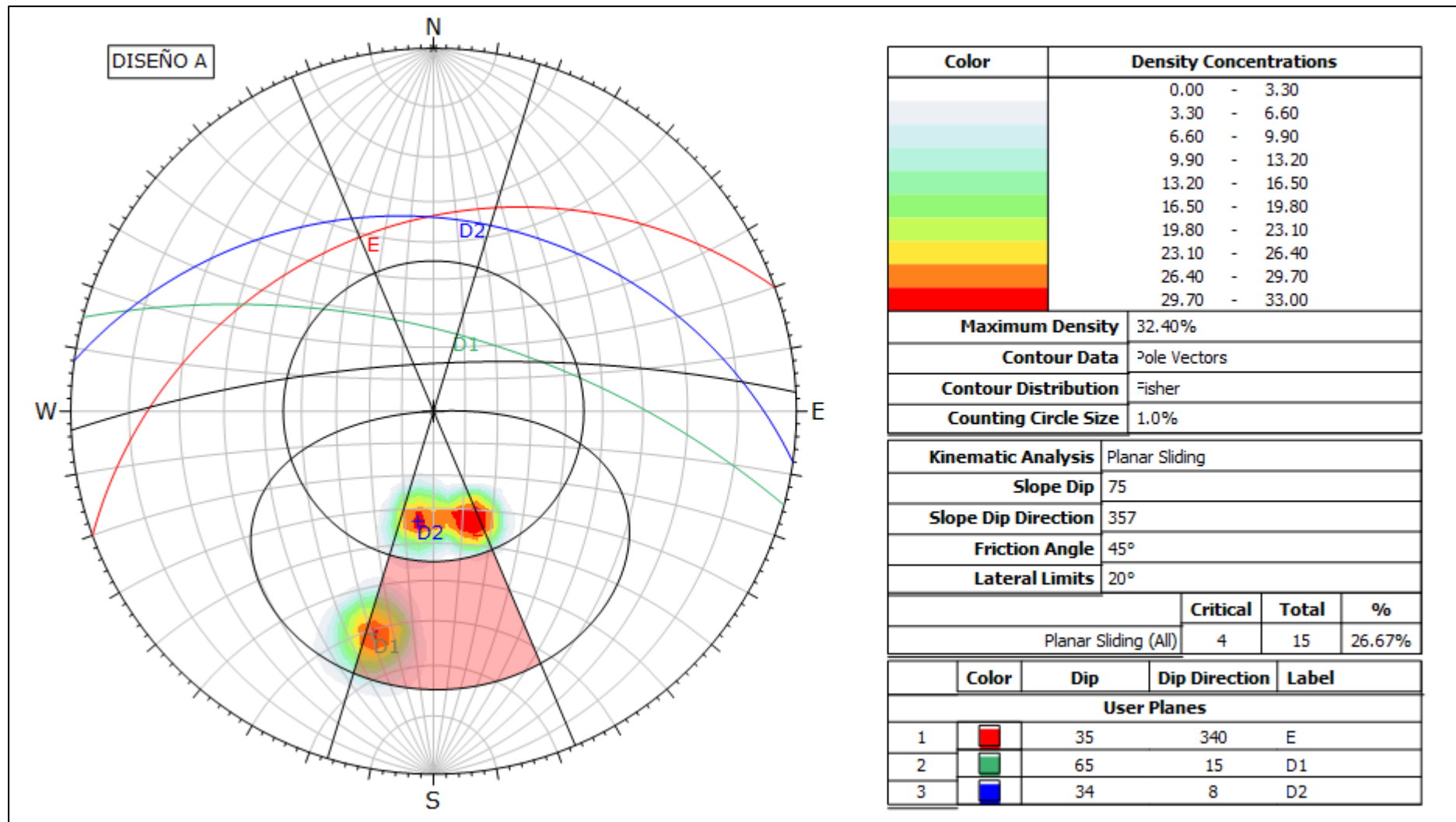
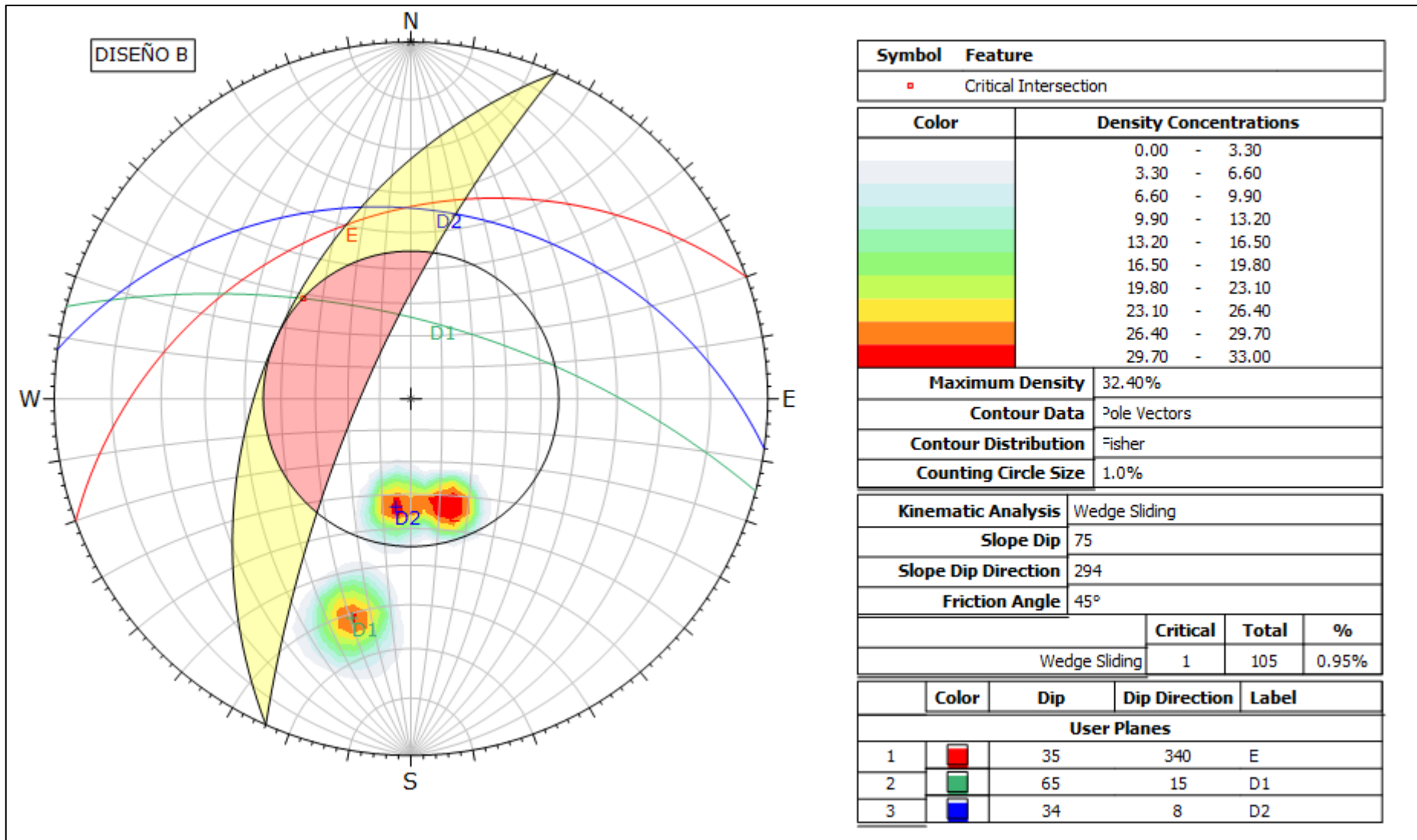


Figura 28. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 4. Diseño A.



**Figura 29.** Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 4. Diseño A.



**Figura 30.** Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 4. Diseño B.

#### 4.1.1.5 Estación Geomecánica 5

Para el análisis de la Estación Geomecánica 5, se procesaron los datos obtenidos en el instrumento de recolección Registro Geológico-Geotécnico de Rodríguez (2016). El RMR se determinó siguiendo las pautas que se indican en el Tabla 2 de acuerdo a Bieniawski (1989). La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al Grupo Pulluicana (Formación Yumagual), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 70 MPa, lo que corresponde a la Clase R4, categorizada como Roca Resistente, según la Tabla 4 de “Estimación de la RCU en campo” de Hoek y Brown (1997).

El Índice de Calidad de la Roca RQD, segundo parámetro del RMR<sub>89</sub>, se ha calculado según:

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

Donde :

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}} = \frac{32}{2.8} = 11.4$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(11.4)} * (0.1(11.4) + 1) = 68$$

**Tabla 32.**

Índice de Calidad de la Roca, EG 5.

RQD %	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

El valor de RQD = 68, corresponde a Calidad de Roca Media.

El Macizo Rocosos se encuentra definida por dos familias de discontinuidades, con espaciados de 200 a 600 .mm y persistencia de 1 a 3 m. Su estructura presenta superficies ligeramente rugosas, ligeramente alteradas.

Según la tabla 33, el RMR de la Estación Geomecánica 5 tiene un valor de 60, correspondiente a Clase III, lo que la categoriza como Roca Regular.

**Tabla 33.**  
RMR<sub>89</sub> - Estación Geomecánica 5

Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 - 10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 MPa	Compresión simple Mpa		
		Compresión simple	>250 MPa	100 - 250MPa	50 - 100Mpa	25 -50 MPa	5- 25MPa	1- 5Mpa	< 1 MPa
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%		
	Valor		20	17	13	8	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada -Lisa	Suave - Pulida		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno		Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
			Ninguno	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Relación Pagua / Ppric.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Condiciones Generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
<b>RMR</b>							<b>60</b>		



**Tabla 34.**

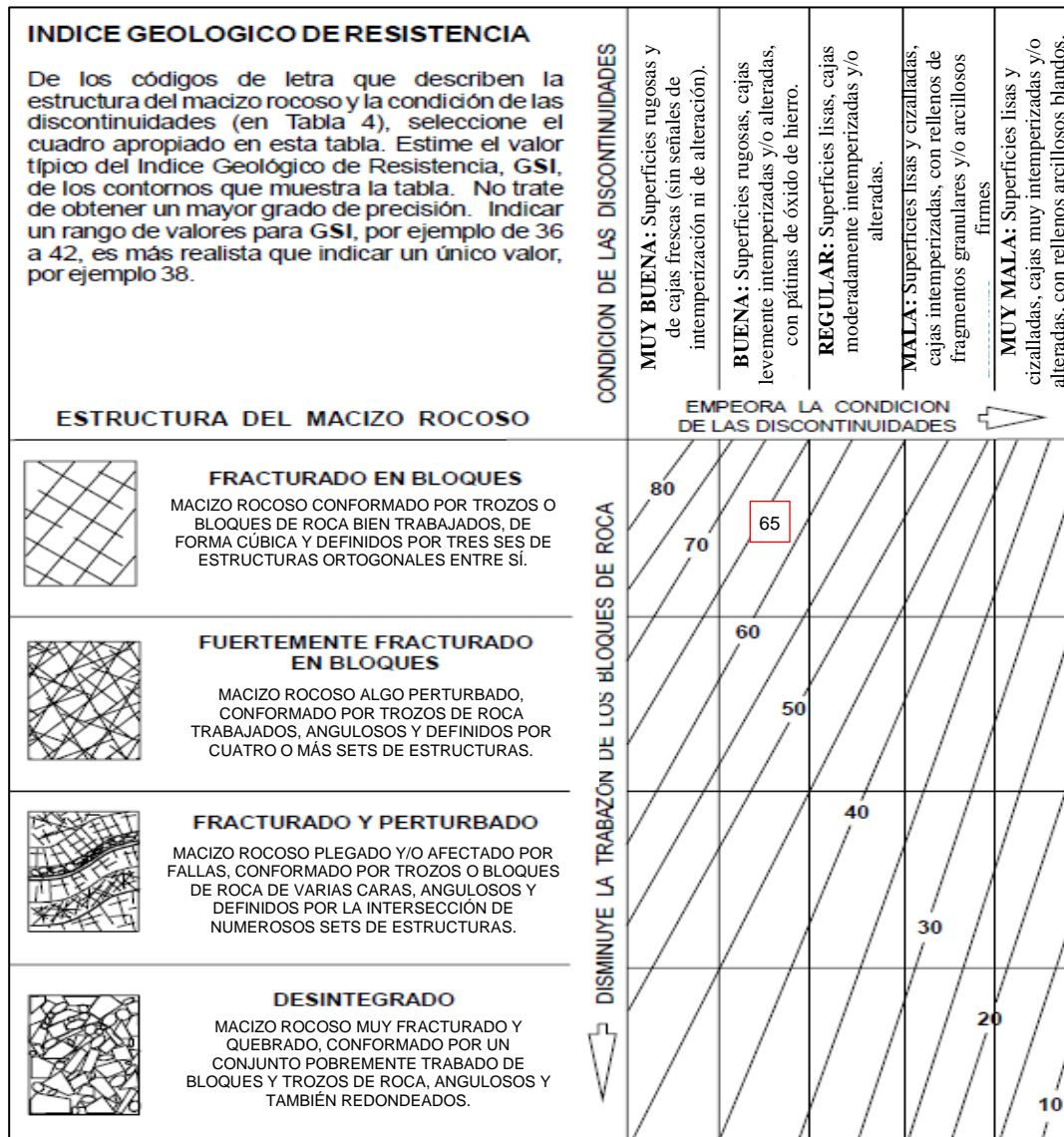
Clasificación Geomecánica RMR<sub>89</sub> – Estación Geomecánica 5

CALIDAD	RMR	CLASE
Roca Muy Buena	81 – 100	I
Roca Buena	61 – 80	II
Roca Regular	41 – 60	III
Roca Mala	21 – 40	IV
Roca Muy Mala	0 – 20	V

El GSI de la Estación Geomecánica 5 fue estimado según Hoek y Brown (1997).

**Tabla 35.**

Índice Geológico de resistencia, EG 5





De acuerdo con el análisis de datos de la Estación Geomecánica 5, se tiene:

**Tabla 36.**

Reporte de la Estación Geomecánica 5

<b>EG5</b>	<b>PUNTAJE</b>	
<b>Criterios Empíricos</b>	<b>Cuantitativo</b>	<b>Cualitativo</b>
<b>RQD</b>	68	Media
<b>RMR</b>	60	Roca Regular
<b>GSI</b>	65	Buena

**a) Análisis en RocData**

En la Figura 31 se muestra el análisis de la Estación Geomecánica 5 en el software RocData, donde se determinó parámetros del macizo rocoso como la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso ante esfuerzos mayores vs esfuerzos menores y esfuerzo normal vs esfuerzo de corte. Los parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción son 0.718 MPa y 45.22° respectivamente; es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

**b) Análisis cinemático en DIPS**

Se utilizó el software DIPS para realizar el análisis cinemáticos de los datos tomados en la Estación Geomecánica 5. Se ha considerado para ello las 2 propuestas de diseño para el método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc.

En la Figura 32 se observa el análisis cinemático del Diseño A respecto a cuñas, teniendo un porcentaje de 25.71% de cuñas críticas, mientras que en la Figura 33 se observa un porcentaje crítico de 20% respecto a rotura planar. Por otro lado para el diseño B, en la Figura 34 se observa un total de 105 cuñas, de las cuales el 35.19% son críticas; asimismo, en la Figura 35 se observa un porcentaje crítico de 20% respecto a rotura planar. Se debe tener en cuenta los porcentajes críticos de cuñas y rotura planar para ambos diseños considerando que podrían influir en la estabilidad al momento de la explotación de la caliza.

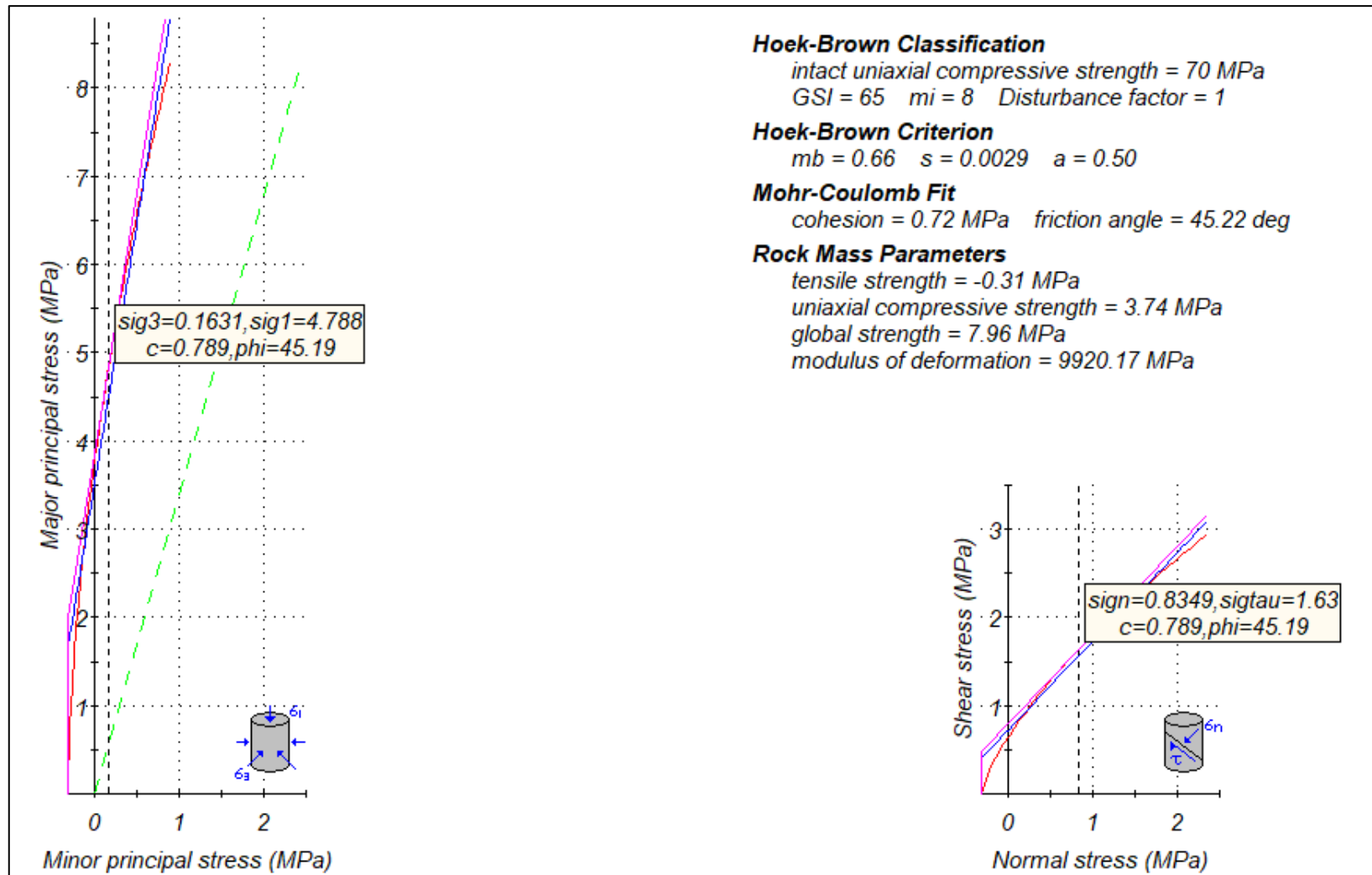


Figura 31. Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 5.

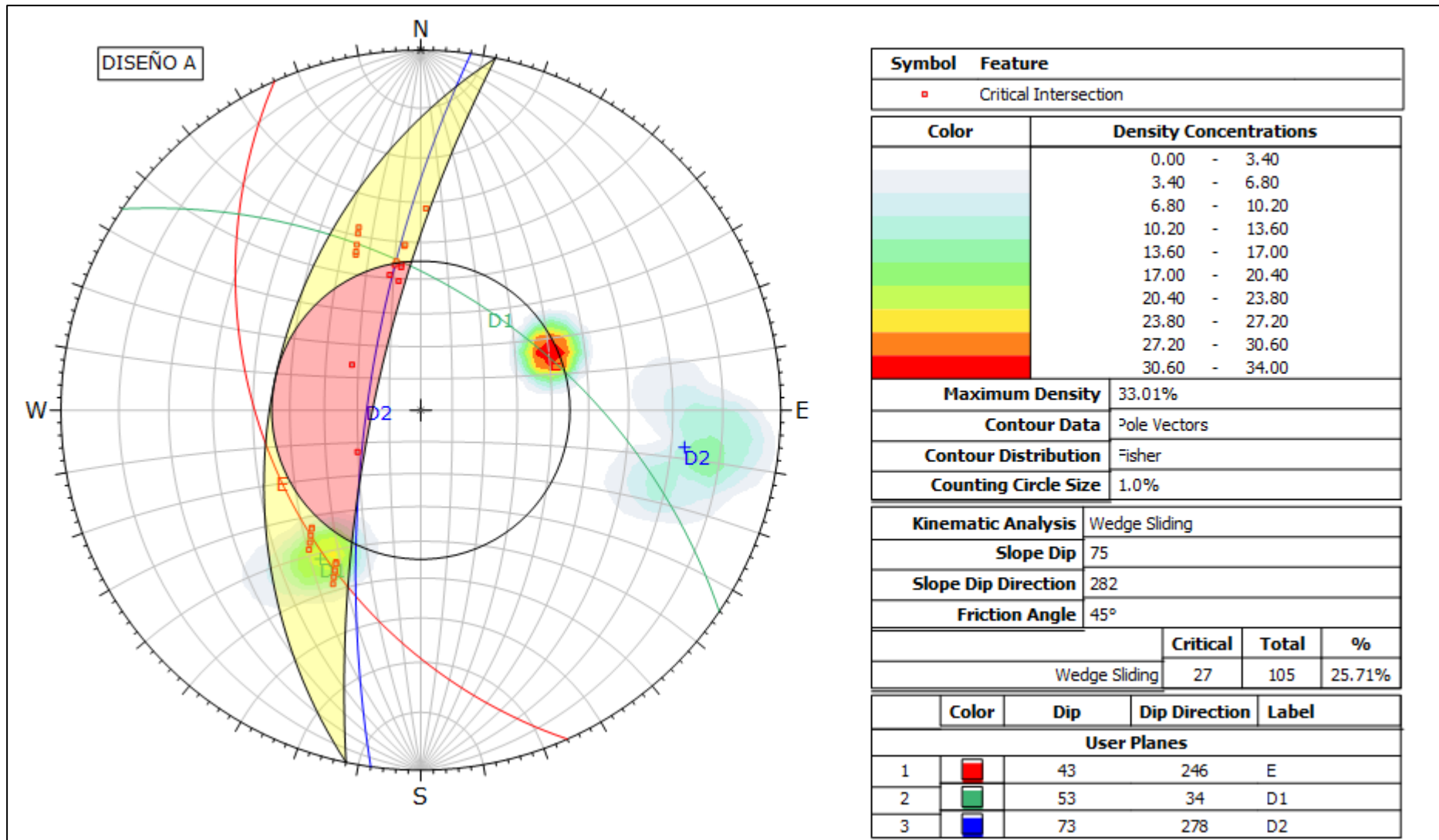
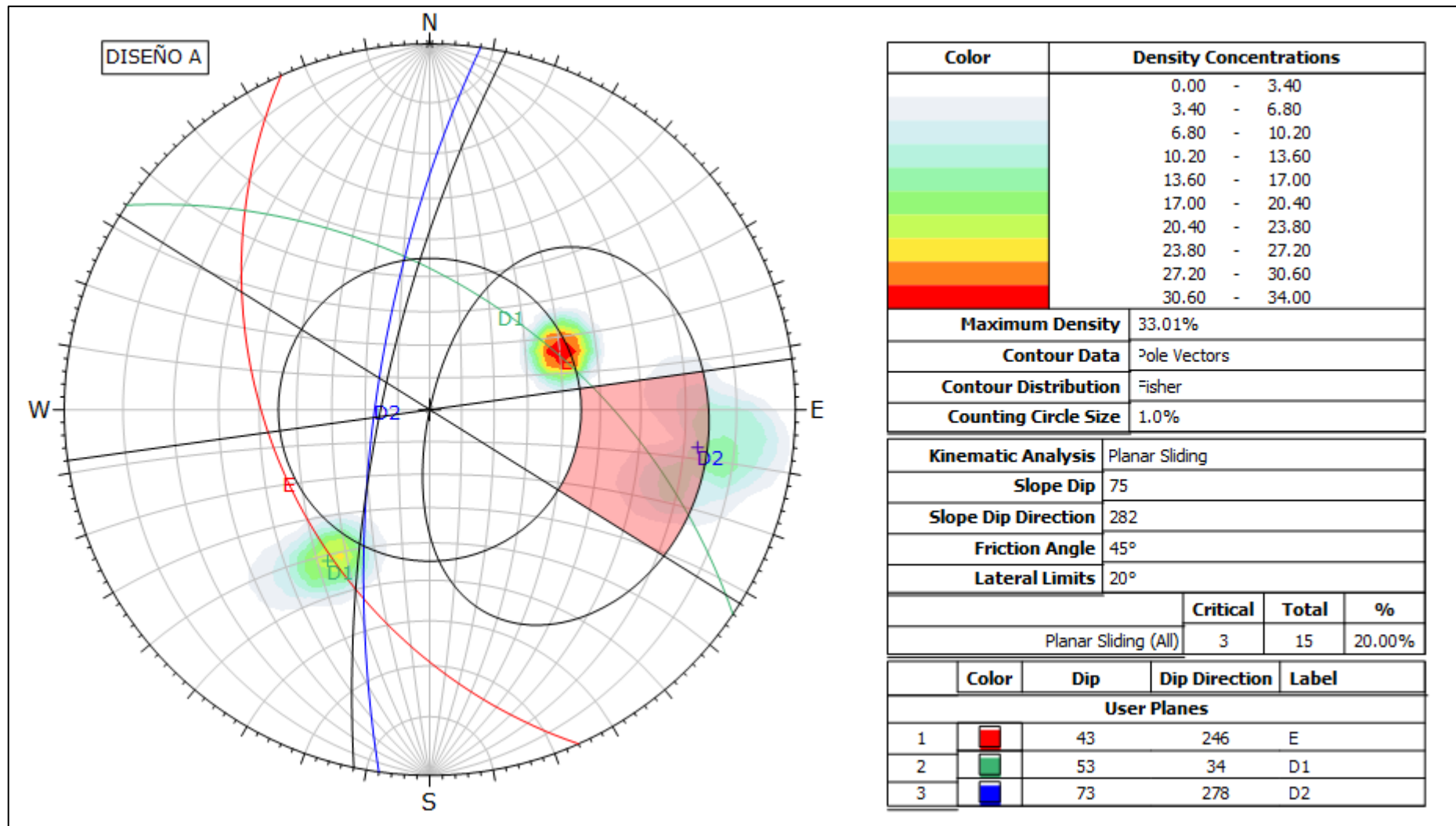


Figura 32. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 5. Diseño A.



**Figura 33.** Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 5. Diseño A.

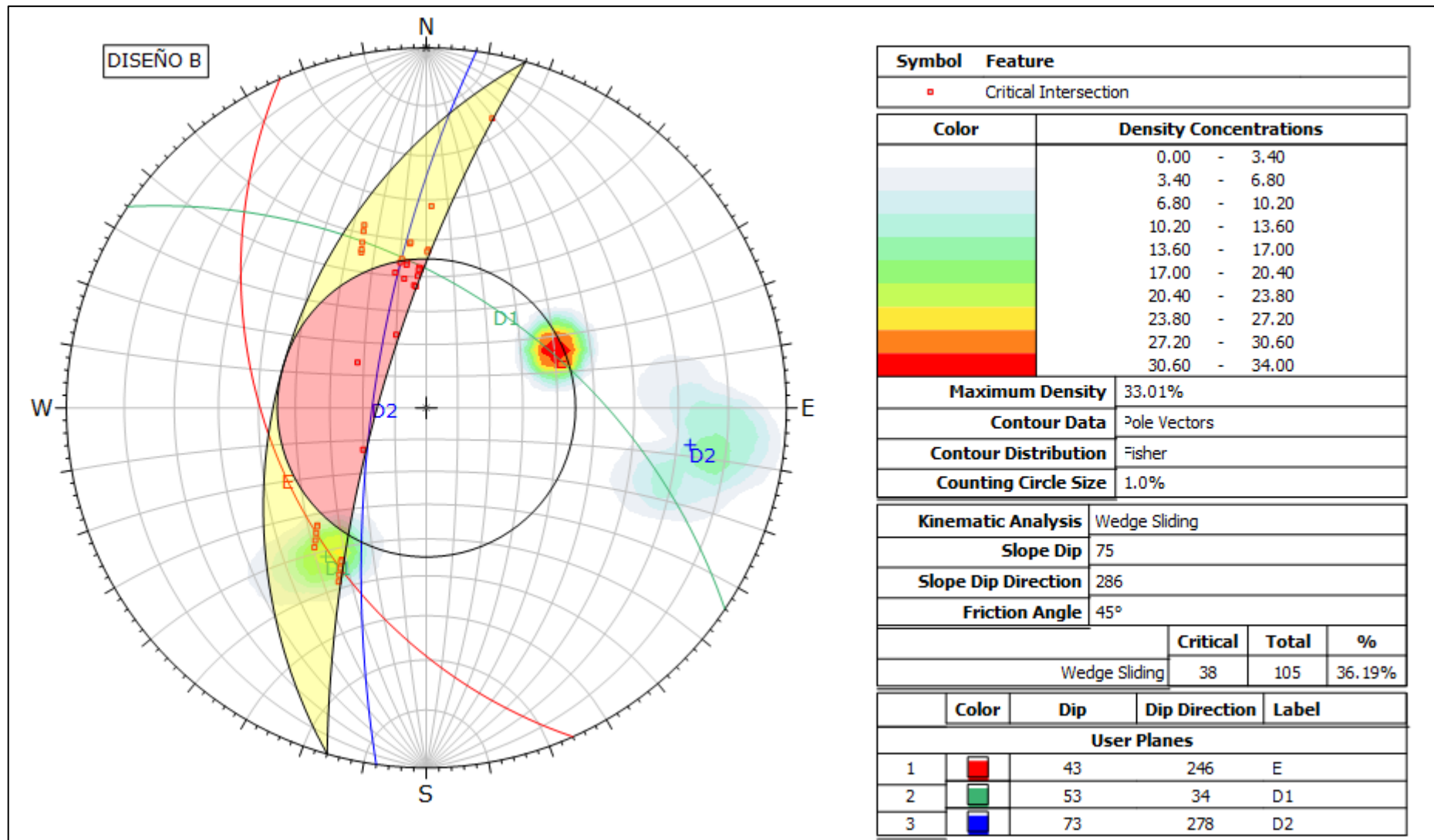


Figura 34. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 5. Diseño B.

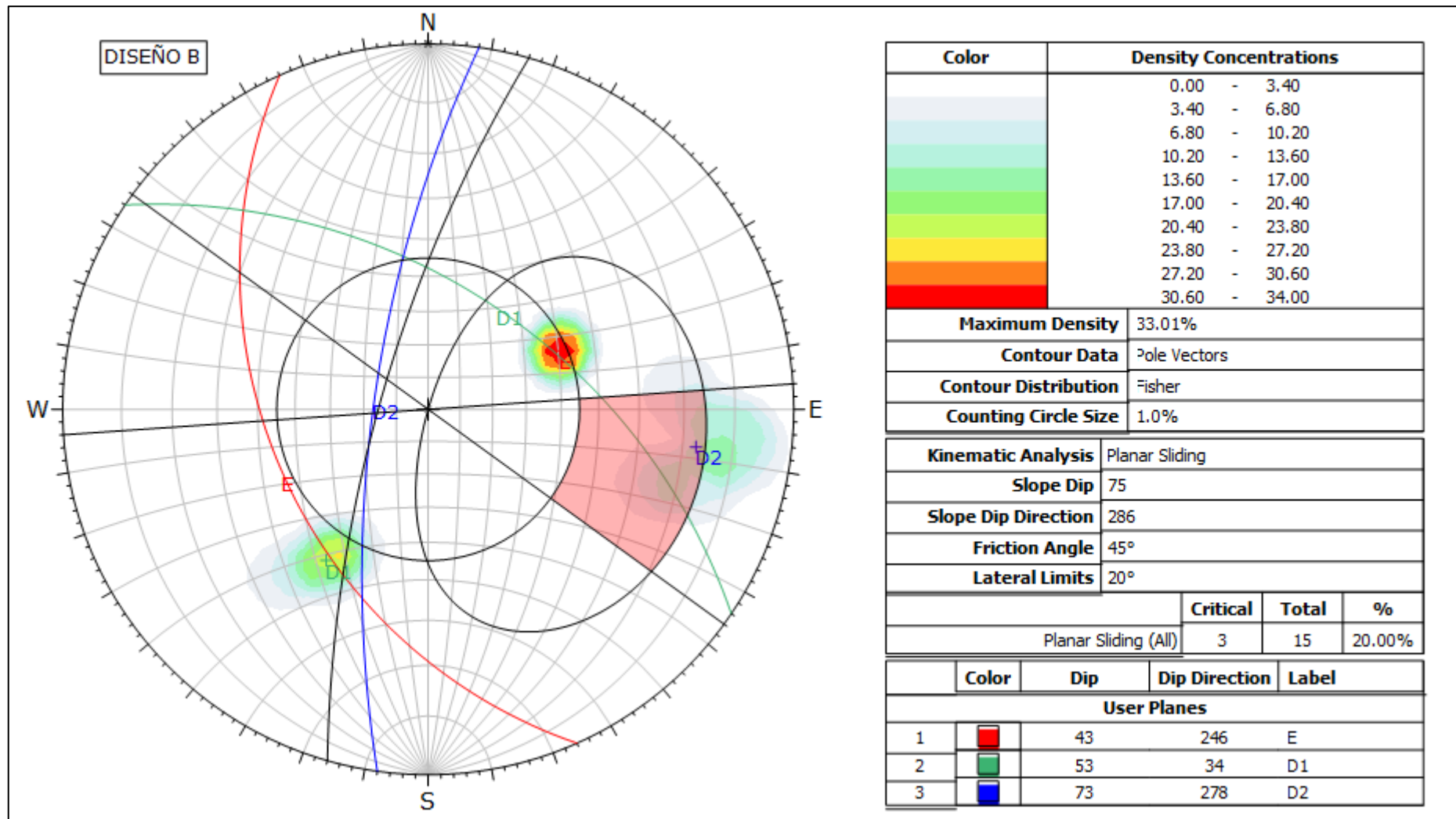


Figura 35. Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 5. Diseño B.

#### 4.1.1.6 Estación Geomecánica 6

Para el análisis de la Estación Geomecánica 6, se procesaron los datos obtenidos en el instrumento de recolección Registro Geológico-Geotécnico de Rodríguez (2016). El RMR se determinó siguiendo las pautas que se indican en el Tabla 2 de acuerdo a Bieniawski (1989). La Estación de análisis se encuentra conformada litológicamente por roca caliza perteneciente al Grupo Pulluicana (Formación Yumagual), con estimación de resistencia a la compresión uniaxial RCU = 95 MPa, lo que corresponde a la Clase R4, categorizada como Roca Resistente, según la Tabla 4 de “Estimación de la RCU en campo” de Hoek y Brown (1997).

El Índice de Calidad de la Roca RQD, segundo parámetro del RMR<sub>89</sub>, se ha calculado según:

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

Donde :

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{\text{longitud total (m)}} = \frac{12}{1.4} = 8.6$$

Tenemos:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(8.6)} * (0.1(8.6) + 1) = 78.8$$

**Tabla 37.**

Índice de Calidad de la Roca, EG 5.

RQD %	CALIDAD
< 25	Muy Mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Media
75 – 90	Buena
90 – 100	Muy Buena

El valor de RQD = 78.8, corresponde a Calidad de Roca Buena.

El Macizo Rocosos se encuentra definida por dos familias de discontinuidades, con espaciados de 0.6 a 2 m y persistencia de 1 a 3 m. Su estructura presenta superficies rugosas, ligeramente alteradas.

Según la tabla 38, el RMR de la Estación Geomecánica 6 tiene un valor de 70, correspondiente a Clase II, lo que la categoriza como Roca Buena.

**Tabla 38.**  
RMR<sub>89</sub> - Estación Geomecánica 6

Parámetro			Rango de valores							
1	Resistencia de la matriz rocosa	Ensayo de carga puntual	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Compresión simple Mpa			
		Compresión simple	>250 MPa	100 - 250MPa	50 - 100MPa	25 -50 MPa	5- 25MPa	1- 5MPa	< 1 MPa	
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%			
	Valor		20	17	13	8	3			
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
		Puntuación	6	4	2	1	0			
		Abertura	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			
		Puntuación	6	5	4	1	0			
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada -Lisa	Suave – Pulida			
		Puntuación	6	5	3	1	0			
		Relleno		Relleno duro	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando		
			Ninguno	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm			
		Puntuación	6	4	2	2	0			
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Puntuación	6	5	3	1	0					
5	Agua freática	Relación Pagua / Ppric.	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5			
		Condiciones Generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo			
	Puntuación		15	10	7	4	0			
<b>RMR</b>							<b>70</b>			



**Tabla 39.**

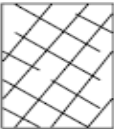



Clasificación Geomecánica RMR<sub>89</sub> – Estación Geomecánica 6

CALIDAD	RMR	CLASE
Roca Muy Buena	81 – 100	I
Roca Buena	61 – 80	II
Roca Regular	41 – 60	III
Roca Mala	21 – 40	IV
Roca Muy Mala	0 – 20	V

El GSI de la Estación Geomecánica 6 fue estimado según Hoek y Brown (1997).

**Tabla 40.**

Índice Geológico de resistencia, EG 6

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
<p>De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p>		<p><b>MUY BUENA:</b> Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración).</p> <p><b>BUENA:</b> Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro.</p> <p><b>REGULAR:</b> Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas.</p> <p><b>MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes</p> <p><b>MUY MALA:</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos.</p>				
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES →				
 <p><b>FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABAJADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	<p>DISMINUYE LA TRABAZÓN DE LOS BLOQUES DE ROCA</p> <p>⇩</p>	80	70	60	50	40
 <p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS DE ROCA TRABAJADOS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MÁS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		60	50	40	30	
 <p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCIÓN DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		40	30	20	10	
 <p><b>DESINTEGRADO</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS.</p>		20	10			

De acuerdo con el análisis de datos de la Estación Geomecánica 6, se tiene:

**Tabla 41.**

Reporte de la Estación Geomecánica 6

<b>EG5</b>	<b>PUNTAJE</b>	
<b>Criterios Empíricos</b>	<b>Cuantitativo</b>	<b>Cualitativo</b>
<b>RQD</b>	76	Buena
<b>RMR</b>	70	Roca buena
<b>GSI</b>	70	Buena

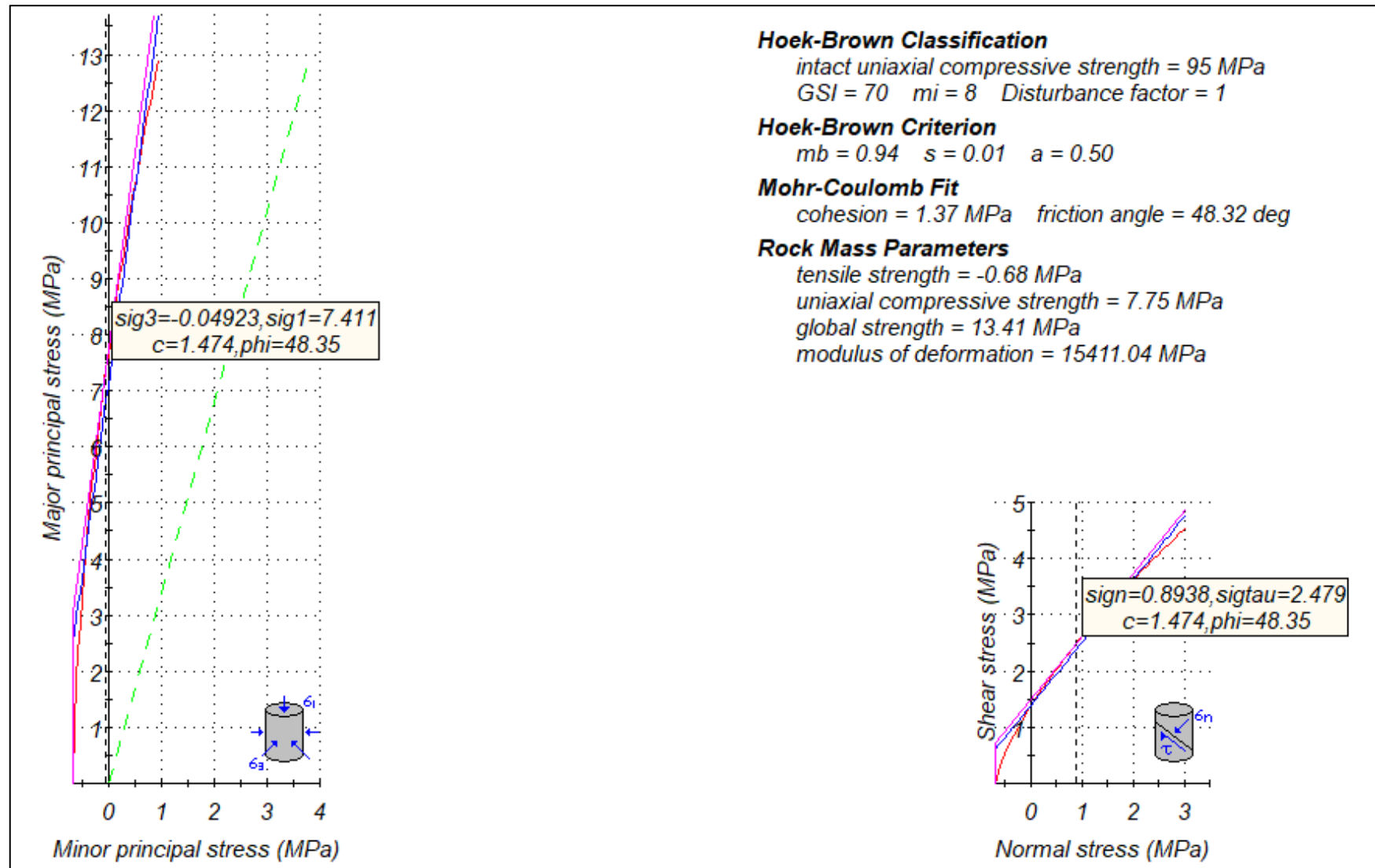
**a) Análisis en RocData**

En la Figura 36 se muestra el análisis de la Estación Geomecánica 6 en el software RocData, donde se determinó parámetros del macizo rocoso como la cohesión y el ángulo de fricción del macizo rocoso ante esfuerzos mayores vs esfuerzos menores y esfuerzo normal vs esfuerzo de corte. Los parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción son 1.371 MPa y 48.32° respectivamente; es importante resaltar que la línea verde corresponde a la Línea de Mogi, la cual nos va a identificar que la roca es bastante compacta y dura.

**b) Análisis cinemático en DIPS**

Se utilizó el software DIPS para realizar el análisis cinemáticos de los datos tomados en la Estación Geomecánica 6. Se ha considerado para ello las 2 propuestas de diseño para el método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc.

En la Figura 37 se observa el análisis cinemático del Diseño A respecto a cuñas, se observan 105 cuñas, de las cuales el 39.05% son críticas; así también en la Figura 38 se muestra el análisis de rotura planar siendo el porcentaje crítico igual al 13.33%. Para el diseño B, en la Figura 39 podemos observar un 19.05% de cuñas críticas, mientras que respecto al análisis de rotura planar en la figura 40 se tiene un 13.33%. Estos valores deben ser considerados al momento de la explotación de la caliza.



**Figura 36.** Gráfica de Esfuerzos Mayor – Esfuerzo Menor (izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de corte (derecha), EG 6.

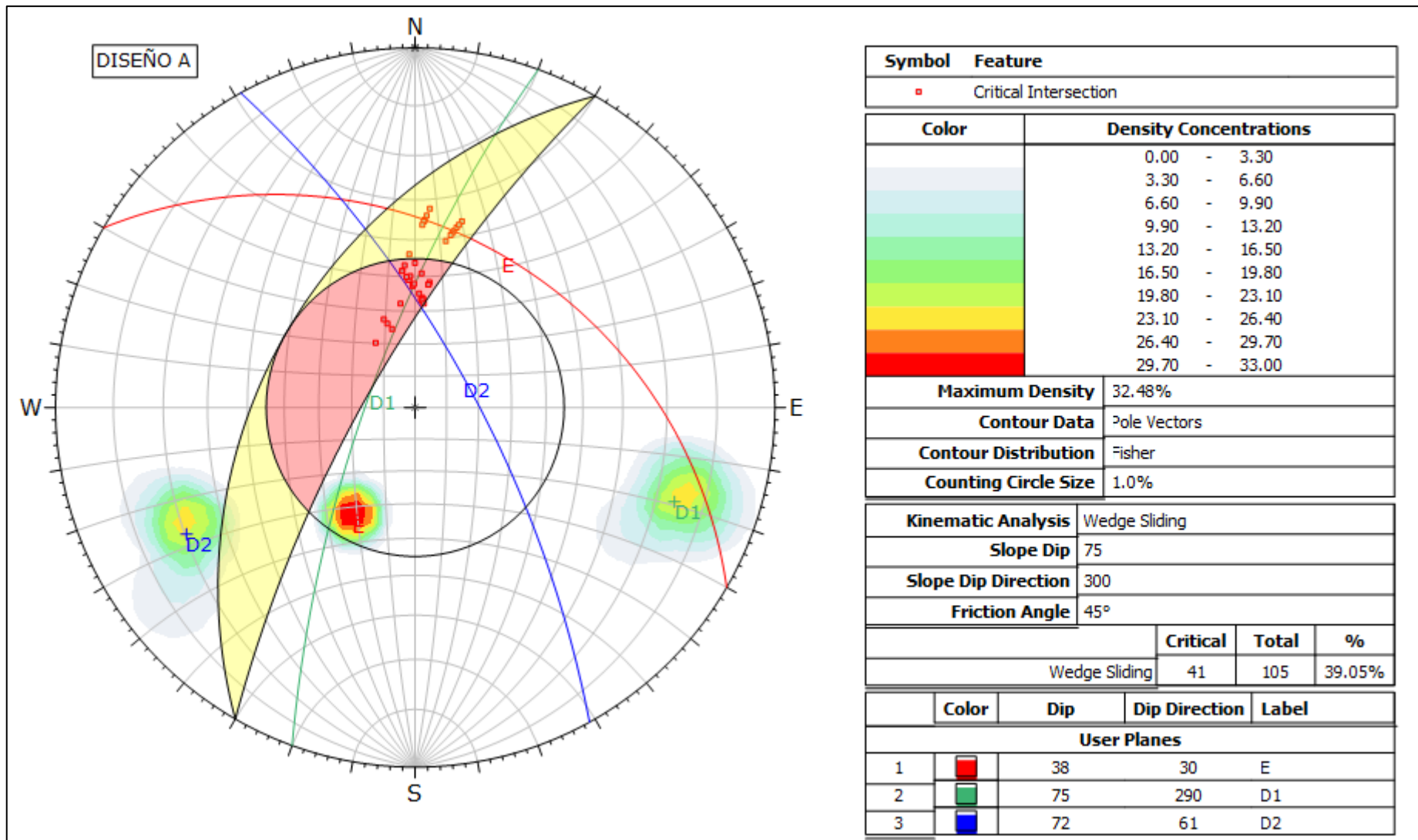
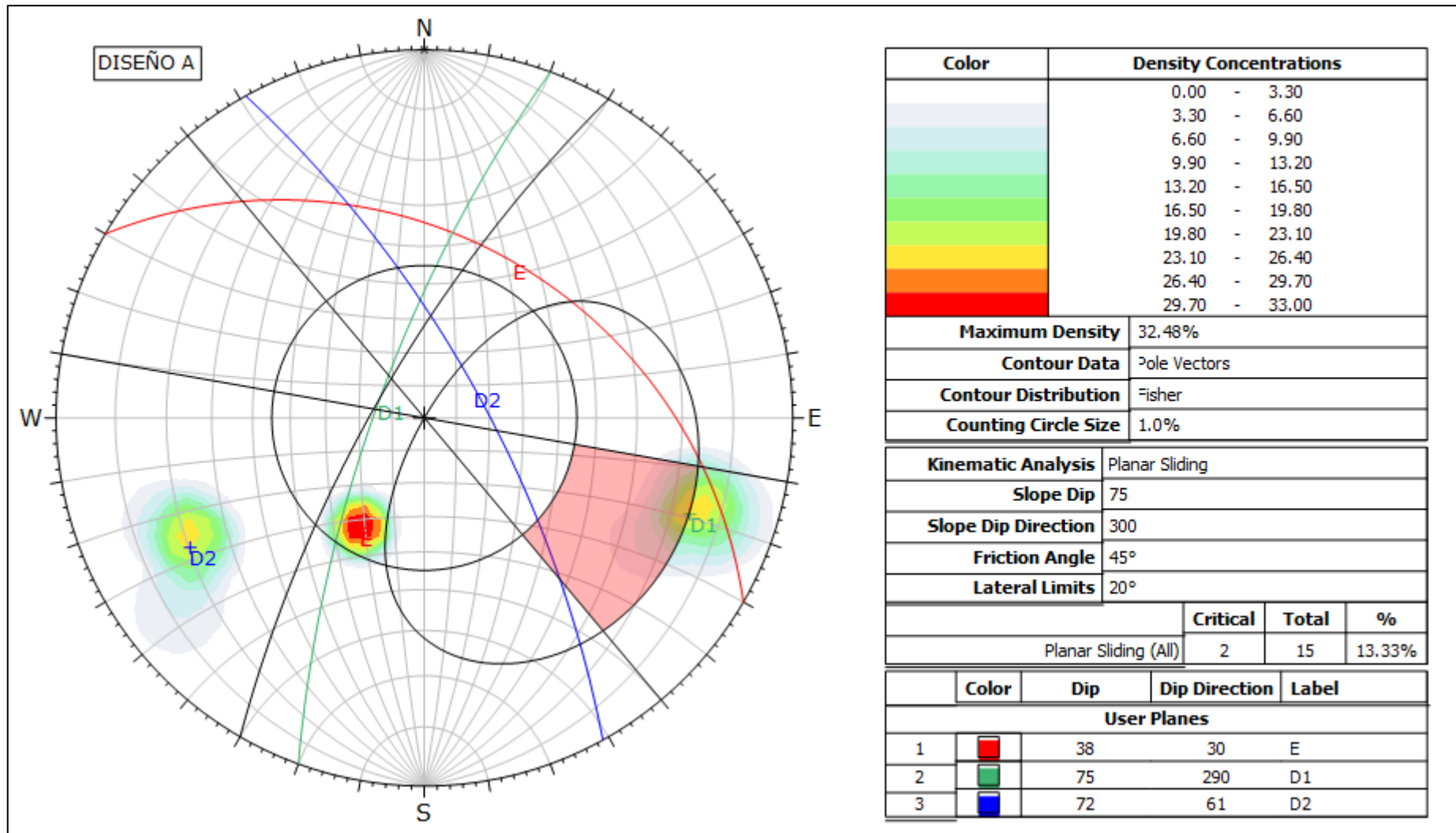
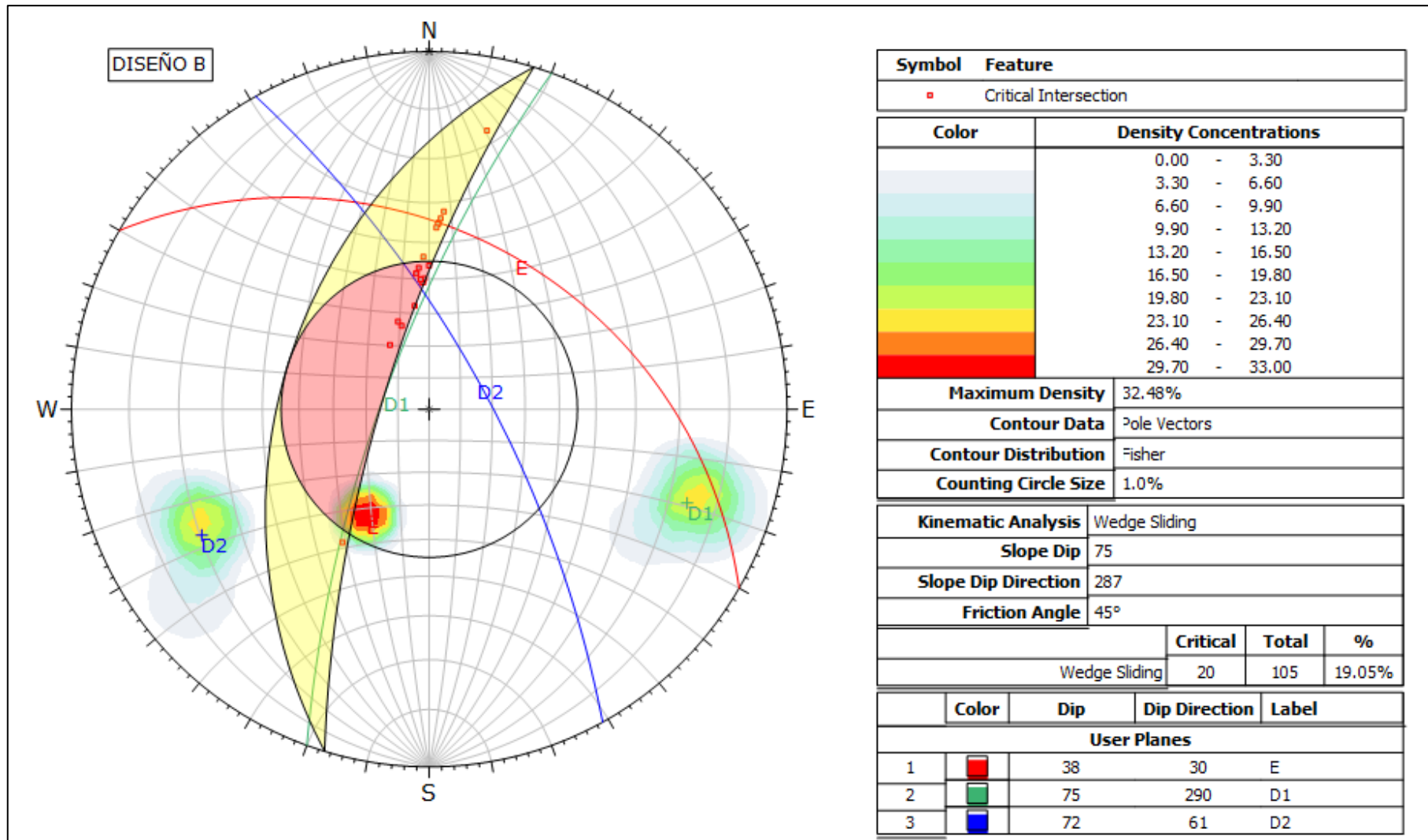


Figura 37. Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 6. Diseño A.

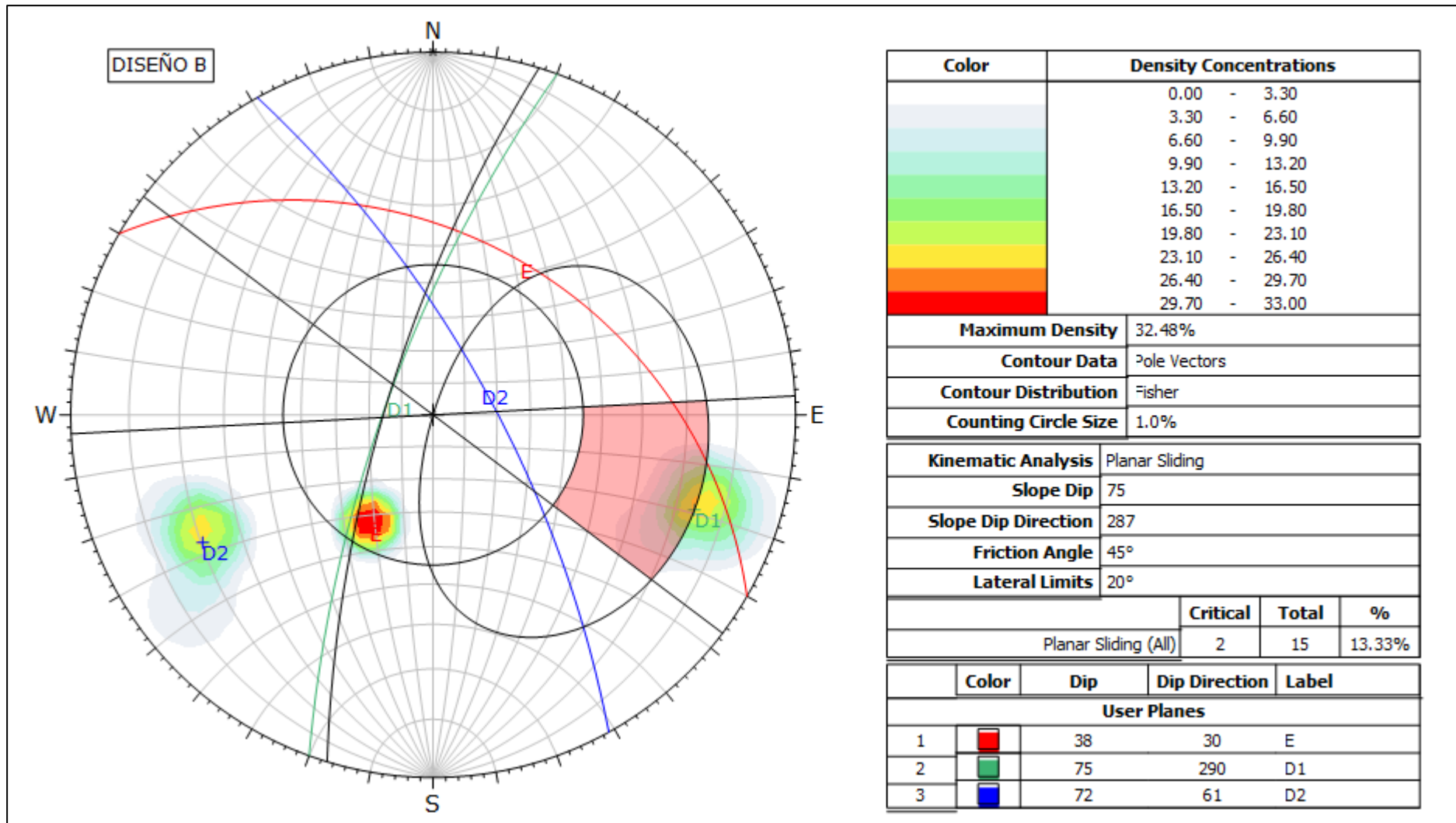


**Figura 38.** Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 6. Diseño A.



**Figura 39.** Proyección estereográfica de las discontinuidades, EG 6. Diseño B.





**Figura 40.** Proyección estereográfica de las discontinuidades respecto a rotura planar, EG 6. Diseño B.

#### 4.1.1.7 Resultados de Estaciones Geomecánicas

En el presente apartado se presentan los resultados de geomecánica de las 6 Estaciones estudiadas, los que permiten conocer el comportamiento geomecánico del área de investigación, mediante la determinación del RQD, RMR<sub>89</sub>, GSI, ángulo de fricción, cohesión y resistencia a la compresión uniaxial de la roca.

**Tabla 42.**  
Resultados de Estaciones Geomecánicas

EG	RQD	RMR	GSI	$\sigma_{ci}$ (MPa)	c' (MPa)	$\phi'$
EG1	76	67	70	90 MPa	1.305 Mpa	48.09
EG2	79	69	75	95 MPa	2.074 Mpa	49.32
EG3	74	68	70	80 MPa	1.173 Mpa	47.56
EG4	76	69	75	80 MPa	1.761 Mpa	48.70
EG5	68	60	65	70 MPa	0.718 Mpa	45.22
EG6	76	70	70	95 MPa	1.371 Mpa	48.32

#### 4.1.2 Diseños de los Métodos de Explotación

Tras procesar los datos de las 6 Estaciones y luego de conocer el comportamiento geomecánico del área de Investigación, se procedió a realizar el diseño del Método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc.

Dentro de los parámetros principales para el diseño, se consideró:

- El ángulo mínimo de fricción y el valor mínimo de cohesión obtenidos en el Software RocData de acuerdo a los resultados del Estudio Geomecánico .
- El análisis cinemático realizado mediante DIPS considerando 2 escenarios para el diseño.



Considerando que la caliza del Yacimiento Polloc se encuentra expuesta en superficie, el método de explotación idóneo corresponde a explotación de Tajo Abierto.

Asimismo de la evaluación geomecánica y la topografía del área de investigación se utilizará el método de explotación por bancos. En este caso la alternativa de explotación es mediante Bancos Escalonados Ascendentes, un método frecuentemente utilizado ya que facilita aperturar la cantera al requerir una distancia mínima a la vía de transporte y del mismo modo, el frente de trabajo siempre se encuentra activo.

Para un adecuado diseño del método de explotación, se evaluaron los siguientes parámetros:

### **Profundidad límite**

La profundidad límite del yacimiento de Calizas Pollos ha sido determinado en función a la diferencias de cotas superior e inferior, considerando:

$$H = C_s - C_i$$

Donde:

H : profundidad límite del Yacimiento de Calizas Polloc

C<sub>s</sub> : Cota superior

C<sub>i</sub> : Cota inferior

Tenemos:

$$H = 3135 - 3040 = 95m$$

### **Altura de Banco**

Para determinar adecuadamente la altura de banco del Yacimiento de Calizas

Polloc, se ha tenido en cuenta las especificaciones respecto a la maquinaria con la que cuenta el titular de la Cantera.

- Cargador Frontal 950 H - Caterpillar, con altura máxima de brazo de 5.5 m (brazo extendido)
- Volquete FM 2835, de 20 toneladas de capacidad

De acuerdo a la maquinaria se tiene:

$$h = 0.9 * (\text{altura máxima de brazo})$$

Donde:

$h$  : altura de banco

$$h = 0.9 * 5.5 = 4.95 \text{ m}$$

$$h = 4.95 \text{ m}$$

La altura de banco determinada es de 5m; sin embargo, considerando los resultados del análisis de las 6 Estaciones Geomecánicas resumidos en la tabla 42, que la caracterizan como Roca de Calidad Buena, así como los análisis en DIPS y RocData que determinan una roca resistente con bajo porcentaje crítico de rotura planar y en cuña se considerará una altura de banco de 7m, lo que nos daría las siguientes ventajas:

- Mayor rendimiento de la maquinaria al reducir el desplazamiento entre niveles.
- Mejorar los parámetros operativos al tener un número más reducido de bancos.

## Número de Bancos

El número de bancos se determina en función a la profundidad límite del Yacimiento y la altura de banco, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ Bancos} = \frac{H}{h}$$

Donde:

$H$  : profundidad límite del Yacimiento

$h$  : altura de banco

Tenemos:

$$N^{\circ} \text{ Bancos} = \frac{95}{7} = 13.5$$

## Anchura de Banco

La anchura de banco es diseñada para que el personal y la maquinaria a utilizar se desplace correctamente, en este caso se ha considerado el tránsito de los equipos con los que cuenta el titular. Asimismo se debe garantizar el movimiento de giro de los equipos.

- Cargador Frontal 950 H - Caterpillar, .8.24m x 2.75m x 3.59m
- Volquete FM 2835, 7.495 m \* 2,490m\*3.36m

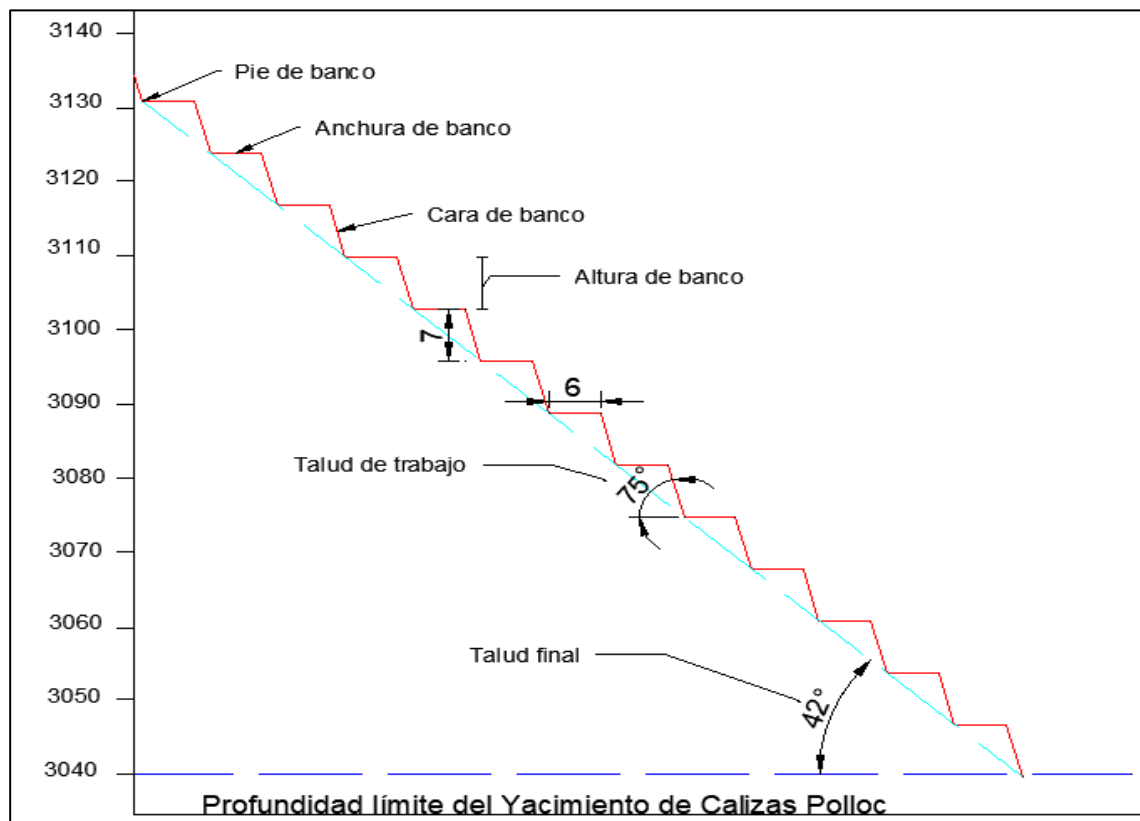
Por lo mencionado, se determinó una anchura de banco igual a 6m.

## Angulo de Banco

Considerando las condiciones geomecánicas del yacimiento de Calizas Polloc y los valores mínimos de Resistencia a la Compresión Uniaxial RCU=70 MPa; cohesión

$c' = 0.718$  MPa y ángulo de fricción  $\phi' = 45.22^\circ$ , se determinó un ángulo de banco de  $75^\circ$  con el fin de asegurar la estabilidad del diseño y garantizar la seguridad de las operaciones:

De acuerdo con la figura 41, los parámetros geométricos de diseño son:



**Figura 41.** Parámetros Geométricos de Diseño del Método de explotación del Yacimiento de Caliza Polloc.

#### **4.1.2.1 Diseño del Método de Explotación A.**

Para el Diseño A se han considerado los Parámetros Geométricos propuestos en la Figura 41.

Talud de trabajo:  $42^\circ$

Talud de banco:  $75^\circ$

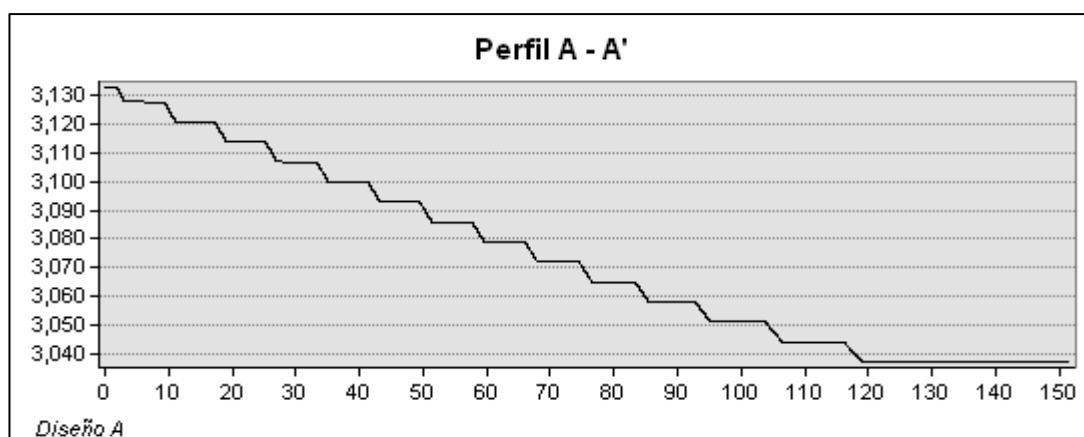
Altura del banco: 7 metros

Anchura de banco: 6 metros

El objetivo del diseño A es aprovechar la mayor cantidad de material a explotar dentro del área delimitada por el titular, considerando para ello el análisis cinemático de rotura planar y en cuña realizado en el Software DIPS. Al tener bajos porcentajes críticos de rotura y determinar un ángulo de talud que genera condiciones de estabilidad, en el Anexo VII se presenta la vista en planta del Diseño.

El Diseño A es una propuesta de extracción que busca obtener una alta producción a bajos costos considerando las cortas distancias hacia la vía de transporte. Así también al considerar las Condiciones Geomecánicas del Yacimiento, el método permite mejores condiciones de seguridad y se genera un menor impacto visual.

En la Figura 42 se presenta el Perfil A-A' de dirección E-W, el cuál será utilizado además para la cubicación de reservas.



**Figura 42.** Perfil A-A' - Diseño A del Método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc.

### **Cubicación de reservas :**

Se determinó el volumen de Reservas del Yacimiento de Calizas Polloc considerando el Perfil A - A'.

El volumen determinado es  $3202850.94 \text{ m}^3$  y teniendo un peso específico de la caliza igual a  $0.026 \text{ MN/ m}^3$ , se tiene una estimación de reservas igual  $8,327,412.4 \text{ tm}$  de acuerdo con la tabla 43.

**Tabla 43.** Cubicación de reservas, Diseño A

Diseño	Perfil	Volumen	Reservas
A	A-A'	3,202,850.94 m <sup>3</sup>	8,327,412.4 tm

#### **4.1.2.2 Diseño del Método de Explotación B.**

Para el diseño B se ha considerado la intención del Titular de la cantera de ampliar el área de extracción en dirección SE. Si bien se cuenta con un área determinada para el Diseño del Método de Explotación, el titular tiene planificado adquirir una mayor extensión de terreno principalmente en dirección SE respecto al área de explotación.

Los parámetros son considerados de acuerdo con la Figura 41:

Talud de trabajo: 42°

Talud de banco: 75°

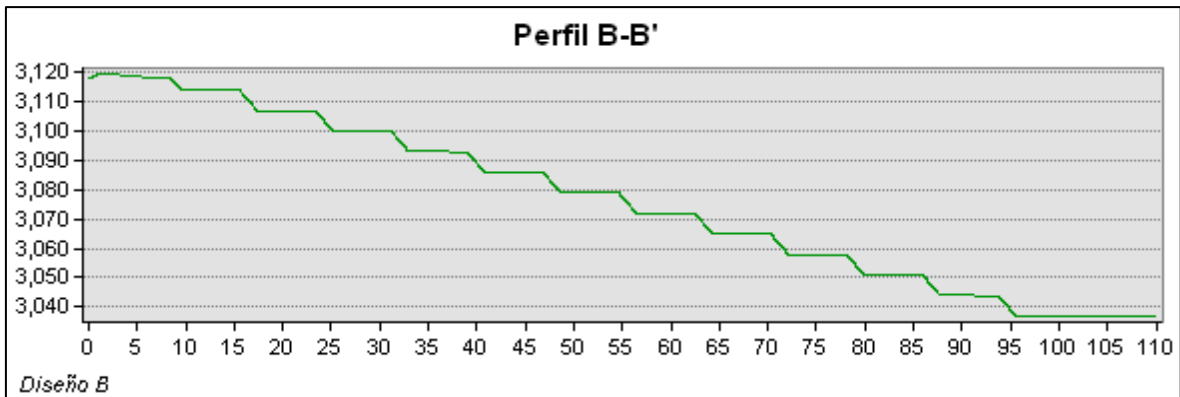
Altura del banco: 7 metros

Anchura de banco: 6 metros

La finalidad del Diseño B es ampliar a mediano plazo el área de explotación de la cantera, aumentando así las reservas; es por ello que el límite del diseño de acuerdo con la Geología Local es el grupo Quilquiñán Mujarrún.

Por otro lado el Diseño B permite obtener mejores condiciones de seguridad y al tener una plataforma de trabajo más amplia, se facilitará el carguío del material. (Ver Anexo VIII).

En la Figura 43 se presenta el Perfil B-B' de dirección S-W del Diseño B, el cuál será utilizado además para la cubicación de reservas.



**Figura 43.** Perfil B-B' - Diseño B del Método de Explotación del Yacimiento de Calizas Polloc

### Cubicación de reservas :

Para el Diseño B, se determinó el volumen de Reservas del Yacimiento de Calizas Polloc considerando el Perfil B - B'. El volumen determinado es 3,007,329.67 m<sup>3</sup> y teniendo un peso específico de la caliza igual a 0.026 MN/ m<sup>3</sup>, se tiene una estimación de reservas igual 7,819,057.14 tm de acuerdo con la tabla 43.

**Tabla 44.** Cubicación de reservas, Diseño B

Diseño	Perfil	Volumen	Reservas
B	B-B'	3,007,329.67 m <sup>3</sup>	7,819,057.14 tm

## 4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El análisis de las 6 Estaciones Geomecánicas determina que todo el material calcáreo presenta estructuras moderadamente fracturadas y levemente meteorizada, Calidad de Roca Buena con RQD entre 68 a 79, RMR<sub>89</sub> con valores que oscilan entre 60 y 70, GSI entre 65 a 75 y Resistencia a la Compresión Uniaxial RCU de 70 a 95; valores de cohesión de 0.718 MPa a 2.074 Mpa y ángulo de fricción de 45.22° a 49.32° y bajos porcentajes críticos de rotura planar y cuñas. Se determina que el Comportamiento Geomecánico del Yacimiento de Calizas Polloc brinda condiciones óptimas para el Diseño del Método de Explotación por Bancos Escalonados Ascendentes, por lo que se contrasta la hipótesis.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Se realizó el cartografiado geológico del yacimiento de calizas Polloc utilizando el Registro Geológico – Geotécnico de Rodríguez (2016) en 6 Estaciones.

Se determinó el comportamiento geomecánico del macizo rocoso del Yacimiento de Calizas Polloc mediante los parámetros RMR, RQD, RCU y GSI.

Se caracterizó Geomecánicamente el Yacimiento de Calizas Polloc determinándose que la roca es de calidad Buena.

Se Diseñó el Método de Explotación del Yacimiento de Caliza Polloc por Bancos Escalonados Ascendentes con parámetros de diseño: altura de banco de 7m, anchura de banco de 6m, ángulo de trabajo de 75° y ángulo de talud final de 42°.

#### **5.2 RECOMENDACIONES**

Al titular de la cantera se recomienda velar por el cumplimiento de los parámetros de diseño para asegurar la productividad, optimización de equipos y seguridad de los trabajadores.

Al personal técnico se recomienda considerar el análisis cinemático para evitar un posible deslizamiento del talud final.

Al Supervisor de Operaciones se recomienda evaluar la estabilidad de los Diseños propuestos considerando las condiciones detonantes de precipitación y sismicidad para la determinación de los Factores de Seguridad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barragán, J. 2007. Explotación a cielo abierto de materiales de construcción. Ecuador: Taller de capacitación para administradores y trabajadores de canteras.
- Carlotto, V; Peña, F. 2012. Geología e Hidrogeología regional (1:50000) de la zona del proyecto Conga y alrededores. Lima: Ingemmet.
- Contento Franco, JA; Pinto Cervantes, ID. 2014. Diseño del método de explotación del Yacimiento de caliza módulo Norte de la Mina La Esperanza, Municipio La Calera - Cundinamarca. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- DeMatteis, A. 2003. Geología y Geotecnia. Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- Ferrer Calderón, FJ. 2015. Planeamiento de minado de largo plazo para proyecto minero no metálico. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gavilanes, H; Andrade Haro, B. 2004. Introducción a la Ingeniería de Túneles. Quito: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador.
- González de Vallejo, L. 2004. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson.
- Gutiérrez Arroyo, KG. 2019. Análisis y evaluación entre los métodos de explotación convencional y plataformas aplicado en la cantera de caliza de la Empresa UNACEM SAA. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, M. 2010. Metodología de la Investigación. México : McGraw-Hill.


- Herrera Herbert, J. 2006. Métodos de minería a cielo abierto. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Herrera Herbert, J. 2007. Diseño de Explotaciones de Cantera. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Herrera Heredia, GT; Cuenca Manya, EJ. 2015. Diseño de explotación de las calizas existentes en el yacimiento "Isimanchi". Universidad Central del Ecuador.
- Hoek, E; Brown, E. 1997. Estimación de la resistencia de macizos rocosos en la práctica. Chile: Primer taller geotécnico interdivisional, División Chuquicamata de Codelco.
- Hoek, E; Carranza, C; Corkum, B. 2002. El criterio de rotura Hoek - Brown. University of Minnesota.
- Huamán Vera, J; Quispe Santa Cruz, BC. 2019. Método de extracción por bancos descendentes para optimizar la producción de agregados en la Cantera La Tuna Blanca, Santa Cruz - Cajamarca. Universidad César Vallejo.
- Inocencio Chipema, D. 2019. Evaluación de las características geomecánicas del macizo rocoso en el yacimiento de caliza "Mogote San Nicolás". Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- López Jimeno, C. 2003. Manual de áridos, prospección, explotación y aplicaciones. España: E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid-LOEMCO.
- Marinos, P; Marinos, V; Hoek, E. 2014. El índice de resistencia geológica GSI: una herramienta de caracterización para la evaluación de las propiedades ingenieriles de macizos rocosos. Canadá.
- Muachissaco, C. 2017. Evaluación de la estabilidad de los taludes en la cantera de calizas Urbano Noris. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

- Piérola Vera, D. 2017. Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión, Distrito de Baños del Inca - Cajamarca. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Ramírez Oyanguren, P; Alejano Monge, LR. 2004. Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes. España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la UPM.
- Reyes, L. 1980. Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Perú: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Rodríguez Cruzado, R. 2016. Registro Geológico Geotécnico.
- Ros Esteban, A. 2006. Manual de anclajes para minería y obra civil. Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Tinco Campos, LM. 2016. Evaluación geomecánica y química de las rocas calcáreas del Yacimiento de Llacchuas - Huanta - Ayacucho. Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Trigueros Tornero, E. 2005. Curso de Estudios e Informes Geotécnicos de Taludes. Cartagena: UPCT.
- Zuloaga, I. 2020. Zonificación geomecánica. España: Diccionario de geotecnia.


## **ANEXOS**

- ANEXO I.** REGISTRO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO
- ANEXO II.** PLANO N° 01. IMAGEN SATELITAL DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN
- ANEXO III.** PLANO N° 02. MDE Y UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
- ANEXO IV.** PLANO N° 03. GEOLOGÍA REGIONAL
- ANEXO V.** PLANO N° 04. GEOLOGÍA LOCAL
- ANEXO VI.** PLANO N° 05. GEOMECÁNICO
- ANEXO VII.** PLANO N° 06. DISEÑO “A” DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN
- ANEXO VIII.** PLANO N° 07. DISEÑO “B” DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

### Datos de campo - Estación Geomecánica 1.

BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie				REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO Instrumento de Recoleccion de Datos				PROYECTO: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO DE LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.															
POLLOC - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																							
CODIGO	EG-1			TRAMO:	1	DE	00 m			A	5.5 m												
RESPONSABLE	ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO			HOJA Nº:	1	DE	6																
SISTEMA	WGS - 84			FECHA	Enero, 2023																		
ORD.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.	
					1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul	E-Estratíf.	σ <sub>ci</sub>	ND: 26	DIRECCION.	1=>2	1=<1	1=Nada	1=Muy Rug	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real			
				2=Lev Met	2=Med	2=Bloq-Irregul	D-Diáclasa	L: 2.8		2=2-0.6		2=1-3	2=0.1	2=Rugosa	2=Oz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2=Humedo	2=Lect Apar				
				3=Mod	3=Bajo	3=Bloqy Capas	F-F. Inversa	λ= 9.3		3=0.6-0.2		3=3-10	3=0,1-1.0	3=Lig. Rug	3=Calcita	3=Duro>5mm.	3=M od. Alt	3=M ojado	3=Lec Proy				
				4=Alt Met		4=Fract-Intenso	Fd-F Direcc	Prom golpes		4=0.2-0.06		4=10-20	4=1.0-5.0	4=Ondulad-lisa	4=Oxidos	4=Suave<5mm.	4=M uy Alt	4=Goteo					
				5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	C-Contacto	5		5=<0.06		5=>20	5= >5	5=Suave	5=Roca Tritur	5=Suave>5mm.	5=Descomp	5=Flujo					
1	794580	9213181	3045	Calizas con espesores entre 30 a 60cm, compactas, moderadamente fracturadas, color gris, levemente meteorizadas. Fm. Yumagual (ks-yu).	2	2	65-70	E	85-90	76.2	Z / R	DIP	DD	2	2	3	3	3	3	2	2	1	
2																							
3																							
4																							
5																							
6									D1			58	20	148	2	2	3	3	3	3	2	2	1
7												67	24	157									
8												52	22	142									
9												59	18	149									
10												65	29	155									
11									D2			184	29	274		2		3	3	3	2	2	1
12												186	31	276									
13												183	30	273									
14												185	27	275									
15												183	28	273									
16									D3			61	67	151	3	1	3	2	3	3	2	2	1
17												59	69	149									
18												60	65	150									
19												63	67	153									
20												61	66	151									
21																							
22																							
23																							
<b>RMR = 67</b>																							
												Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino 2008				Rediseñado y adaptado, Rodríguez, R. - v1-2016							


## Datos de campo - Estación Geomecánica 2.

BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie				REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO Instrumento de Recoleccion de Datos				PROYECTO: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO DE LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.																											
				POLLOC - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																															
CODIGO		EG-2		TRAMO:		1 DE		00 m		A		6.0 m																							
RESPONSABLE		ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO		HOJA Nº:		2 DE				6																									
SISTEMA		WGS - 84		FECHA						Enero,2023																									
ORD.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO					PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																										
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACION		GRADO FRACT.		GSI		TIPOS		RESIST. COMP. UNIAIX		R Q D Tramo		ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)		PERSIST (m)		ABERTUR A (mm)		RUGOS.		RELLENO		ALTERAC - METEOR		AGUA		CALIDAD DE INFORM.	
					1=Fresco	1=Alto	1=Bloq-Regul	Fn=F. Norm	D=Diaclase	σ <sub>Ci</sub>	ND:	12	DIRECCION.			1=>2	1=<1	1=Nada	1=Muy Rug	1=Arcilloso	1=Ninguna	1=Inalterada	1=Seco	1=Lec. Real											
	2=Lev Met	2=Med	2=Bloq-Irregul	Fi=F. Inversa	Fd=F. Direcc	Prom golpes	L:	14	λ=	8.6	Z / R	DIP	DD	2=2-0.6	2=1-3	2=0.1	2=Rugosa	2=Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Liq. Alt	2=Humedo	2=Lect Apar													
3=Mod	3=Bajo	3=Bloq-Capas	Fd=F. Direcc	mi=Microfalla	SE=Sobrees.	γ <sub>p</sub> =	78.81	5	78.81				3=0.6-0.2	3=3-10	3=0.1-1.0	3=Lig. Rug	3=Calgita	3=Duro>5mm.	3=Mod. Alt	3=Mojado	3=Lec Proy														
1	794579	9213092	3065	Calizas con espesores entre 20 a 50cm, compactas, moderadamente fracturadas, color gris, levemente meteorizadas. Fm. Yumagual (ks-yu).	2	2	75-80	E	90-95	78.8	130	39	220	2	2	3	3	3	2	2	2	2	1												
2											129	36	219																						
3											131	40	221																						
4											130	38	220																						
5											131	38	221																						
6								D1			188	75	278	2	2	3	3	3	2	2	2	2	1												
7											193	76	283																						
8											179	75	269																						
9											197	73	287																						
10											192	75	282																						
11								D2			327	66	57	2	2	3	3	3	1	2	2	2	1												
12											324	69	54																						
13											336	65	66																						
14											319	64	49																						
15											322	67	52																						
17																																			
18																																			
																<b>RMR = 69</b>																			

Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino 2008

Rediseñado y adaptado, Rodríguez, R. - v1-2016


### Datos de campo - Estación Geomecánica 3.

BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie			REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO Instrumento de Recoleccion de Datos			PROYECTO: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO DE LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.			POLLOC - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																																																					
CODIGO	EG-3		TRAMO:	1	DE	00 m	A	5.0 m																																																						
RESPONSABLE	ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO		HOJA Nº:	3	DE	6																																																								
SISTEMA	WGS - 84		FECHA	Enero, 2023																																																										
ORD.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																																																						
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	R Q D Tramo		ORIENTACIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM																																									
										ND:	18						DIRECCION.	TIPO				DUREZA																																								
1= Fresco		1= Alto		1= Bloq-Regul		E= Estratíf.		σ <sub>ci</sub>	L:	λ=	γ <sub>p</sub> =	DIRECCION.			1= > 2					1= < 1					1= Nada					1= M uy Rug					1= Arcilloso					1= Ninguna					1= Inalterada					1= Seco					1= Lec. Real							
2= Lev Met		2= Med		2= Bloq-Irregul		Da= Diaclasa						Prom golpes	Z / R	DIP	DD	2= 2-0.6					2= 1-3					2= < 0.1					2= Rugosa					2= Oz / Silic					2= Duro<5mm					2= Lig. Alt					2= Humedo											
3= Mod		3= Bajo		3= Bloq y Capas		Fi= F. Inversa										4	γ <sub>p</sub> =	73.58	3= 0.6-0.2					3= 3-10					3= 0.1-1.0					3= Lig. Rug					3= Calcita					3= Duro>5mm					3= M od. Alt					3= M ojado								
4= Alt Met		4= Intenso		4= Fract-Intenso		mi= Microfalla													SE= Sobrees.	C= Contacto	4	73.58	4= 0.2-0.06					4= 10-20					4= 1.0-5.0					4= Ondulad-lisa					4= Oxidos					4= Suave<5mm.					4= M uy Alt					4= Goteo				
5= Compl		5= Agreg M B, B, M, P, MP		5= Agreg M B, B, M, P, MP		SE= Sobrees.																	C= Contacto	4	73.58	73.58	5= < 0.06					5= > 20					5= > 5					5= Suave					5= Roca Tritur					5= Suave>5mm.					5= Descomp					5= Flujo
								C= Contacto	4	73.58	73.58																6= Bx					7= Panizo					8= Veta																									
1	794505	9213169	3054	Calizas con espesores entre 10 a 50cm, compactas, moderadamente fracturadas, color gris, levemente meteorizadas. Fm. Yumagual (ks-yu).	2	2	65-70					E	80-85	73.6													129	38	219	2	2	2	2	3	2	2	2	1																								
2																127	39	217																																												
3																128	37	218																																												
4																131	38	221																																												
5												129	36	219																																																
6								D1				356	69	86	2	2	2	2	3	2	2	2	1																																							
7												347	62	77																																																
8												350	66	80																																																
9												358	71	88																																																
10												348	73	78																																																
11								D2				54	53	144	2	2	2	2	3	3	2	2	1																																							
12												49	57	139																																																
13												63	48	153																																																
14												56	61	146																																																
15												45	52	135																																																
16								D3				65	20	155	3	2	2	2	3	2	2	2	1																																							
17												72	14	162																																																
18												59	22	149																																																
19												63	18	153																																																
20												60	23	150																																																
21																																																														
22																																																														
23																								RMR = 68																																						

Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino 2008

Rediseñado y adaptado, Rodriguez, R. - v1-2016

### Datos de campo - Estación Geomecánica 4.


BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie		REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO Instrumento de Recoleccion de Datos		PROYECTO: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO DE LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.		POLLOC - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																		
CODIGO	EG-4	TRAMO:	1	DE	00 m	A	4.5 m																	
RESPONSABLE	ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO	HOJA Nº:	4	DE	6																			
SISTEMA	WGS - 84	FECHA	Enero, 2023																					
ORD.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSÍ	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAIX	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.		
					1=Fresco	1=Alto	1=Blq-Regul	E=Estratíf. D=Diaclasa	σ <sub>ci</sub>	ND: 5	DIRECCION.	1=> 2	1=< 1	1=Nada	1=Muy Rug	1= Arcilloso	1= Ninguna	1=Inalterada	1= Seco	1=Lec. Real				
				2=Lev Met	2=Med	2=Blq-Irregul	F=F. Inversa	L: 16		2=2-0.6		2=1-3	2=< 0.1	2=Rugosa	2= Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2= Humedo	2=Lect Apar					
				3=Mod	3=Bajo	3=Blq-Capas	Fd=F. Direcc	λ= 9.4		3=0.6-0.2		3=3-10	3=0,1-10	3=Lig. Rug	3= Calcita	3=Duro>5mm	3=M od. Alt	3= M ojado	3=Lec Proy					
				4=Alt Met		4=Fract-Intenso	mf=Microfalla	Prom golpes		4=0.2-0.06		4=10-20	4 =1,0-5,0	4=Ondulad-lisa	4= Oxidos	4=Suave<5mm	4=M uy Alt	4= Goteo						
				5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	SE=Sobrees. C=Contacto	4		5=< 0,06		5=>20	5= > 5	5=Suave	5= Roca Tritur	5=Suave>5mm	5=Descomp	5= Flujo						
								γ <sub>p</sub> =		Z / R	DIP	DD	6=Bx											
1	794423	9213033	3015	Calizas con espesores entre 30 a 50cm, compactas, moderadamente fracturadas, color gris, levemente meteorizadas. Fm. Yumagual (ks-yu).	2	2	70-75	E	80-85	76	250	35	340	2	2	3	2	4	3	2	2	1		
2												249	37	339										
3												252	34	342										
4												251	36	341										
5												248	35	338										
6								D1				285	65	15	2	2	3	2	4	3	2	2	1	
7												281	69	11										
8												286	62	16										
9												289	68	19										
10												284	60	14										
11								D2				276	32	6	2	2	3	2	4	2	2	2	1	
12												279	39	9										
13												281	31	7										
14												278	30	8										
15												280	36	10										
16																								
17																								
18																							RMR = 69	

Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino 2008


Rediseñado y adaptado, Rodríguez R. - v1-2016



### Datos de campo - Estación Geomecánica 5.

BIENIAWSKI RMR (1989) <i>Superficie</i>				REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO Instrumento de Recoleccion de Datos				PROYECTO: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO DE LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.															
				POLLOC - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																			
CODIGO	EG-5		TRAMO:	1	DE	00 m		A	5.0 m														
RESPONSABLE	ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO			HOJA Nº:	5	DE	6																
SISTEMA	WGS - 84			FECHA	Enero, 2023																		
ORD.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COMP. UNIAX	R QD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.	
											DIRECCION.	Z / R	DIP					DD	TIPO				DUREZA
1	794316	9213104	3107	Calizas con espesores entre 10 a 30cm, compactas, moderadamente fracturadas, color gris, levemente meteorizadas. Fm. Yumagual (ks-yu)	2	2	60-65	E	70-75	68	156	43	246	3	2	3	3	1	2	2	2	1	
2												157	42	247									
3												154	44	244									
4												158	41	248									
5												155	44	245									
6								D1				305	54	35	3	2	3	3	1	2	2	2	1
7												298	46	28									
8												311	62	41									
9												300	53	30									
10												306	49	36									
11								D2				185	78	275	3	2	2	3	1	2	2	2	1
12												196	74	286									
13												187	81	277									
14												198	65	288									
15												176	69	266									
16																							
17																							
18																							
<b>RMR = 60</b>																							
												Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino 2008				Rediseñado y adaptado, Rodriguez, R. - v1-2016							

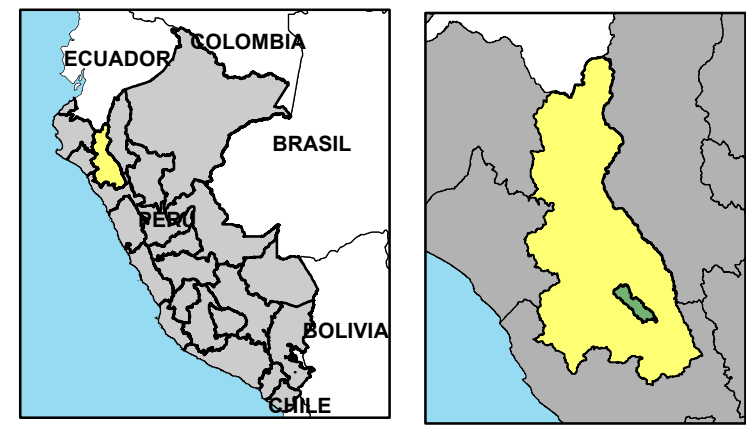
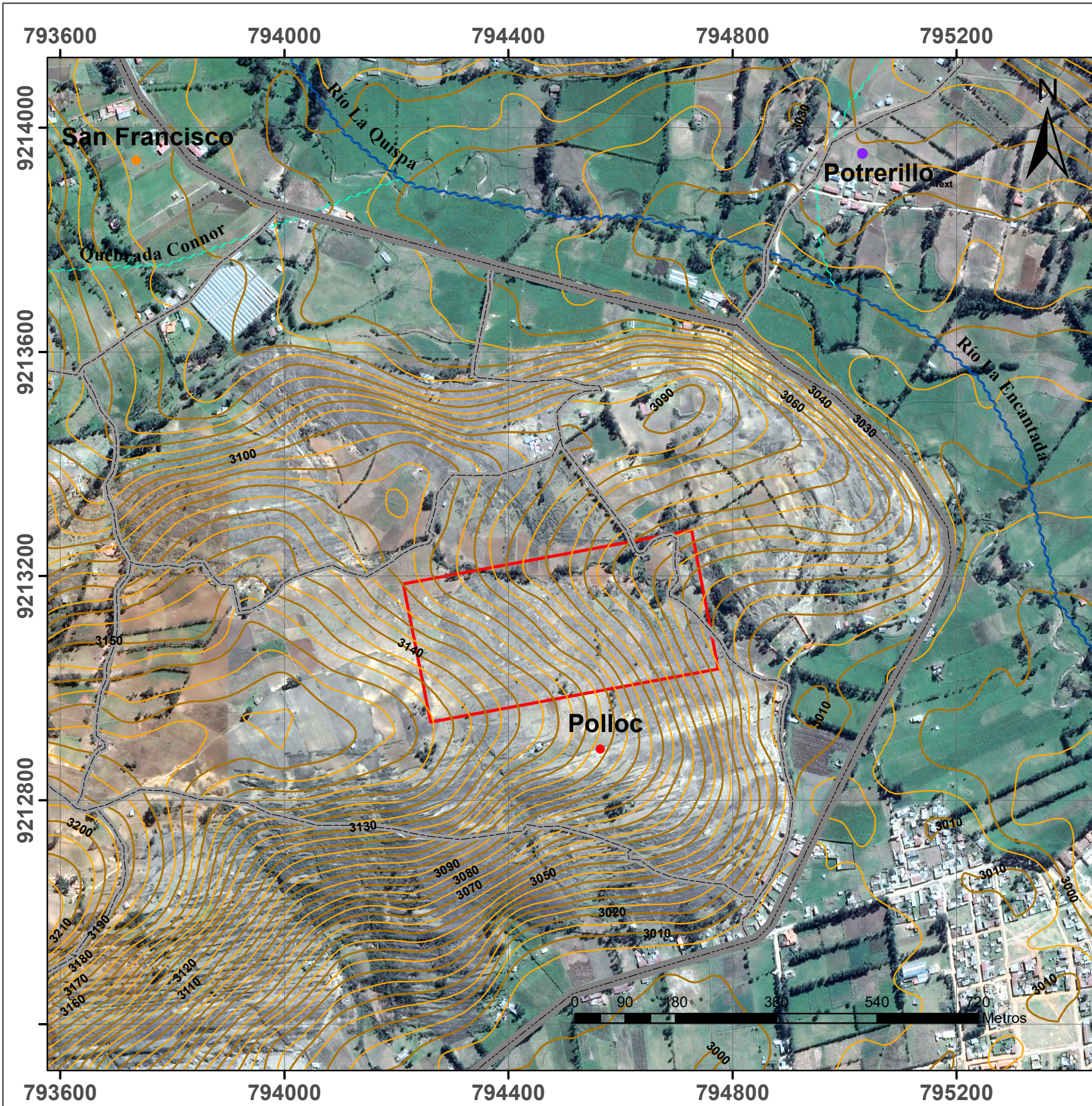
## Datos de campo - Estación Geomecánica 6.

BIENIAWSKI RMR (1989) Superficie				REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO Instrumento de Recoleccion de Datos				PROYECTO: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO DE LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.															
				POLLOC - LA ENCAÑADA - CAJAMARCA - PERÚ																			
CODIGO	EG-6			TRAMO:	1	DE	00 m	A	4.0 m														
RESPONSABLE	ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO			HOJA Nº:	6	DE	6																
SISTEMA	WGS - 84			FECHA	Enero, 2023																		
ORD.	DATA GPS			MACIZO ROCOSO				PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS															
	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS	RESIST. COM P. UNIAX	RQD Tramo	ORIENTACIÓN	ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTUR A (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.			
					1=Fresco	1=Alto	1=Blq-Regul	EsEstratíf.	$\sigma_{ci}$	ND: 12	DIRECCION:	1=> 2	1=< 1	1=Nada	1=Muy Rug	1= Arcilloso	1= Ninguna	1=Inalterada	1= Seco	1=Lec. Real			
					2=Lev Met	2=Med	2=Blq-Irregul	D=Diaclasa	L: 14	L: 14		2=2-0.6	2=1-3	2=0.1	2=Ruosa	2= Oz / Silic	2=Duro<5mm	2=Liq. Alt	2= Humedo	2=Lect Apar			
					3=Mod	3=Bajo	3=Blq-Capas	Fi=F. Norma	$\lambda=$ 8.57	$\lambda=$ 8.57		3=0.6-0.2	3=3-10	3=0.1-1.0	3=Lig. Rug	3= Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod. Alt	3= Mojado	3=Lec Proy			
					4=Alt Met		4=Fract-Intenso	Fd=F. Direcc	Prom golpes	$\gamma_p=$ 78.81		4=0.2-0.06	4=10-20	4=1.0-5.0	4=Ondulad-lisa	4= Oxidos	4=Suave<5mm	4=Muy Alt	4= Goteo				
					5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	SE=Sobrees.	5		Z / R	5=<0.06	5=>20	5= > 5	5=Suave	5=Roca Tritur	5=Suave<5mm	5=Descomp	5= Flujo				
								C=Contacto			DIP					6=Bx							
											DD				7=Panizo								
															8=Veta								
1	794246	9213042	3127	Calizas con espesores entre 10 a 40cm, compactas, moderadamente fracturadas, color gris, moderadamente meteorizadas. Fm. Yumagual (ks-yu).	3	3	70-75	E	90-95	78.8	300	38	30										
2												301	35	31									
3												303	37	31									
4												302	39	32									
5												299	39	28									
6								D1				202	78	292	2	2	2	2	4	3	2	2	1
7												198	81	288									
8												209	69	299									
9												196	72	286									
10												195	76	285									
11								D2				332	71	62	2	1	2	2	4	3	2	2	1
12												329	69	59									
13												338	74	68									
14												322	80	52									
15												335	68	65									
16																							
17																							
18																							
																			<b>RMR = 70</b>				

Diseño Original : M.Sc. Victor Tolentino 2008

Rediseñado y adaptado, Rodríguez R. - v1-2016





**SIMBOLOGÍA**

- Vía Principal
- Vía Secundaria
- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Quebrada Connor
- Río La Encantada
- Río La Quispa
- Área de investigación

**CC.PP**

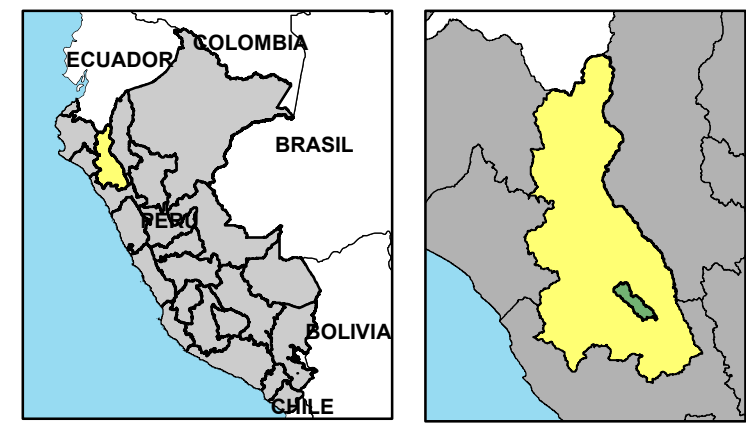
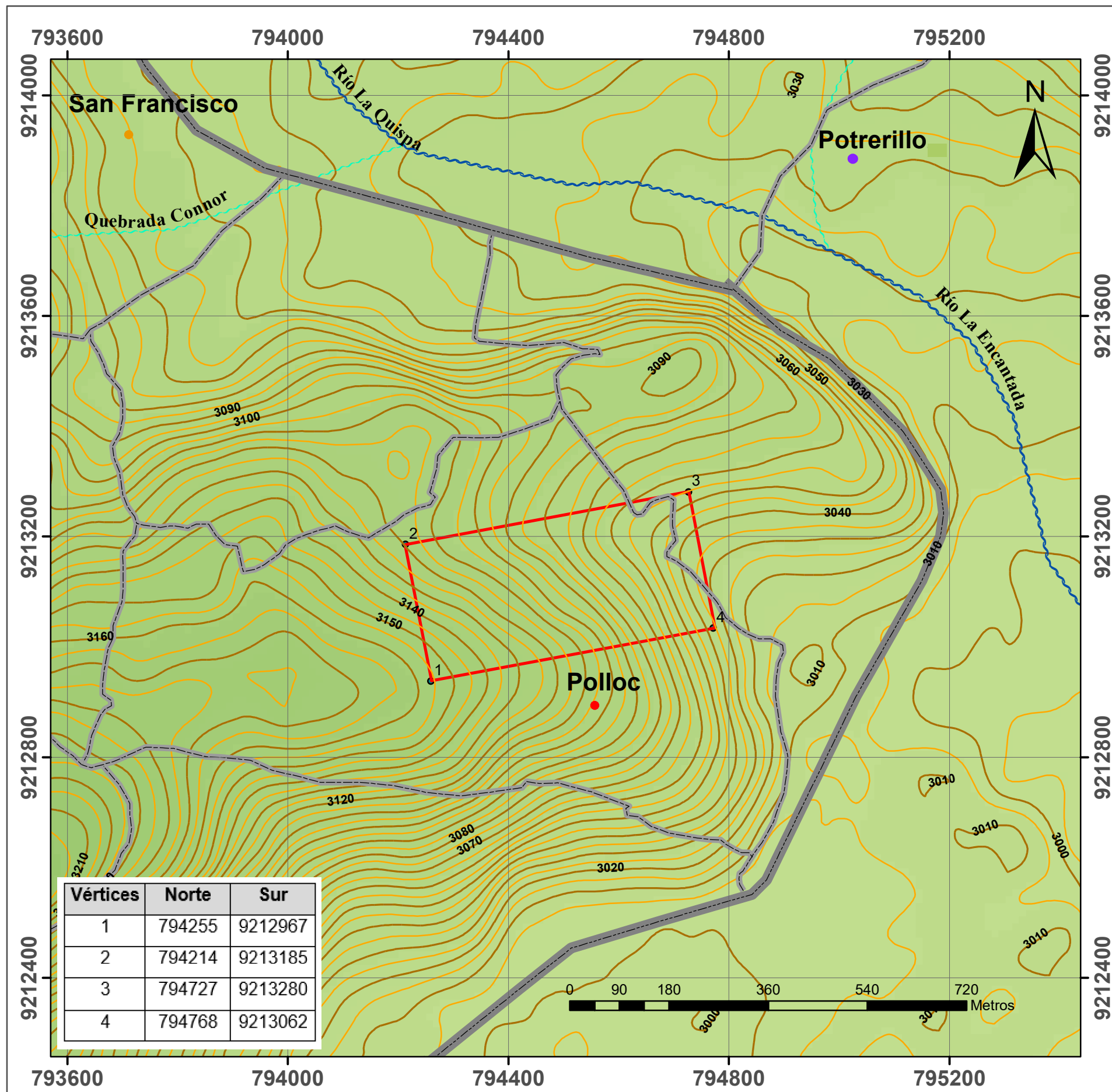
- Polloc
- Potrerillo
- San Francisco

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS  
 TESIS: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.

PLANO: IMÁGEN SATELITAL DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	PLANO:
TESISTA: ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO	FECHA: 2023
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	FORMATO: A3
DATUM: WGS 84	PROYECCIÓN: UTM Zona 17S

01





**SIMBOLOGÍA**

- Vía Principal
- Vía Secundaria
- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Quebrada Connor
- Río La Encantada
- Río La Quispa
- Área de investigación

**CC.PP**

- Polloc
- Potrerillo
- San Francisco

Vértices	Norte	Sur
1	794255	9212967
2	794214	9213185
3	794727	9213280
4	794768	9213062

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

TESIS: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.

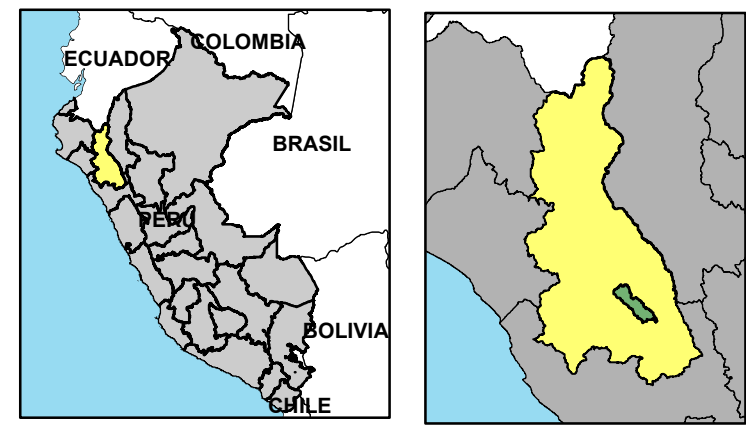
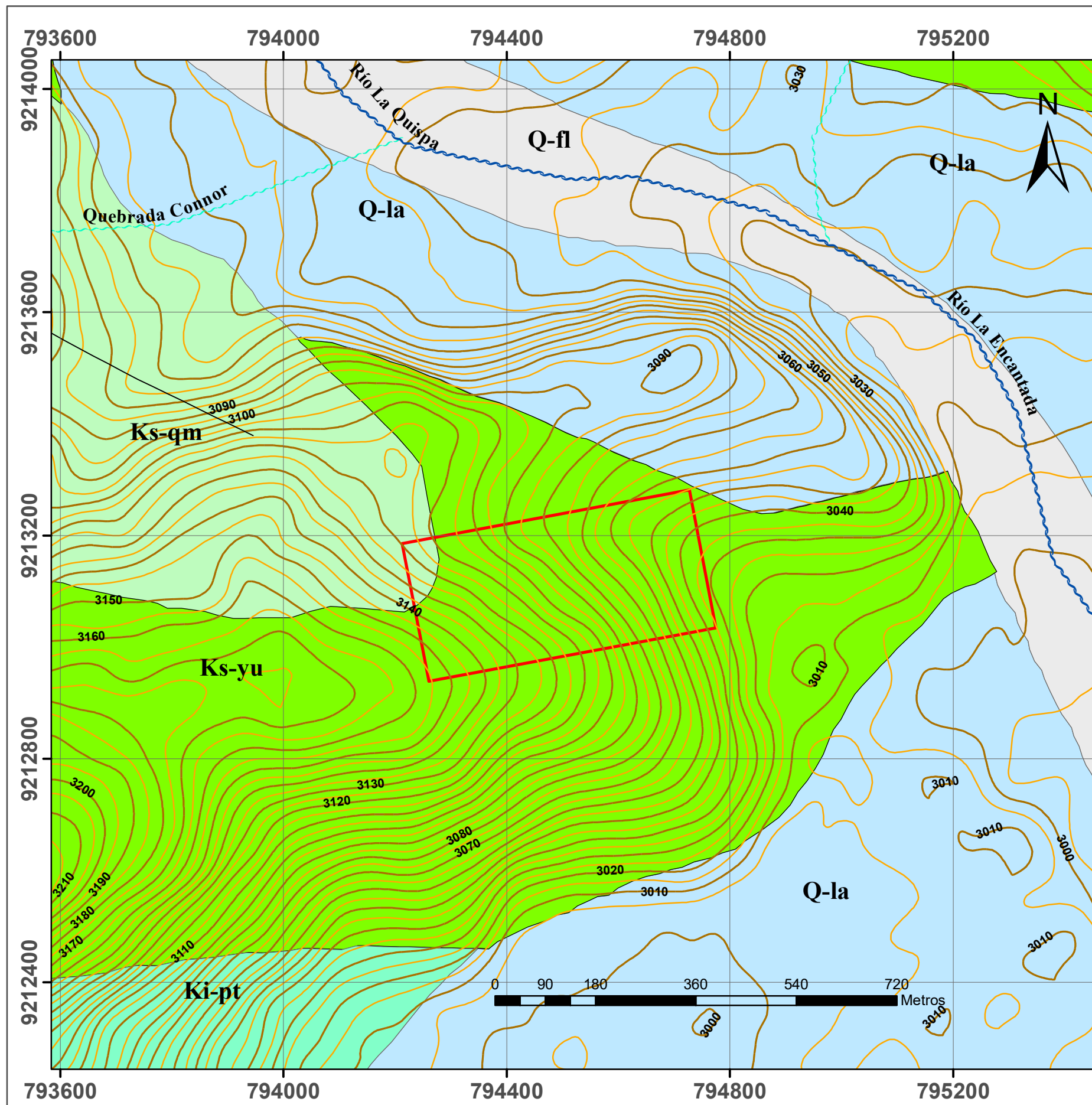
PLANO: MDE Y UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN PLANO:

TESISTA: ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO FECHA: 2023

ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO FORMATO: A3

DATUM: WGS 84 PROYECCIÓN: UTM Zona 17S

**02**



**LEYENDA**

Formaciones Geológicas

- Ki - pt
- Ks - yu
- Ks - qm
- Q - fl
- Q - la

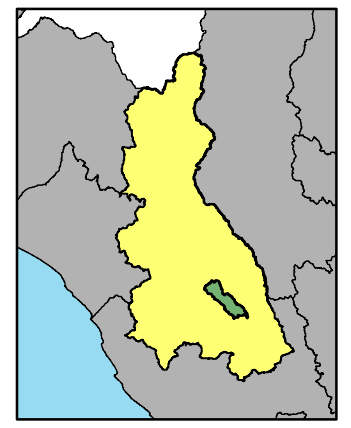
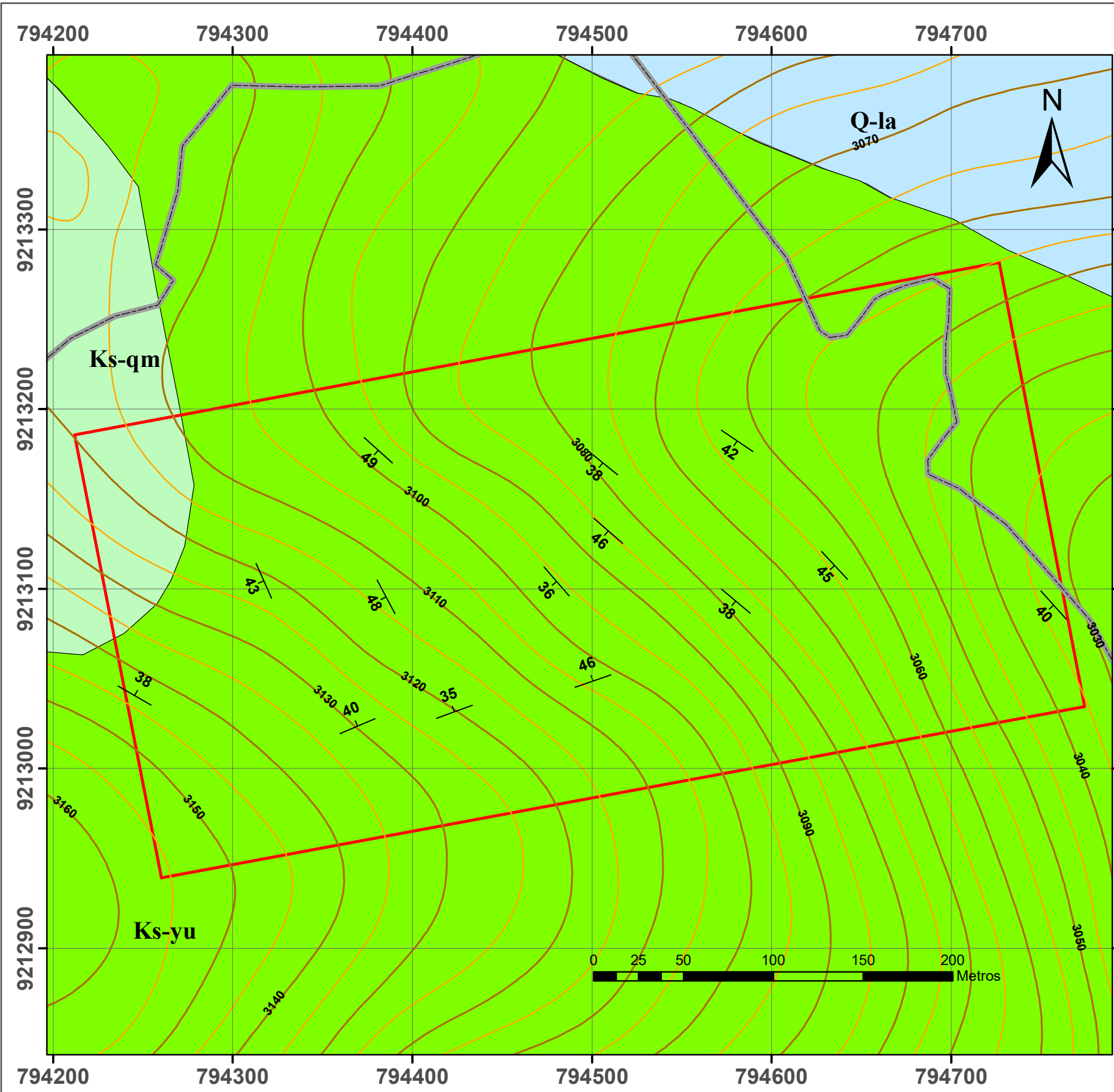
**SIMBOLOGÍA**

- + Eje de sinclinal
- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Quebrada Connor
- Río La Encantada
- Río La Quispa
- Área de investigación

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.	
PLANO: GEOLOGÍA REGIONAL	PLANO:
TESISTA: ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO	FECHA: 2023
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	FORMATO: A3
DATUM: WGS 84	PROYECCIÓN: UTM Zona 17S

03





**LEYENDA**

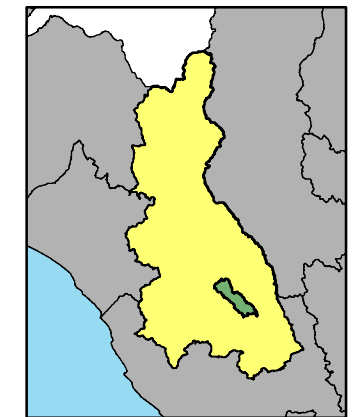
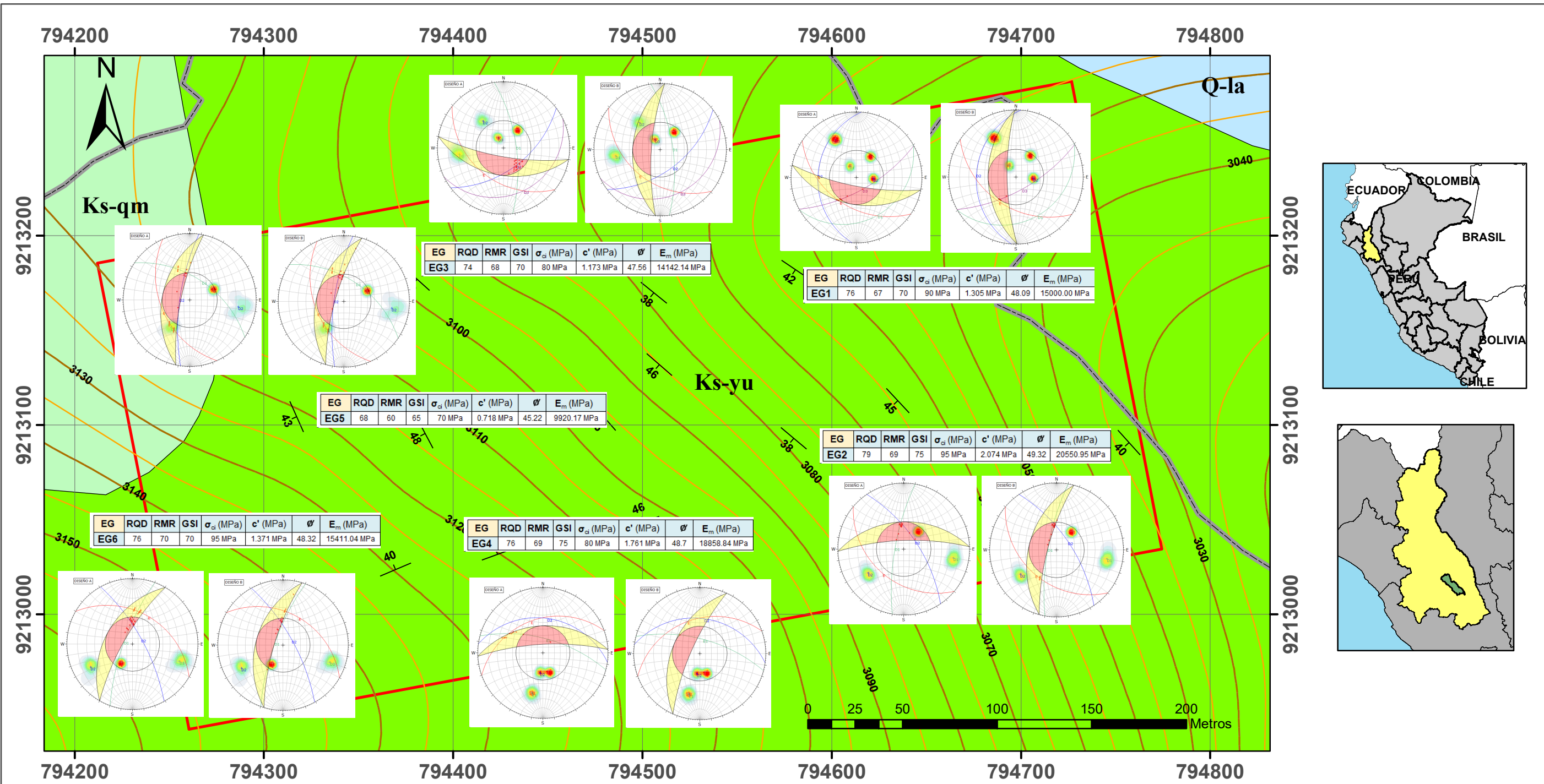
Formaciones Geológicas

- Ks - yu
- Ks - qm
- Q - la

**SIMBOLOGÍA**

- Rb/Bz
- Curvas Mayores
- Curvas Menores
- Área de investigación

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.	
PLANO: GEOLOGÍA LOCAL	
TESISTA: ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO	FECHA: 2023
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	FORMATO: A3
DATUM: WGS 84	PROYECCIÓN: UTM Zona 17S
PLANO: <b>04</b>	




**LEYENDA**

Formaciones Geológicas

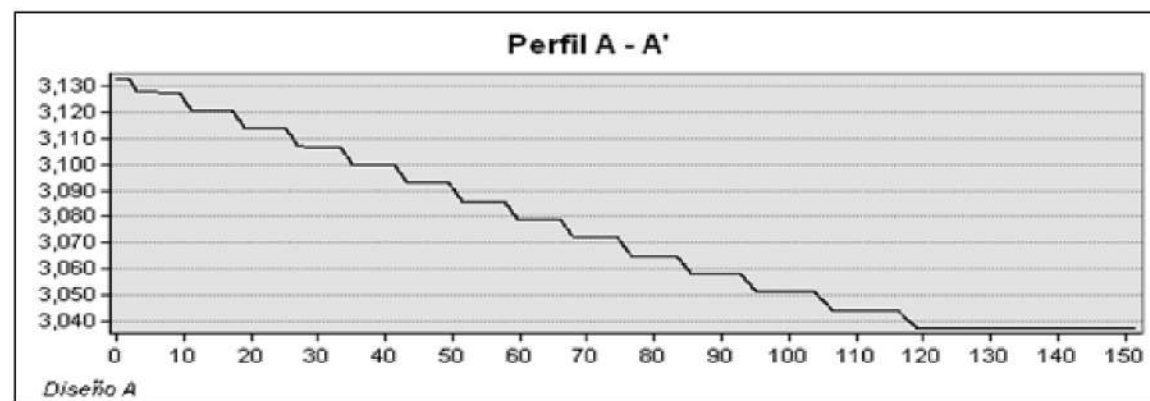
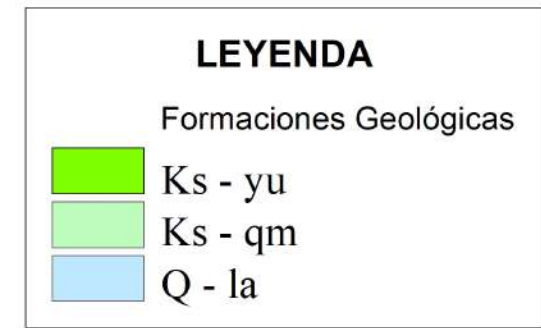
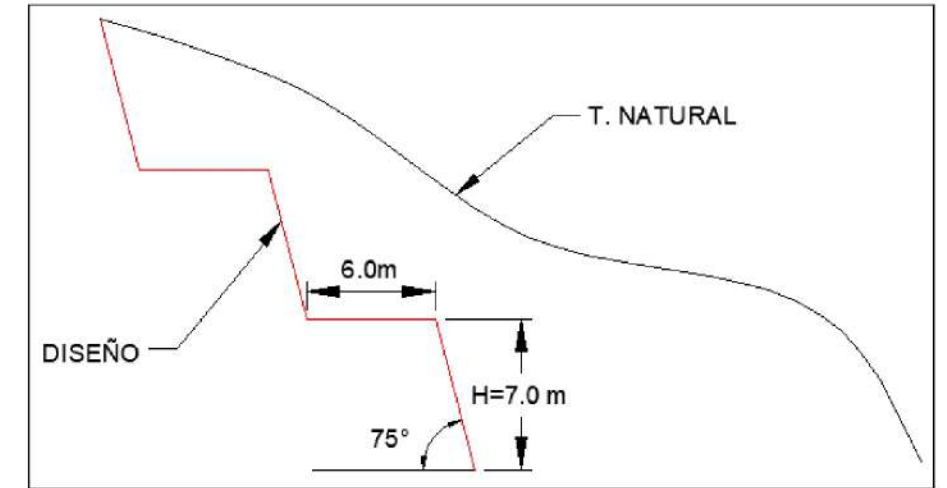
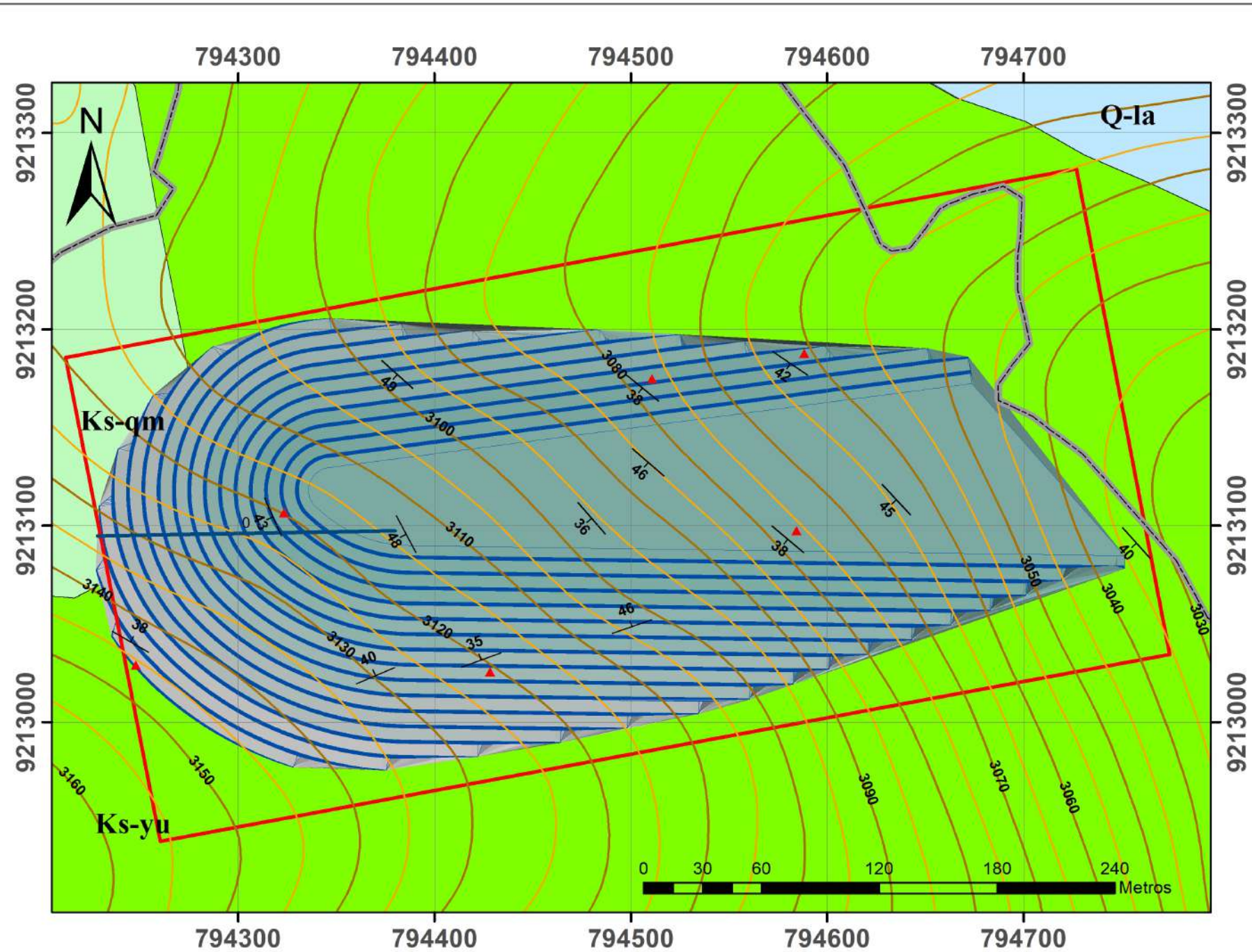
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black;"></span> Ks - yu
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black;"></span> Ks - qm
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black;"></span> Q - la

**SIMBOLOGÍA**

	Rb/Bz
	Curvas Mayores
	Curvas Menores
	Área de investigación

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS		
TESIS: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.		
<b>PLANO: GEOMECÁNICO</b>		PLANO:
TESISTA: ELIANA IVETTE CASTREJÓN CARUANAMBO	FECHA: 2023	<b>05</b>
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	FORMATO: A3	
DATUM: WGS 84	PROYECCIÓN: UTM Zona 17S	

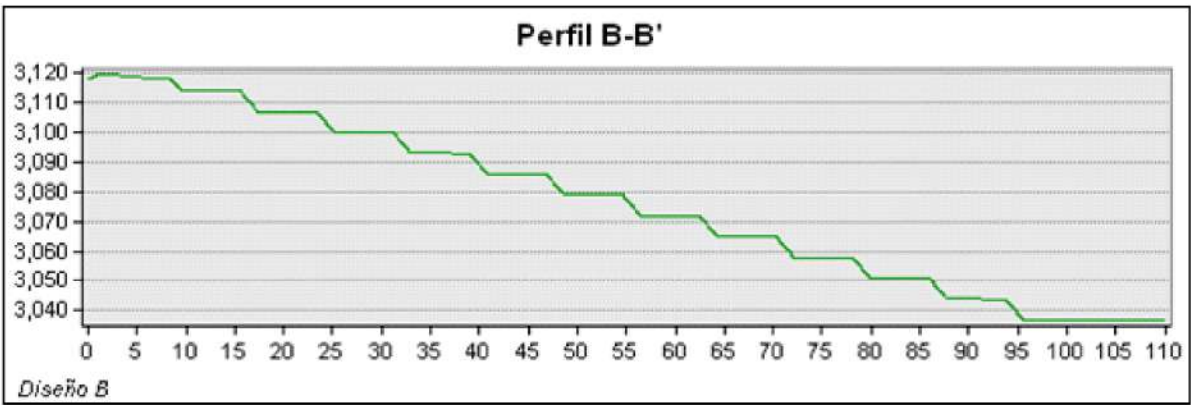
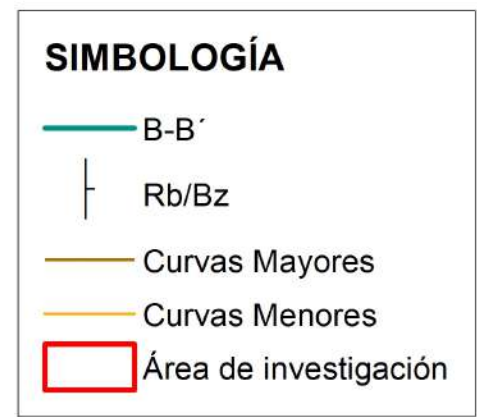
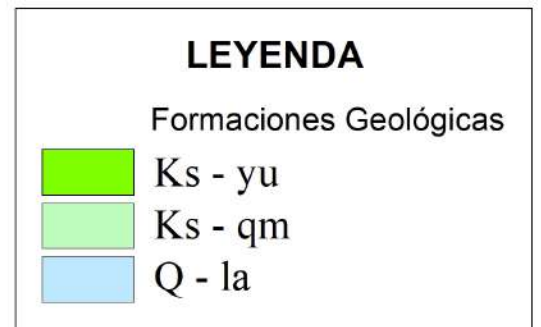
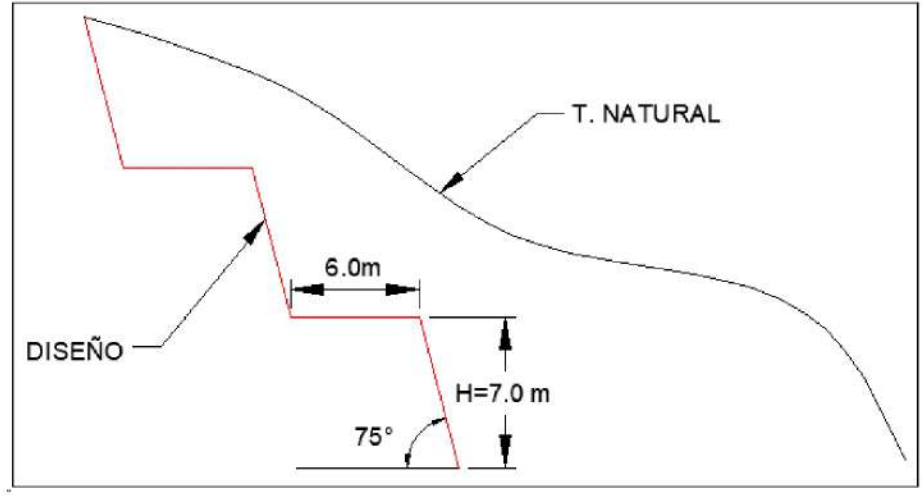
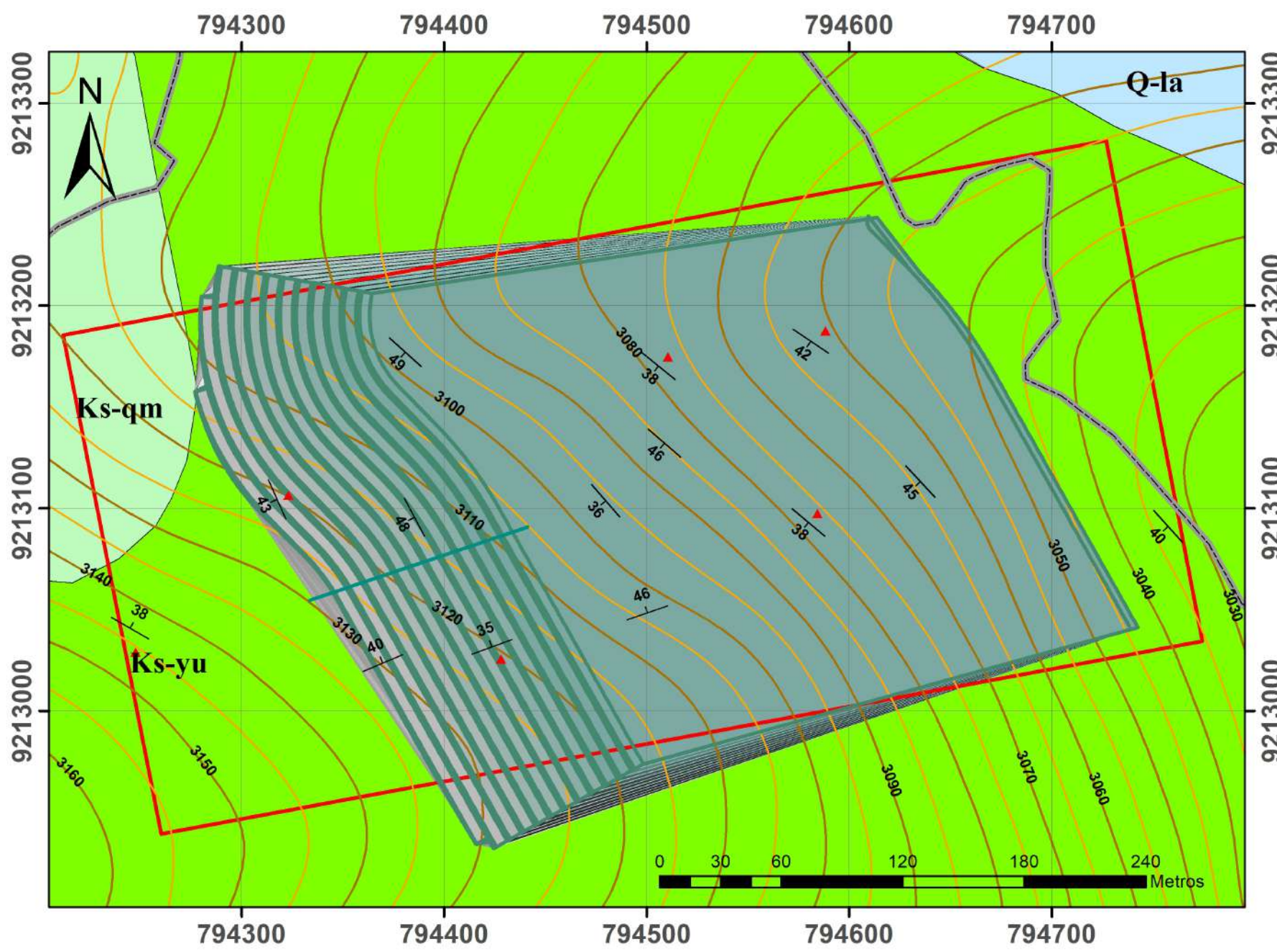




<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS	
TESIS: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.	
PLANO: DISEÑO "A" DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	PLANO:
TESIS: ELIANA IVEITE CASTREJÓN CARUANAMBO	FECHA: 2023
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	FORMATO: A3
DATUM: WGS 84	PROYECCIÓN: UTM Zona 17S

06





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

TESIS: DISEÑO DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE CALIZAS POLLOC, DISTRITO LA ENCAÑADA, PROVINCIA CAJAMARCA.

PLANO: DISEÑO "B" DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

TESISTA: ELIANA IVEITE CASTREJÓN CARUANAMBO	FECHA: 2023
ASESOR: DR. REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO	FORMATO: A3
DATUM: WGS 84	PROYECCIÓN: UTM Zona 17S

PLANO:  
**07**