

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



TESIS

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA DETERMINAR LA INESTABILIDAD
DE LOS TALUDES EN ROCA EN LA CARRETERA DEL TRAMO
CHILETE – PUENTE MUYUNA**

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:

Bach. Emanuel Novoa Sánchez

Asesor

Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado

Cajamarca, Mayo del 2019

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, en especial mis formadores académicos, personas de gran sabiduría que se han esforzado en transmitirnos los más diversos conocimientos en el campo de la Geología.

Mi más grato agradecimiento a mi Asesor, Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos, así como también haberme tenido la suficiente paciencia para guiarme en la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

A mis padres Jesús y Rosa por instruirme a luchar en esta vida llena de adversidades, ayudarme a conquistar las metas que me he propuesto hasta agotar los últimos recursos que sean necesarios y forjarme en el camino de la honestidad e integridad.

A mis hermanos Miriam, Edwin y Katherine Alely que parece que la mayoría de veces no hubieramos estado en paz por cualquier cuestión, sin embargo nos unimos para lograr nuestros objetivos.

A mi esposa Lorena por el apoyo y cariño que me ha brindado en los momentos más turbulentos que vivimos juntos.

A mi hija Arely que quizás no entiendas aún estas líneas, pero cuando seas capaz, te des cuenta lo que significas para mi. Eres mi principal motivación y como en cada uno de mis logros, en este has estado presente.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE PLANOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.4. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.5. LIMITACIONES.....	2
1.6. OBJETIVOS.....	2
1.7. HIPÓTESIS	3
1.8. DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL.....	4
2.1.2. A NIVEL NACIONAL	4
2.1.3. A NIVEL LOCAL.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. CRITERIO DE HOEK Y BROWN	6
2.2.2. CRITERIO MORH - COULOMB	8
2.2.3. MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS	8
2.2.4. RUPTURAS EN ROCAS	11
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	17

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN	20
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	20
3.2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	20
3.2.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	21
3.2.3. MUESTRA.....	21
3.2.4. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	21
3.2.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	21
3.3. ACCESO	23
3.4. CLIMA	25
3.5. VEGETACIÓN Y FAUNA	26
3.6. HIDROLOGÍA	27
3.7. GEOLOGÍA LOCAL	27
3.7.1. CRETÁCICO INFERIOR	28
3.7.2. PALEÓGENO – NEÓGENO.....	29
3.7.3. DEPÓSITOS CUATERNARIOS	30
3.8. GEOMORFOLOGÍA	32
3.9. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	34
3.10. GEOMECÁNICA	38
3.10.1. ESTACIÓN 01	39
3.10.2. ESTACIÓN 02.....	43
3.10.3. ESTACIÓN 03.....	49
3.10.4. ESTACIÓN 04.....	54
3.10.5. ESTACIÓN 05.....	58
3.10.6. ESTACIÓN 06.....	62
3.10.7. ESTACIÓN 07	67
3.10.8. ESTACIÓN 08.....	71
3.10.9. ESTACIÓN 09.....	76
3.10.10. ESTACIÓN 10.....	81

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	85
--	----

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	89
5.2. RECOMENDACIONES	90

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
--	-----------

ANEXOS

A. DATOS GEOMECÁNICOS	93
B. PLANOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de posicionamiento global.
INGEMMET	:	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.
Pág.	:	Página.
Fm.	:	Formación.
MDT	:	Modelo digital del terreno.
MDE	:	Modelo digital de elevaciones.
MDP	:	Modelo digital de pendientes.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
°C	:	Grado Centígrado
σ_{ci}	:	Resistencia a la compresión uniaxial.
$\sigma_{3máx}$:	Tensión de confinamiento.
σ'_t	:	Resistencia a la tracción
σ_1	:	Esfuerzo principal mayor.
σ_3	:	Esfuerzo principal menor.
Kg.	:	Kilogramos.
ϕ_b	:	Ángulo de fricción básico.
ϕ_r	:	Ángulo de fricción residual.
GSI	:	Índice de Resistencia Geológica.
m_i	:	Constante de Hoek & Brown.
m_b	:	Constante de Hoek & Brown.
s, a	:	Constantes de Hoek & Brown.
c	:	Cohesión.
φ	:	Ángulo de Fricción.
E_i	:	Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.
E_m	:	Módulo de deformación.
D	:	Factor de disturbancia.
Az.	:	Azimut
JCS	:	Resistencia a la compresión simple de la discontinuidad.
FS	:	Factor de Seguridad.
Km.	:	Kilómetros
cm.	:	Centímetro.
m.	:	Metro.
JRC	:	Índice de rugosidad de junta
RQD	:	Índice de calidad de roca.
RMR	:	Valoración de la masa rocosa.
vs.	:	Versus.
MINEM	:	Ministerio de Energía y Minas.
Msnm.	:	Metros sobre el nivel del mar..
mm.	:	Milímetros.

Bz.	:	Buzamiento
N	:	Norte.
S	:	Sur.
E	:	Este.
W	:	Oeste.
%	:	Porcentaje.
Jr	:	Índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Índice de calidad de la roca (RQD).	8
Tabla 2.2. Clasificación geomecánica RMR ₈₉ .	9
Tabla 2.3. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR ₈₉ .	10
Tabla 2.4. Índice geológico de resistencia (RQD).	10
Tabla 3.1. Coordenadas en Sistema UTM. DATUM – WGS – 84 ZONA 17S	20
Tabla 3.2. Ruta de accesibilidad a la zona de estudio.	25
Tabla 3.3. Tabla climática – Datos históricos del tiempo de Chilete.	25
Tabla 4.1. Resultados empíricos de resistencia a la compresión uniaxial.	86
Tabla 4.2. Constantes de Hoek - Brown y Morh – Coulomb, obtenidos del software RocData.	87
Tabla 4.3. Resultados de probabilidad de ruptura según Dips y Factor De Seguridad según RocPlane y Swedge.	88
Tabla 4.4. Estación geomecánica 1. Anexo A.	94
Tabla 4.5. Estación geomecánica 2. Anexo A.	95
Tabla 4.6. Estación geomecánica 3. Anexo A.	96
Tabla 4.7. Estación geomecánica 4. Anexo A.	97
Tabla 4.8. Estación geomecánica 5. Anexo A.	98
Tabla 4.9. Estación geomecánica 6. Anexo A.	99
Tabla 4.10. Estación geomecánica 7. Anexo A.	100
Tabla 4.11. Estación geomecánica 8. Anexo A.	101
Tabla 4.12. Estación geomecánica 9. Anexo A.	102
Tabla 4.13. Estación geomecánica 10. Anexo A.	103

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Guías para la estimación del factor de alteración (<i>D</i>) el criterio de rotura de Hoek y Brown. (Hoek et al. 2002)	7
Figura 2.2. Estimación del índice GSI en la base de descripciones geológicas. (Hoek y Brown, 1997).	11
Figura 2.3. Perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey (1977) para obtener el índice de rugosidad de una junta o JRC. (Ramírez y Alejano, 2004.)	13
Figura 2.4. Método alternativo de Barton (1982) para calcular el JRC. (Ramirez y Alejano, 2004).	14
Figura 2.5. Condiciones para la ruptura plana. (Gonzáles de Vallejo, 2002)	15
Figura 2.6. Tipos de ruptura planar. (Gonzáles de Vallejo, 2002)	16
Figura 2.7. Condiciones para la ruptura en cuña.(Gonzáles de Vallejo, 2002)	17
Figura 3.1. Accesibilidad a Chilete tomando la ruta en color celeste, Cajamarca – Chilete. (Google Maps, 2018).	24
Figura 3.2. Diagrama anual de clima y precipitación de Chilete. (https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cajamarca/chilete-875097/#climate-table , 2012)	26
Figura 3.3. A. Areniscas de grano fino a medio conformando por paquetes tabulares de 0.30 m. a 0.40 m. B. Areniscas ubicadas en el estribo izquierdo del Puente Muyuna con orientación Az = 265° y Bz = 66°NW.	28
Figura 3.4. Calizas de color gris amarillento, moderadamente fracturada, de la Formación Chúlec, ubicada en corte de carretera cerca del Puente Muyuna (Límete de área de investigación).	29
Figura 3.5. A. Afloramiento rocoso del Volcánico Chilete, ubicado en el flanco izquierdo de la carretera, observándose la pseudo-estratificación con orientación Az = 272° y Bz = 38° NE. B. Lahares ubicados en el pie del talud con un espesor de 1.80 m. de afloramiento. C. Facies pseudo - estratificadas de roca andesíticas verduzca, ubicadas suprayacentes a los lahares.	30
Figura 3.6. A. Se muestra la discordancia angular que forma la Fm. Farrat y el Depósito Aluvial ubicados en el hastial izquierdo de la carretera B. Depósito Fluvial a lo largo del río Magdalena.	31
Figura 3.7. A. Depósitos Coluviales originados por deslizamiento de rocas de dimensiones 0.50 m x 0.80 m a favor del talud, acumulados en pie del talud. B. Depósito ubicado en el hastial izquierdo de la carretera, presentando acumulaciones de bolones y rocas de dimensiones pequeñas, originadas por la meteorización de estratos.	32
Figura 3.8. A. Dique de falla andesítica. B. Dique andesítico con alteración propilítica emplazado en la Fm. Farrat. C. Estructura ignea de 8 m. longitud de diques andesíticos. D. Brecha de falla con composición de areniscas.	34

- Figura 3.9. Figura 3.9. A. Espejo de falla inversa sinistral, con patinas de 35
Estrías rojizas levemente meteorizadas, con orientación: Az = 265°, Bz = 67°NW y pitch = 10°, con patinas de estrías rojizas levemente meteorizadas y dimensionamiento de 1.5 cm. a 2 cm ubicado en la Formación Farrat, en el flanco izquierdo de la de la carretera. B. Brecha de falla compuesto por clastos angulosos de 1 cm. a 1.50 cm. con matriz cementante de sílice conformando un espesor de 20 cm. a 25 cm., con orientación: Az = 334° y Bz = 81°NW y pitch = 44°.
- Figura 3.10. A. Falla normal sinistral, con orientación: Az = 270°, Bz = 66° 36
NW y pitch = 63°, observándose el desplazamiento de desgarre que ha originado en la parte inferior del talud del macizo rocoso replegando a la secuencia estratigráfica, acompañado de becha de falla con espesor de 30 cm., con clastos angulosos a 3 cm. a 5 cm. y con matriz englobante de harina de falla, realizando un Salto de falla de 20 a 5 cm. B. Falla inversa de dominio estructural, definiendo el desplazamiento del primer bloque con: Az = 28°, Bz = 66°SE y pitch = 55°.
- Figura 3.11. Falla normal, con orientación: Az = 205°, Bz = 40°NW, ubicado 37
en el flanco izquierdo de la carreteta, perteneciente al volcánico Chilite moderadamente meteorizado y alto fracturamiento del macizo rocoso.
- Figura 3.12. Falla Normal ubicada en el flanco izquierdo de la carretera, con 37
Una orientación: Az = 216°, Bz = 40°NW y pitch = 40° en la Formación Farrat, presentando brechamiento anguloso con matriz cementante de gouge en su composición de traquelamiento, alojando en su movimiento cinemático recristalización de mineral de cuarzo, con patina azulaceas de turgita en la superficie. Al mismo tiempo también presenta una falla oblicua que corta a la falla principal, generando el limite de brechamiento en esta falla.
- Figura 3.13. Estación 1: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. 39
esfuerzo menor. B. Muestra la relación de esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.
- Figura 3.14. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 2%. 41
- Figura 3.15. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 31%. 42
- Figura 3.16. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura en cuña y 43
la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento y vectores de ruptura por análisis de ruptura en cuña, con FS = 1.09, en la Estacion 01.
- Figura 3.17. Estación 2: Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. 44
esfuerzo menor. B. Muestra la relación de esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.
- Figura 3.18. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 27%. 46
- Figura 3.19. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 8%. 47
- Figura 3.20. Figura 3.2 A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de 48
ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con FS = 1.20,

	Pág.
esfuerzo menor. B. Muestra la relación de esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.	
Figura 3.45. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 50%.	78
Figura 3.46. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 61%.	79
Figura 3.47. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con $FS = 1.11$, en la Estacion 09.	80
Figura 3.48. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura en cuña, la simetría del talud y los vectores de ruptura por análisis de ruptura en cuña, con $FS = 0.86$, en la Estacion 09.	80
Figura 3.49. Estación 10: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. esfuerzo menor. B. Muestra la relación de esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.	81
Figura 3.50. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 34%.	82
Figura 3.51. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 7%.	83
Figura 3.52. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con $FS = 0.87$, en la Estacion 10.	84

LISTA DE PLANOS

	Pág.	
PLANO 01	IMAGEN SATELITAL. Anexo B.	104
PLANO 02	UBICACIÓN. Anexo B.	105
PLANO 03	GEOMORFOLÓGICO ALTITUDINAL. Anexo B.	106
PLANO 04	UNIDADES MORFOGENÉTICAS. Anexo B.	107
PLANO 05	GEOLOGICO - ESTRUCTURAL. Anexo B.	108
PLANO 06	GEOTÉCNICO . Anexo B.	109
PLANO 07	GEODINÁMICO. Anexo B.	110
PLANO 08	ZONIFICACIÓN DE INESTABILIDADES CRÍTICAS. Anexo B.	111

RESUMEN

Las geoestructuras ubicadas al SE del distrito de Chilete, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca, en la carretera que une el poblado de Chilete hasta el Puente Muyuna, se evidencia geoestructuras definidas en los flancos del anticlinal Piedra Grande, constituido por plegamientos, fallamientos y fuerte fracturamiento, ocasionando rupturas: planares y cuñas, emplazado en la Formación Farrat y como evento posterior en el Volcánico Chilete. Con el objetivo de analizar e interpretar la geomecánica del comportamiento del macizo rocoso y el origen de caídas de rocas vinculados con las variables: macizo rocoso, geoestructuras, precipitación, infiltración y sismicidad, para dichas condiciones se realizó cartografiados de campo e investigaciones bibliográficas relacionados con el tema, utilizando metodologías: exploratoria, correlacional y explicativa. Los cartografiados geomecánicos se dieron en diez estaciones determinando la probabilidad de ruptura y el Factor de Seguridad. La probabilidad de ruptura tiene que ver con las geoestructuras que definen el comportamiento del macizo rocoso como: cinco estaciones están ocasionando inestabilidades por ruptura planar (fluctuaciones de probabilidad de: 27% a 40%), una estación por ruptura en cuña (probabilidad de 31%) y dos estaciones por ambos tipos de ruptura cuña y planar (probabilidad de: 40% a 61%). En cambio aplicando el método numérico muestran tendencia equivalentes con el Dips, obteniendo resultados por debajo del valor sugerido de 1.5, aplicando el RocPlane y Swedge, con fluctuaciones desde 0.58 a 1.20, concluyendo que solo dos taludes son estables con las condiciones geomecánicas favorables a las estructura del macizo rocoso. Requiriendo un monitoreo más constante de esta carretera por ser una vía principal de acceso.

Palabras claves: Probabilidad de falla, Factor de Seguridad, discontinuidades, macizo rocoso, geomecánica, inestabilidad.

ABSTRACT

The geostructures located to the SE of the district of Chilete, province of Contumazá, department of Cajamarca, on the road that connects the town of Chilete to the Puente Muyuna, evidenced geo-structures defined on the flanks of the Piedra Grande anticline, constituted by folding, failures and strong fracturing, causing ruptures: planar and wedges, located in the Farrat Formation and as a later event in the Chilete Volcano. With the objective of analyzing and interpreting the geomechanics of the behavior of the rock mass and the origin of rock falls linked to the variables: rock mass, geostructures, precipitation, infiltration and seismicity, for these conditions, field mapping and bibliographic research related to the subject, using methodologies: exploratory, correlational and explanatory. The geomechanical maps were given in ten stations determining the probability of rupture and the Security Factor. The probability of rupture has to do with the geostructures that define the behavior of the rock mass as: five stations are causing instabilities due to planar rupture (probability fluctuations of: 27% to 40%), one station due to wedge rupture (probability of 31 %) and two stations for both types of wedge and planar rupture (probability: 40% to 61%). On the other hand, applying the numerical method shows an equivalent trend with the Dips, obtaining results below the suggested value of 1.5, applying the RocPlane and Swedge, with fluctuations from 0.58 to 1.20, concluding that only two slopes are stable with favorable geomechanical conditions. structure of the rock mass. Requiring a more constant monitoring of this road for being a main access road.

Keywords: Probability of failure, Safety Factor, discontinuities, rocky mass, geomechanics, instability.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las geoestructuras ubicadas al SE del distrito de Chilete, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca, en la carretera que une Chilete hasta el Puente Muyuna, se encuentran geoestructuras definidas en el flanco derecho del anticlinal Piedra Grande, constituido por plegamientos, fallamientos y fuerte fracturamiento, ocasionando deslizamientos planares, cuñas. El plegamiento está constituido por rocas areniscas y limolitas, las cuales están afectadas por procesos geotectónicos, procesos de erosión y meteorización física y química, originando el aumento de grietas de tracción y deformaciones profundas en la estructura rocosa y por consiguiente creando inestabilidad en los taludes, en relación con la precipitación, infiltración y sismicidad.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La inestabilidad geotécnica de los taludes entre la ciudad de Chilete y el Puente Muyuna, que corresponden a rocas de la Formación Farrat, las cuales serán afectadas por la precipitación, infiltración y sismicidad?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La realización de la tesis busca relacionar variables y obtener resultados que generan inestabilidades en obras de ingeniería geotécnica, permitiendo dar a conocer el comportamiento geomecánico y su relación con las variables, definiendo que condiciones están generando la inestabilidad de los taludes rocosos en la generación de rupturas: planares y cuñas, en todas las estaciones de investigación,

lo cual crea peligros y riesgos en los transeúntes y transportistas que transitan entre la localidad de Ciudad de Dios y Cajamarca.

1.4. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con la presente tesis de investigación se busca identificar los factores que inician, controlan y propician, la inestabilidad de los taludes rocosos entre la ciudad de Chilete y el Puente Muyuna, siendo la investigación de carácter transversal, analítico, descriptivo, correlacional y explicativo.

1.5. LIMITACIONES

El financiamiento para realizar los ensayos triaxiales para dicho proyecto de investigación.

1.6. OBJETIVOS

GENERAL

Determinar la inestabilidad geotécnica de los taludes en los macizos rocosos en el tramo que comprende entre el poblado de Chilete y Puente Muyuna.

ESPECÍFICOS

Cartografiar las unidades litológicas.

Determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso.

Definir las probabilidades de rupturas en cuñas y desplazamientos planares.

Calcular los factores de seguridad de las rupturas en cuñas y desplazamientos planares.

Zonificar las zonas geotécnicamente críticas.

1.7. HIPÓTESIS

GENERAL

La inestabilidad de los taludes rocosos en la carretera entre Chilete y el puente Muyuna, están relacionados con las variables: litología, geoestructuras, morfología, precipitación, infiltración y sismicidad, encontrándose desplazamientos de rocas debido al comportamiento geomecánico por la presencia de cuñas y deslizamientos planares.

ESPECÍFICA

Las inestabilidades de la carretera en el tramo Chilete – Puente Muyuna, son ocasionadas por geoestructuras e infiltración que definen el colapso de las rocas por esponjamiento.

1.8. DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

El capítulo I, menciona la problemática del problema de investigación, relacionando con las variables a evaluar y los objetivos planteados.

El capítulo II, abarca toda la revisión bibliográfica, exponiendo diferentes investigaciones realizadas hasta la fecha por diversos autores, discutiéndose su aplicación en la estabilidad de latudes rocosos.

El capítulo III, enfocado a la descripción del entorno del área de investigación aplicando: materiales y metodología a utilizar.

El capítulo IV, enmarca resultados y discusiones, planteados por las variables de la tesis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Alonso et al. (2008), realizó: “Análisis de los tipos de inestabilidades del macizo rocoso de la Virgen de la Peña (Huelva, España)”. Ubicada detrás de la ermita de la Virgen del Peña en el Cerro del Aguila (Puebla de Guzman, Huelva), geológicamente conformado por rocas cuarcíticas pertenecientes a la unidad tectosedimentaria denominada Grupo PQ, pertenecientes la edad del Devónico, estructuralmente lo conforma el flanco norte del anticlinal de Puebla de Guzman. Geomecánicamente el macizo rocoso esta definido por taludes con dos orientaciones: La primera de ellas con orientación longitudinal N130°-140°E, presentando fuerte inclinación SE y la segunda aproximadamente subperpendicular a la primera en dirección N55°E siendo prácticamente vertical. Aplicando los métodos empíricos son rocas de mala calidad de categoría IV. Concluyendo que existen rupturas: planares y vuelcos de mayor incidencia, siendo afectados por infiltraciones, ciclos de hielo – deshielo, temblores sísmicos, etc., que causan éstas inestabilidades en el macizo rocoso.

2.1.2. A NIVEL NACIONAL

Valeriano (2014), realizó: Análisis de estabilidad probabilístico del talud de la carretera Espinal – Juliaca, enfocándose en el factor de seguridad, mediante el análisis numérico de ruptura en rocas y análisis probabilístico. Obteniendo como resultados cinemáticos por ruptura por vuelco directo 44.41% y factores de seguridad (estáticas) 2.27 y probabilidad de ruptura 0.00% y para condiciones

seudoestáticas: factor de seguridad 1.21 y probabilidad de ruptura 2.98%. Aportando que la estabilidad de taludes dependerá de factores desencadenantes como: precipitaciones y movimientos sísmicos por los vehículos.

2.1.3. A NIVEL LOCAL

Montoya (2014), en la tesis: Evaluación Geotécnica de los taludes de la Carretera Cruz Blanca - El Gavilán, determinó que la carretera se encuentra emplazada en un sistema de plegamientos (sinclinales y anticlinales) de orientación SE – NW y estructuralmente de fallas de orientación NE – SW hasta E-W, así mismo el comportamiento litomorfoestructural es complejo debido a la presencia de estructuras fuertemente disturbadas que originan: plegamientos, fallamientos y alto fracturamiento en el macizo rocoso y condiciones de inestabilidad en los depósitos cuaternarios. Obteniendo rupturas: planares y cuñas, que afectan a la carretera con mayor incidencia generando eventos geodinámicos como caídas de rocas desde la progresiva Km. 167+000 al Km. 163+500, concluyendo como taludes inestables relacionándolo por la composición litológica que presenta ocasionando eventos geodinámicos como: Escarpe de deslizamiento, deslizamiento, agrietamiento en el terreno y cárcavas, ubicadas desde la progresiva Km. 173+800 al Km. 162+000.

Rodríguez (2016), en la tesis titulada: Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo-Corisorgona. La zona de investigación se encuentra ubicado al W de la ciudad de Cajamarca, determinando que las geoestructuras que tienen orientación SW con buzamientos que varían entre 20° a 40°, y discontinuidades de orientación NE y SE, ocasionando paleodeslizamiento tipo cóncavo-cilíndrico de 500 m. de longitud y 50° de pendiente máxima en la superficie de falla y también deslizamiento menores con pendientes entre 9° a 18°, con interacción de la variable hidrológica e hidrogeológica que afecta estos deslizamientos, demostrando que existen fuertes infiltraciones entre 1000 a 1200 mm. en los años críticos según los datos meteorológico de la estación Weberbauer desde el periodo 1968 a 2015, con probabilidad de flujos en orientación NE y SE, hacia el rio Tres Ríos, ocasionando paleodeslizamientos progresivos en la área de estudio, obteniendo también valores

geomecánicos de las Formaciones existentes, categorizando como rocas de calidad mala a regular, con Factores de Seguridad entre 0.524 a 1.336 y 1.038 a 1.610.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CRITERIO DE HOEK Y BROWN

El criterio es válido para evaluar la resistencia de la matriz rocosa, siendo no lineal el criterio donde representa la gráfica de rotura siendo una curva de tipo cóncava. Desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar su matriz rocosa resistente, sólo debe aplicarse a macizos rocosos donde la estructura analizada es grande y los bloques son pequeños en comparación y en los que hay un número suficiente de discontinuidades muy próximas entre sí, con características superficiales similares, para asumir al comportamiento de fractura como isotrópico. Se define por (Hoek, Carranza-Torres y Corkum 2002):

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

Donde:

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

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

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

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

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


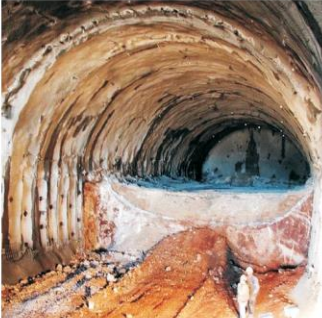
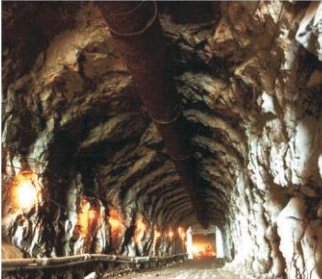


Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	<p>Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel</p>	<p>$D = 0$</p>
	<p>Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.</p> <p>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>$D = 0$</p> <p>$D = 0.5$ No invert</p>
	<p>Voladura de muy mala 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 al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.</p>	<p>$D = 0.7$ Good blasting</p> <p>$D = 1.0$ Poor blasting</p>
	<p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.</p> <p>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.</p>	<p>$D = 1.0$ Production blasting</p> <p>$D = 0.7$ Mechanical excavation</p>

Figura 2.1. Guías para la estimación del factor de alteración (D) del criterio de rotura de (Hoek et al, 2002)

D es llamado factor de perturbación que depende del factor de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por efectos de voladura o por la relajación

de los esfuerzos. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados (Hoek et al. 2002).

2.2.2. CRITERIO MORH - COULOMB

Es un criterio lineal que es ampliamente usado para definir las condiciones de falla en un suelo, asumiendo el comportamiento lineal que éstos generalmente presentan. Entre los términos que lo componen, la cohesión es una medida de la adherencia entre las partículas que componen el suelo. En suelos granulares secos y saturados la cohesión se supone nula (“suelos no cohesivos”); el caso opuesto lo representan los suelos finos, especialmente las arcillas, en cuyo comportamiento la cohesión juega un rol primordial (Suarez, 2009).

2.2.3. MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS

2.2.3.1. ÍNDICE CALIDAD DE ROCA (RQD)

El índice de calidad de roca (RQD), su aplicación en taludes lo estimaremos aplicando la modificación de Priest y Hundson (1976), realizando la medición de las discontinuidades en una superficie con la consideración que exista una longitud mínima de 10 cm. Donde λ es el número promedio de discontinuidades por metro lineal.

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

λ = Numero de discontinuidades/ Longitud

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

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

Fuente: Deere, 1967.

2.2.3.2. VALORACIÓN DE LA MASA ROCOSA (RMR)

La clasificación geomecánica por Sistema Rock Mass Rating (RMR), postulado en 1976 con actualizaciones hasta 1989, en el cual propone valores para los parámetros en función de calidad del macizo rocoso el cual permite estimar los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo, constituyendo un sistema de clasificación de los macizos rocosos que permiten a su vez relacionar el índice de calidad con los parámetros geotécnicos del macizo (González de Vallejo 2002).

Esta clasificación considera los siguientes parámetros:

Tabla 2.2. Clasificación geomecánica RMR₈₉

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

Fuente:Gonzáles de Vallejo, 2004.

Tabla 2.3. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR₈₉.

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

Fuente: Gonzáles de Vallejo, 2004.

2.2.3.3. ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA (GSI)

El índice de Resistencia Geológica, fue desarrollada por Hoek y Brown (1997) basada en estimaciones de modelos simples, que coinciden con las condiciones reales. Las observaciones debían ser realizadas por geólogos o Ingenieros geólogos cuantificadores o con mucha experiencia. La cuantificación de la tabla GSI se basa en dos parámetros bien establecidos: las condiciones de las discontinuidades y el RQD.

Tabla 2.4. Índice geológico de resistencia (GSI).

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

Fuente: Hoek, 2002.

<p align="center">INDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA</p> <p>De los códigos de la letra que describe la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, se selecciona 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>		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES ---->				
	<p align="center">FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</p> <p>MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	80	70			
	<p align="center">FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</p> <p>MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS. ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MÁS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		60			
	<p align="center">FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</p> <p>MACIZO ROCOSO PLAGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DEFINIDOS POR LA INTERSECCIÓN DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>			40		
	<p align="center">DESINTEGRADO (DESINTEGRATED)</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>				30	
						20
						10
	<p align="center">DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA</p> <p align="center"><-----</p>					

Figura 2.2. Estimación del índice GSI en la base de descripciones geológicas. (Hoek y Brown, 1997)

2.2.4. RUPTURAS EN ROCAS

Los diferentes tipos de rupturas están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. Como se presentan en los macizos duros o resistentes, las discontinuidades determinan la situación de los planos de ruptura. Presentándose los modelos de ruptura más frecuentes son ruptura: plana y en cuña (Pozo, 2015).

2.2.4.1. CRITERIO DE RUPTURA DE JUNTAS DE BARTON

La naturaleza las discontinuidades son comúnmente rugosas, siendo además su rugosidad muy irregular. Barton inicialmente en 1973 y sus colaboradores a lo largo de los años 1970 a 1990 analizaron en detalle el comportamiento resistente de pico de juntas rugosas naturales sin relleno y propusieron que la ecuación que describe dicho comportamiento se podía escribir de la forma:

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

Donde:

JRC : Coeficiente de rugosidad de la junta.

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

El ángulo de fricción básico, ϕ_b , se utiliza en el caso de que la superficie no esté meteorizada ni húmeda: si esto no ocurre así, habrá que sustituir ϕ_b por ϕ_r que es el ángulo de fricción residual y que se puede calcular según proponen Barton y Choubey (1977) mediante la expresión:

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 \cdot (r/R)$$

Donde r es el rebote del martillo de Schmidt o esclerómetro en superficies húmedas y meteorizadas, tal y como se suelen encontrar normalmente en campo, y R es el rebote del martillo de Schmidt en superficies lisas no alteradas de la misma roca. El ángulo básico de fricción está tabulado para distintos tipos de rocas y suele variar de entre 25° a 30° para rocas sedimentarias a entre 30 y 35° para rocas metamórficas e ígneas. También se puede obtener mediante ensayos de inclinación con testigos o “tilt tests”, y con ensayos de corte directo en laboratorio sobre superficies de roca sanas, lisas y secas.

El índice de rugosidad de la junta o JRC se puede obtener de una serie de perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey (1977) y que se presentan en la Figura 2.3.

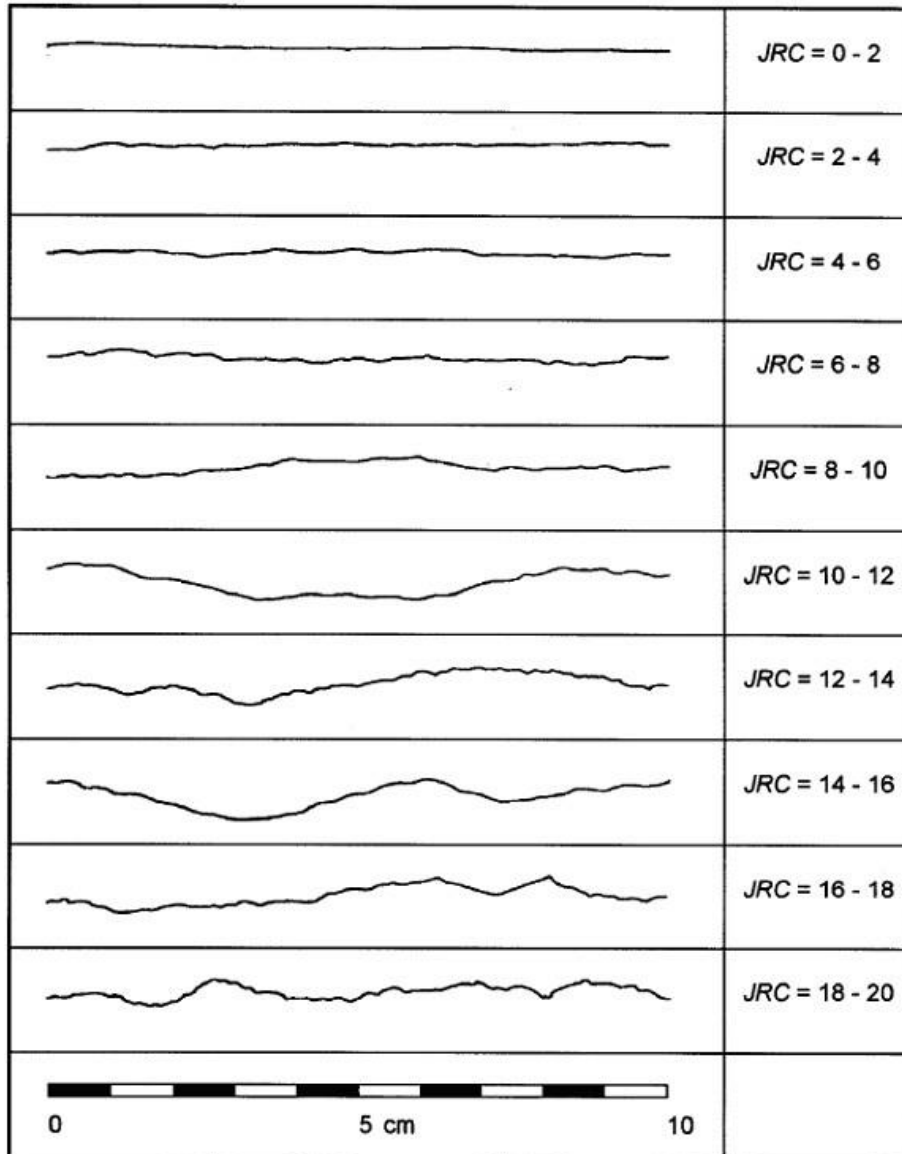


Figura 2.3. Perfiles normalizados que propusieron Barton y Choubey (1977) para obtener el índice de rugosidad de una junta o JRC. (Ramírez y Alejano, 2004)

Más tarde Barton y Bandis (1982) publicó un método alternativo para estimar el índice de rugosidad de una junta, JRC, a partir de medidas de amplitud de las asperezas (para lo cual resulta adecuado utilizar el denominado peine de Barton) y de la longitud de la junta; con estos datos y entrando en el ábaco de la Figura 2.4. se obtendrá el valor de JRC. Este ábaco se puede utilizar en conjunto con el peine de Barton que permite ver la rugosidad para hasta 30 cm. de

discontinuidad. Algún tiempo más tarde Barton (1987) publicó una tabla que relaciona el índice J_r , que como se verá más adelante se utiliza en su sistema de clasificación geomecánica de índice Q , con el valor de JRC .

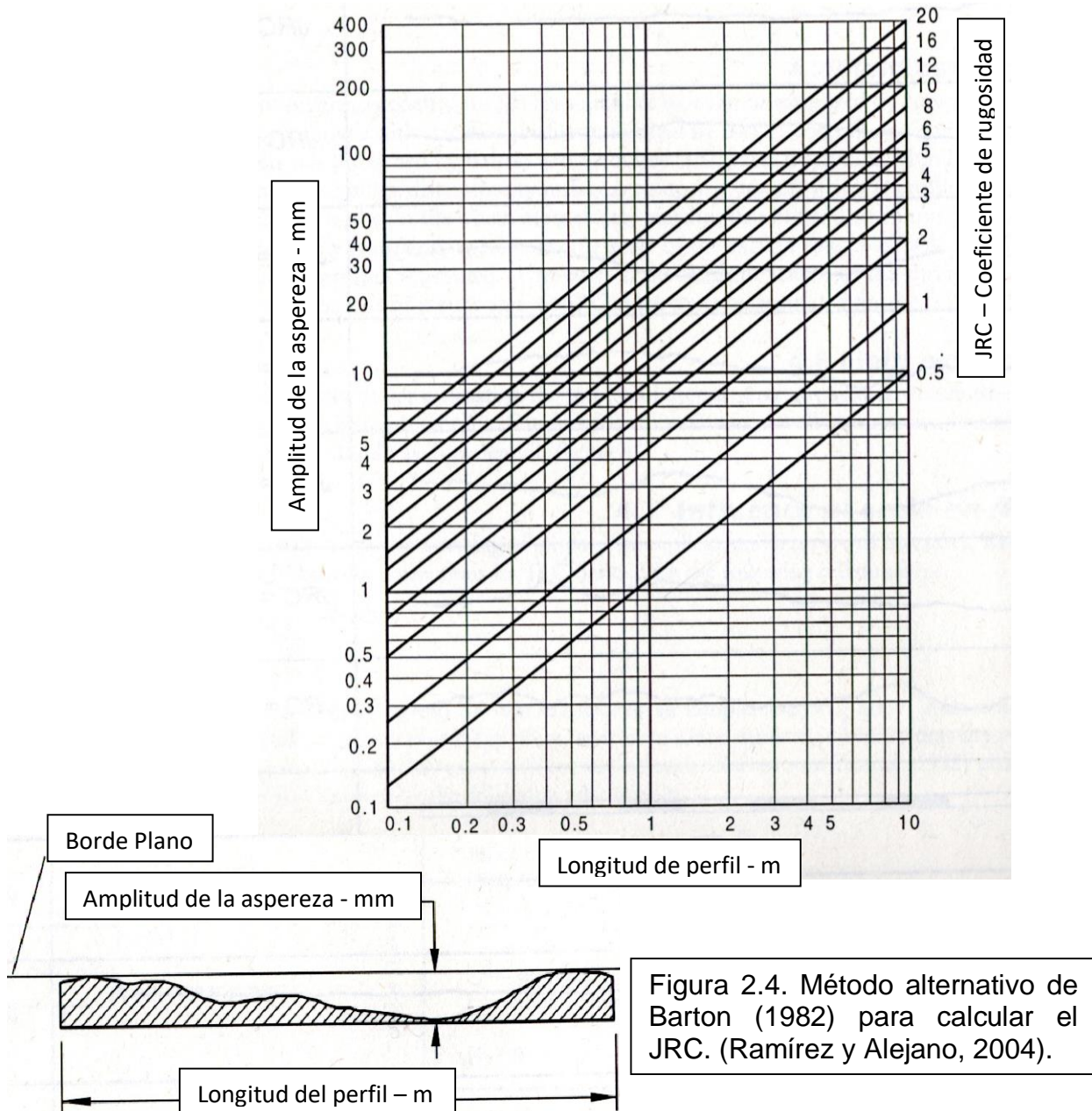


Figura 2.4. Método alternativo de Barton (1982) para calcular el JRC . (Ramírez y Alejano, 2004).

Los ensayos de inclinación se toman dos bloques de roca asociados a los labios de una discontinuidad y se van inclinando lentamente hasta que el bloque superior desliza sobre el inferior. Esto ocurrirá para un determinado ángulo de inclinación al que denominaremos " α ". El valor del JRC se puede estimar a partir de este valor mediante la siguiente expresión:

$$JRC = (\alpha - \phi) / \log_{10}(JCS / \sigma_n)$$

Este último procedimiento suele dar lugar a valores de *JRC* diferentes de los obtenidos mediante los procedimientos indicados anteriormente, lo que pone de manifiesto que la definición de un índice de rugosidad para las discontinuidades es más difícil de lo que parece.

2.2.4.2. RUPTURA PLANAR

Se entiende por ruptura planar, como aquella en el que el deslizamiento se produce a través de una única superficie plana. Siendo la más sencilla de las formas de ruptura posibles se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud.

La representación semiesférica en la red de Schmidt de esta condición se observa en la Figura 2.5, se prevé el deslizamiento cuando el rumbo de la familia de discontinuidades es similar al del talud y su buzamiento menor que este.

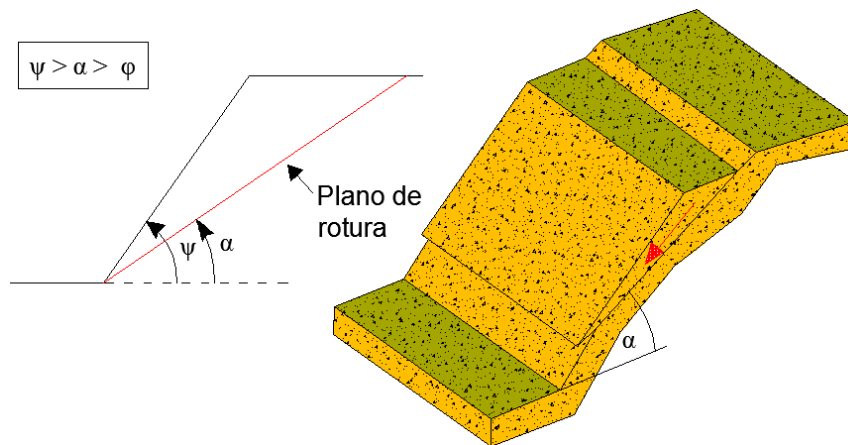


Figura 2.5. Condiciones para la ruptura plana (González de Vallejo, 2002).

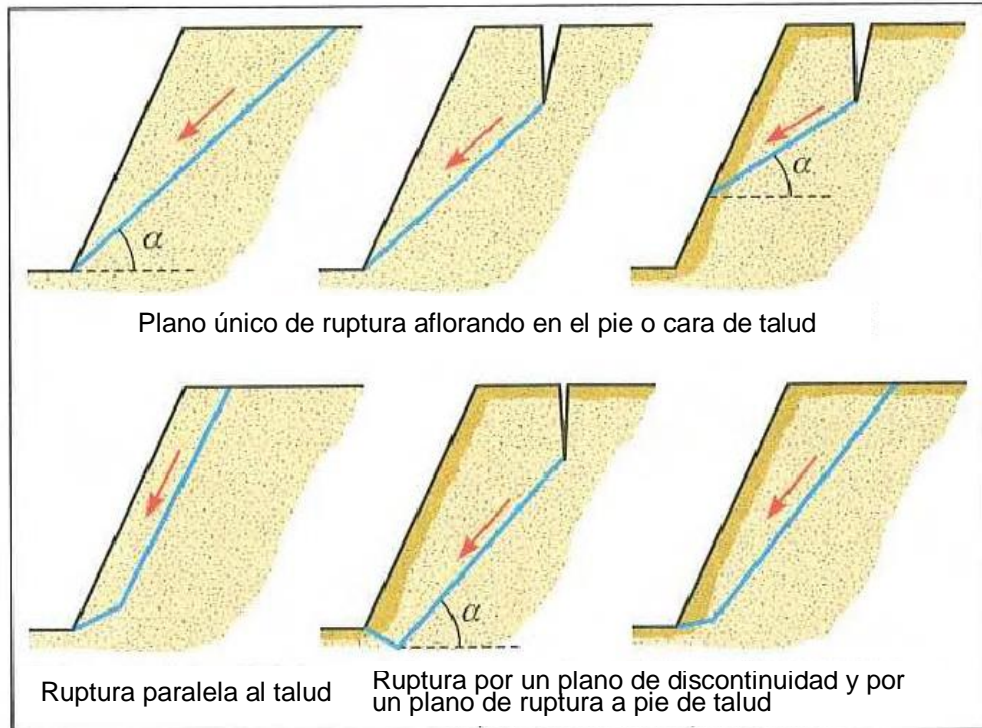


Figura 2.6. Tipos de ruptura planar (González de Vallejo, 2002).

2.2.4.3. RUPTURA EN CUÑA

Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de ruptura, los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y deben cumplir iguales condiciones que para la ruptura planar, siendo el buzamiento la línea de intersección; suele presentarse en macizos con varias familias de discontinuidades, cuya orientación, espaciado y continuidad determinan la forma y volumen de la cuña.

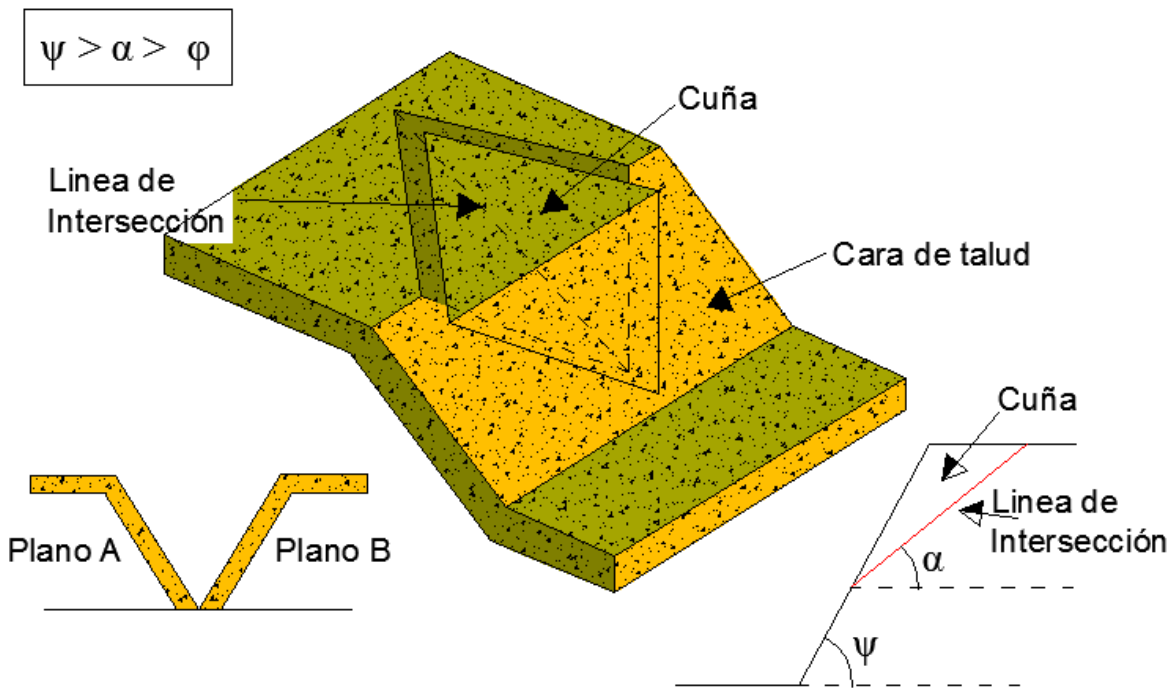


Figura 2.7. Condiciones para la ruptura en cuña (González de Vallejo, 2002).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

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

Cohesión: parámetro de resistencia de un suelo que expresa la fuerza por la cual las moléculas homogéneas de un cuerpo se adhieren unas con otras. (GEMMA, 2007).

Densidad: Es la relación existente entre la masa de un material y su volumen. La comparación en el sistema métrico decimal se realiza en Ton/m^3 , Kg/dm^3 , gr/cm^3 . (Dávila, 2011).

Deslizamiento: los deslizamientos (“Landslides”) consisten en “movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” .(Suarez, 2009).

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

Factor de Seguridad: equilibrio entre las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes, entre las cuales es determinante la fuerza de gravedad. (Suarez, 2009).

Geodinámica. Parte de la geología física o geomorfología que estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre por acción de los esfuerzos tectónicos internos (geodinámica interna) o esfuerzos externos (geodinámica externa). (Dávila, 2011).

Infiltración: Capacidad de penetración de las aguas (mayormente lluvias) en las rocas y/o suelos, o de cualquier otro fluido. (Dávila, 2011).

Macizo Rocoso: Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. (González de Vallejo, 2004).

Peso Específico: se llama peso específico al peso que posee una sustancia en un determinado volumen. El símbolo del peso específico es γ . Suele expresarse en newtons sobre metro cubico (KN/m³). (Dávila, 2011).

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

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

Zonas críticas. Delimitación espacial que hace referencia del estado actual respecto a variables físicas y temporales (Dávila, 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra localizado políticamente en el distrito de Chilete, en la provincia de Contumaza y departamento de Cajamarca al norte del Perú; correspondiente al Cuadrángulo de Cajamarca (15-f) en la zona 17S, ubicado a una cota de 847 msnm. al SE de la ciudad de Cajamarca. Conformando un tramo de carretera de 6 KM. + 292 m., teniendo como puntos de referencia inicial y final continuación:

Tabla 3.1. Coordenadas en Sistema UTM. DATUM – WGS – 84 ZONA 17S

Estación	Latitud (m.)	Longitud (m.)
Inicial	744335	9201795
Final	738750	9201000

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se basó en técnicas importante para la realización de esta investigación conformada por el tipo: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo; conformando por etapas de recolección de información de gabinete/campo hasta procesamiento.

3.2.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Las formaciones geológicas que se encuentran en la carretera del tramo, entre Chilete (Km 97 + 560) y el Puente Muyuna (92 + 650).

3.2.3. MUESTRA

Estructuras geológicas, litología, morfología e hidrología

3.2.4. UNIDAD DE ANÁLISIS

Las unidades de análisis están relacionadas con las variables: Macizo rocoso, geoestructuras, precipitación, infiltración, sismicidad y Factor de Seguridad.

3.2.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se empleó técnicas directas, consistiendo en la observación, descripción de variables y posteriormente el análisis de datos obtenidos en campo mediante el cartografiado geológico y geomecánico. Como técnica indirecta se tiene la obtención de los MDT (Modelo Digital del Terreno) mediante software.

3.2.5.1. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- **ETAPA DE GABINETE**

Lo conforman en dos fases: la primera, antes de iniciar el trabajo, conformada por planificación de tareas a realizar anexado la recopilación de bibliografía, consulta de páginas de científicas (internet o impresas), datos geológicos existentes, publicaciones científicas en los últimos años relacionados con el tema de investigación y varios análisis de ortofotos e imágenes satelitales para un mejor estudio de las estructuras, geofomas y litología. Teniendo como base de referencia geológica regional el cuadrángulo de Cajamarca a la escala 1:50,000 realizado por el INGEMMET, 2007. La segunda fase lo conforma salidas a campo constituyendo análisis e interpretaciones de los datos obtenidos en campo.

- **ETAPA DE CAMPO**

Está fundamentada en trabajos de campo realizados en varias etapas cada una consistiendo en la observación, descripción y medición de las diferentes diaclasas y estructuras tectónicas. La validez de esta etapa de cartográfica de fue trabajada en campo y gabinete con el sistema UTM - DATUM - WGS-84 ZONA 17S.

- **ETAPA FINAL**

Con la información obtenida, se procesó, utilizando software`s como: SAS. Planet, ArcGis 10.3, AutoCad 2016, Global Mapper 14, Dips y RocData; obteniendo: figuras y mapas temáticos, e interpretaciones para el documento de la tesis .

- **EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN**

Esta referido a los medios de manipulación instrumental como cartográfica, que sirven para obtener la información de campo, siendo de fundamental importancia para la tesis.

- a. Registro geológico-geotécnico: Utilizado para clasificar y definir información de campo, relación las condiciones geomecánicas que presente el macizo rocoso.
- b. Brújula geotécnica: Equipo muy utilizado para trabajo de cartografiado, orientación planos geológico – estructural y geomecánico.
- c. Gps Garmin: Define la ubicación georeferencial de las estaciones en un plano vista de planta.
- d. Protactor: Utilizado en geoestructuras de medición en relación a escalas, ángulos y determinación del pitch.
- e. Lupa: Define el tamaño y composición mineralógica de las muestras de campo.
- f. Rayador: Utilizado para definir la superficie de alteración y color de mineral.
- g. Picota: Determina a resistencia de la roca a ser fractura por medio de golpes de picota, definiendo su resistencia del material.

- h. Ácido clorhídrico: Define la composición y procedencia mineralógica de la roca a analizar.
- i. Plano geológico: Define litologías presentes en el área de estudio teniendo como base el cartografiado geológico de campo.
- j. Imagen satelital: Utilizada como referencia topográfica y geológica, para diferenciar las litologías y estructuras de campo.
- k. Flexómetro: Su funcionamiento es importantísimo en la geomecánica definiendo algunas propiedades geomecánicas como: espaciado (m.), persistencia (m.), abertura (mm.) y el RQD del macizo rocoso.
- l. Cámara fotográfica digital de 13 megapíxeles: Se captan fotografías instantáneas del paisaje como de las condiciones geológicas del área de investigación.
- m. Libreta de campo: Utilizada para realizar apuntes, descripciones y gráficas importantes de campo, para posteriores interpretaciones.

3.3. ACCESO

El acceso a la zona de investigación es por medio de dos vías terrestres asfaltadas desde la ciudad de Cajamarca hasta el distrito de Chilete, siendo la primera por la carretera Cajamarca – Chilete de Km. 86 + 200 m., en un tiempo aproximado de 1h 50 min y la segunda ruta por Cajamarca - San Pablo - Chilete de 102 Km. en aproximadamente 2h 30 min.

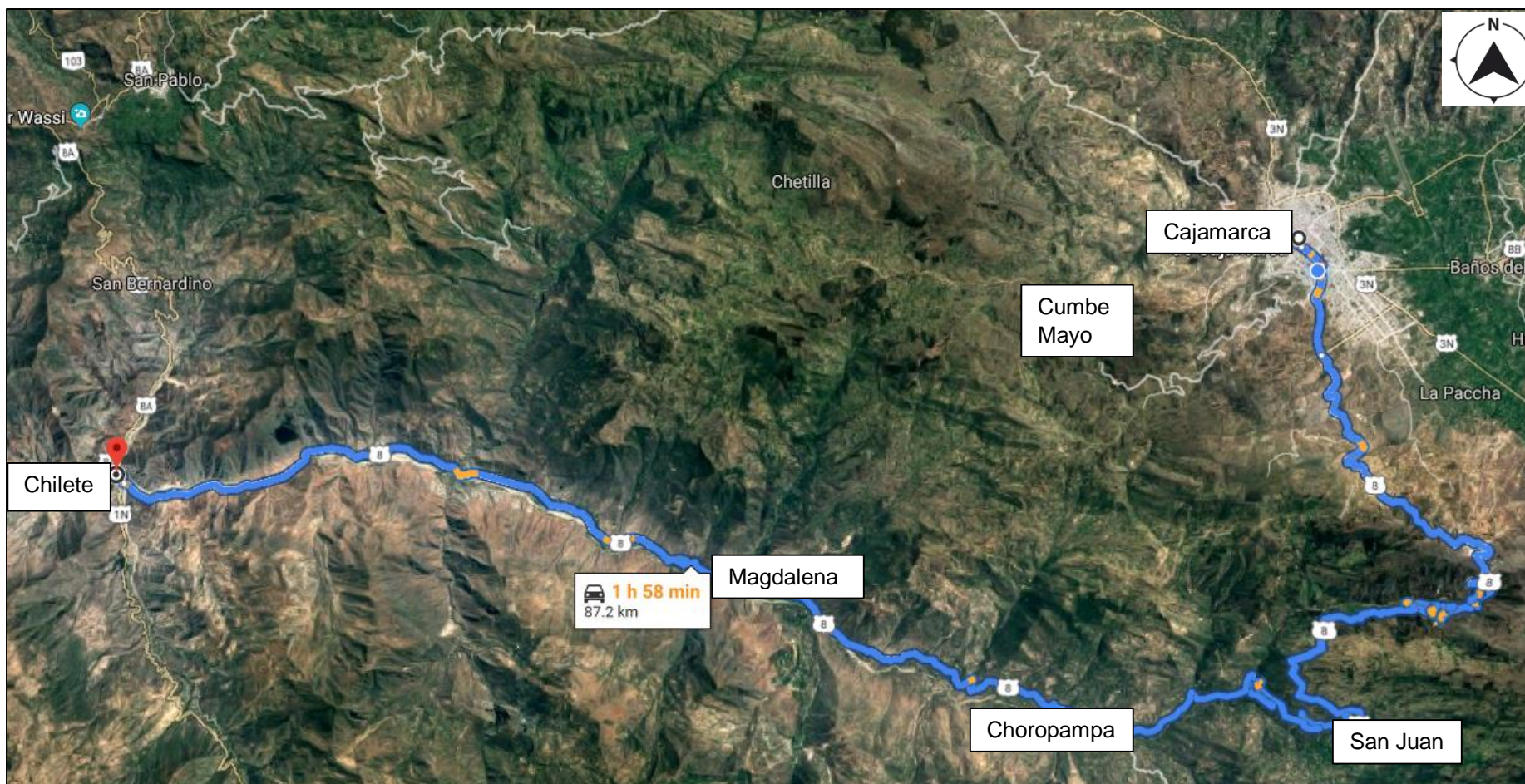


Figura 3.1. Accesibilidad a Chilete tomando la ruta en color celeste, Cajamarca – Chilete. (Google Maps, 2018).

Tabla 3.2. Ruta de accesibilidad a la zona de estudio.

Tramo A- B	Tipo de via	Condiciones de la via	Distancia (Km.)	Tiempo (h.)
Cajamarca - Chilete	Asfaltada	Buen estado	86 + 200 m.	1:50
Cajamarca-San Pablo- Chilete	Asfaltada	Regular	102	2:30

3.4. CLIMA

El clima de Chilete es desértico. No hay virtualmente ninguna lluvia durante el año en Chilete. De acuerdo con Köppen y Geiger clima se clasifica como BWh. La temperatura media anual es 20.6° C en Chilete. Hay alrededor de precipitaciones de 255 mm. La precipitación es la más baja en agosto, con un promedio de 0 mm. La mayor cantidad de precipitación ocurre en marzo, con un promedio de 79 mm. A una temperatura media de 22.9° C, febrero es el mes más caluroso del año. Las temperaturas medias más bajas del año se producen en julio, cuando está alrededor de 18.6° C. Entre los meses más secos y más húmedos, la diferencia en las precipitaciones es 79 mm. La variación en las temperaturas durante todo el año es de 4.3° C. (<https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cajamarca/chilete>, 2012)

Tabla 3.3. Tabla climática – Datos históricos del tiempo de Chilete.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	22.5	22.9	22.6	21.6	20.1	19.1	18.6	18.7	19.3	19.8	20.5	21.2
Temperatura min. (°C)	16.5	17.1	16.8	15.8	14	12.9	12.6	12.7	13.5	13.9	14.4	14.9
Temperatura máx. (°C)	28.5	28.8	28.4	27.5	26.3	25.3	24.7	24.8	25.2	25.7	26.6	27.6
Precipitación (mm)	39	52	79	31	6	2	1	0	5	16	9	15

Fuente: (<https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cajamarca/chilete-875097/#climate-table>, 2012)

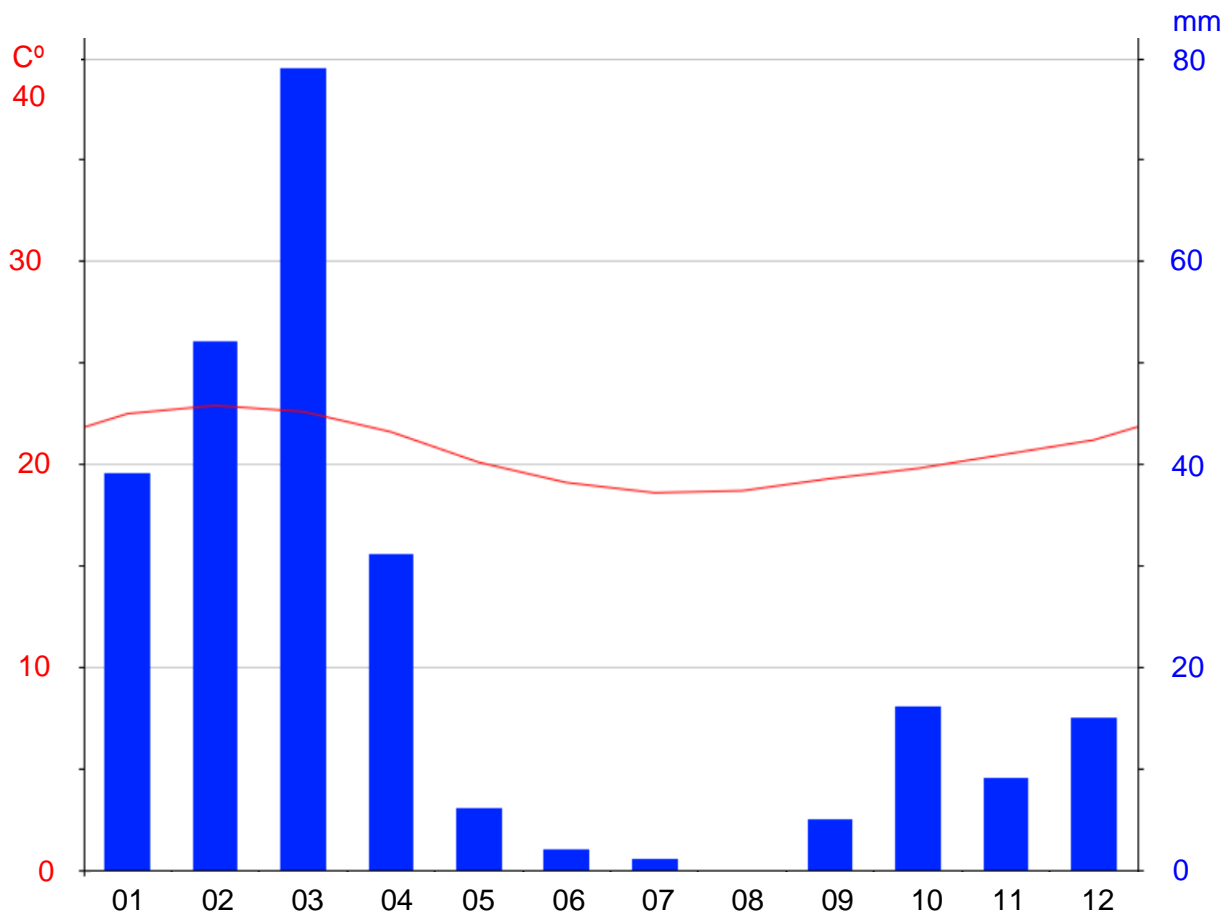


Figura 3.2. Diagrama anual de clima y precipitación de Chilete. (<https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cajamarca/chilete-875097/#climate-table>, 2012)

3.5. VEGETACIÓN Y FAUNA

Esta es una comunidad natural compuesta por poblaciones de especies leñosas o subleñosas altas como *Neoraimondia arequipensis* (gigantón), *Espositoa lanata* (sonca o lana vegetal), *Bursera graveolens* (palo santo), *Loxopterigium huasango* (hualtaco) y un estrato de especies herbáceas que aparecen durante la estación lluviosa formando la mayor diversidad vegetal de la comunidad. Además, se encuentran poblaciones de venados, zorros, aves, reptiles e insectos. Las poblaciones de cada una de estas especies tienen una densidad y una fluctuación propia según las estaciones del año, con tendencia al equilibrio, según sus relaciones con sus depredadores o los fenómenos naturales (sequías, deslizamientos y exceso de humedad, entre otros).

Los animales silvestres más conspicuos corresponden a las poblaciones de: *Pseudalopex sechurae* (zorro costeño), *Mimus longicaudatus* (chisco), *Furnarius leucopus* (chilala), *Turdus* sp. (tordo), *Pygochelidon cyanoleuca* (golondrina) y *Microlophus* sp. (lagartija). (Sánchez y Sánchez, 2012)

3.6. HIDROLOGÍA

La hidrología está influenciada por el Río Magdalena perteneciente a la Cuenca del Jequetepeque, ubicada en la margen derecha de la carretera Cajamarca Chilete, influencia desde la cota 850 a 920 msnm., delimitado por la Quebrada Choropampa al NE y el Río Huertas al W. Las características litológicas e hidrogeológicas que conforman estos tres acuíferos: el acuífero poroso no consolidado, se encuentra en todo el cauce del Río Magdalena, conformado por depósitos fluvioaluviales y aluviales; el acuífero fisurado sedimentario está delimitado por las areniscas cuarcíferas de grano fino de la Formación Farrat y el acuífero volcánico está ubicado en los centros poblados de Chilete y Tabacal emplazado en rocas volcánicas, litológicamente definido por rocas andesíticas de color verduzco y aglomerados volcánicos redondeados a subredondeados con matriz englobante de sílice andesítico.

3.7. GEOLOGÍA LOCAL

La carretera Cajamarca - Chilete, está emplazada en el anticlinal Piedra Grande, constituyendo la mayor parte de las geoestructuras geológicas del flanco derecho del anticlinal de orientación NE-SW, perteneciente al Cretácico Inferior las Formaciones: Farrat y Chúlec, conformando el Grupo Gollarisquizga la Formación Farrat es discordante a la Formación Inca. Litológicamente el flanco izquierdo del anticlinal Piedra Grande está cubierto por derrames andesíticos pseudoestratificados del volcánico Chilete, al mismo tiempo se evidencia Depósitos Cuaternarios como: fluviales, aluviales y coluviales, con tendencia heterogéneas.

3.7.1. CRETÁCICO INFERIOR

3.7.1.1. GRUPO GOYLLARISQUIZGA

FORMACIÓN FARRAT

Ocupa la mayor área investigación por implantación y corte de carretera, conformada por estratificaciones de rocas areniscosas cuarcíferas de grano fino con potencias que fluctúan entre 0.15 m. a 0.35 m., con orientación: Az N285° y Bz 55°NE, con intercalaciones de paquetes lutaceos de textura muy laminar (fisil) de espesores que van desde: 0.02 m. a 0.04 m., conformando sobre todo el flanco derecho del anticlinal Piedra Grande, ubicados como referencia en el Puente Muyuna. En cambio el hastial izquierdo presenta orientaciones Az N138° y Bz 60°NE, conformado por paquetes de grandes espesores de areniscas de grano fino a medio de la misma composición del flanco derecho.

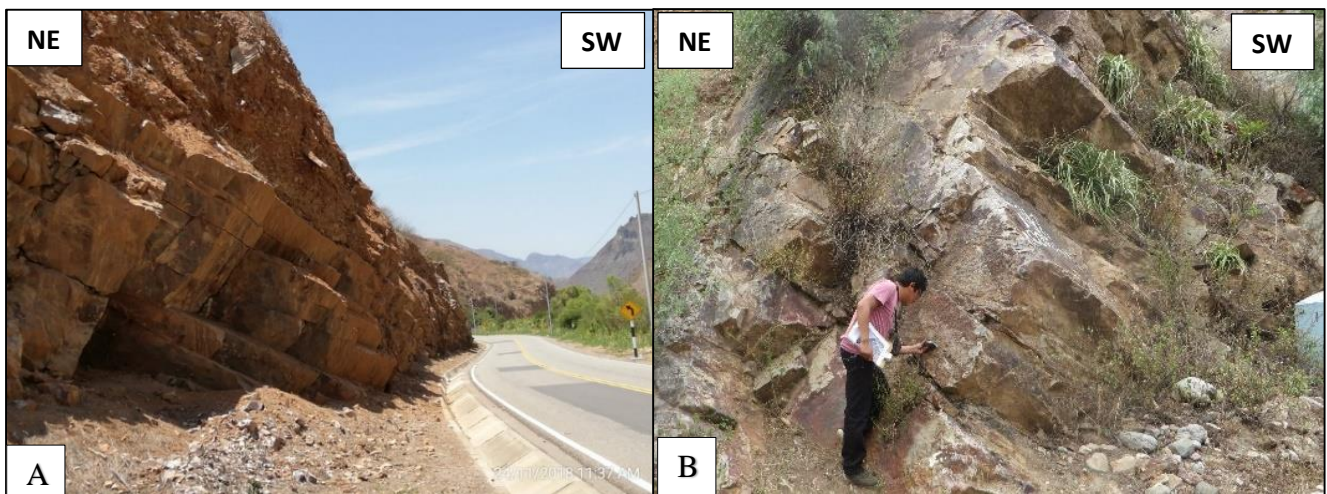


Figura 3.3. A. Areniscas de grano fino a medio, conformando por paquetes tabulares de 0.30 m. a 0.40 m. B. Areniscas ubicadas en el estribo izquierdo del Puente Muyuna con orientación Az = 265° y Bz = 66°NW.

3.7.1.2. GRUPO CRISNEJAS

FORMACIÓN CHÚLEC

Se encuentra ubicada en todo el flanco izquierdo del Río Magdalena, que sobreyace a la Formación Inca. Esta formación consiste en una secuencia fosilífera de calizas y lutitas calcáreas las que por intemperismo adquieren un color gris amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Generalmente los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris parduzcos.

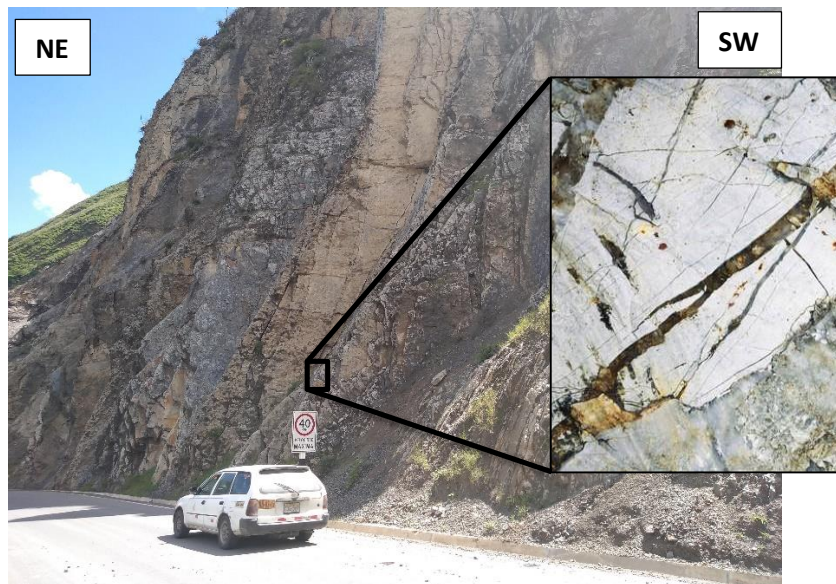


Figura 3.4. Calizas de color gris amarillento, moderadamente fracturada, de la Formación Chúlec, ubicada en corte de carretera cerca del Puente Muyuna (Límite de área de investigación).

3.7.2. PALEÓGENO – NEÓGENO

3.7.2.1. GRUPO CALIPUY

VOLCÁNICO CHILETE

Roca volcánica de origen predominante piroclástico que aflora desde el pueblo Tabacal a Chilete y se extiende por Contumazá, litológicamente conformado por lahares y andesitas con una pseudo-estratificación bien definidas, que oscilan

sus buzamientos entre 28° – 34° . Al mismo tiempo en campo se evidenció estructuras de emplazamiento (sills y diques) dacíticos que cortan a las estructuras sedimentarias de color verdusco a tonalidades negruzcas.

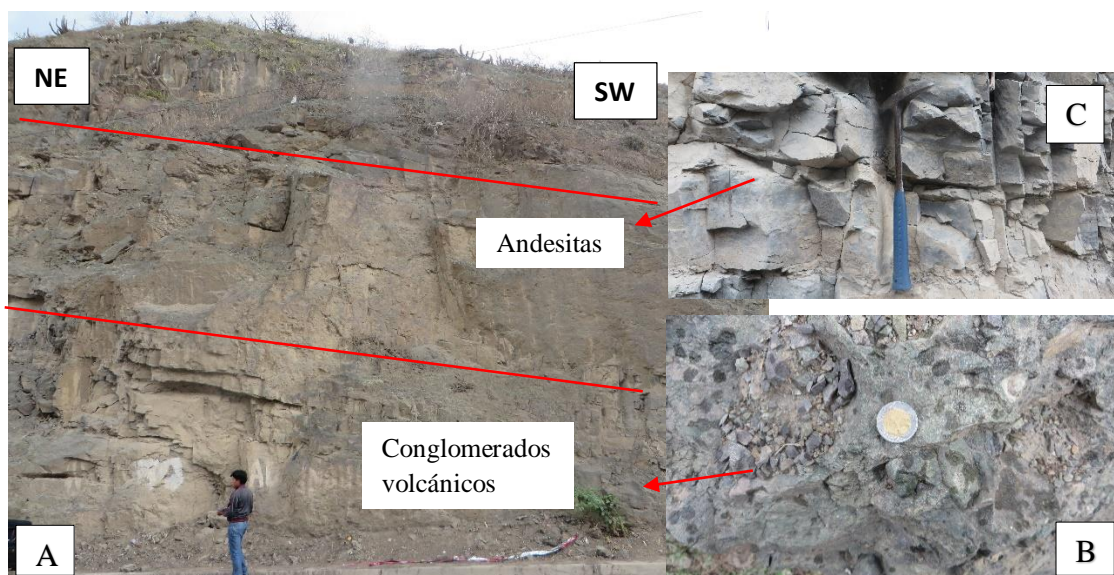


Figura 3.5. A. Afloramiento rocoso del Volcánico Chilete, ubicado en el flanco izquierdo de la carretera, observándose la pseudo-estratificación con orientación $Az = 272^{\circ}$ y $Bz = 38^{\circ}NE$ de roca Andesita. B. Conglomerados volcánicos ubicado en el pie del talud con un espesor de 1.80 m. de afloramiento. C. Facies pseudo-estratificadas de roca andesíticas verduzcas, ubicadas suprayacentes a los lahares.

3.7.3. DEPÓSITOS CUATERNARIOS

3.7.3.1. DEPÓSITOS ALUVIALES

Se ubican en los márgenes del Río Magdalena, con colindación a la carretera Cajamarca – Chilete, conformado por depósitos de composición gravosa, limosa a arcillosa, formando unidades geomorfológicas como: terrazas, lomadas y planicies; en muchos de los casos formados por la acumulación progresiva de materiales construcción y en otros casos los acarrees progresivos por los flujos de agua que se depositan y acumulan en los márgenes de este Río Magdalena.

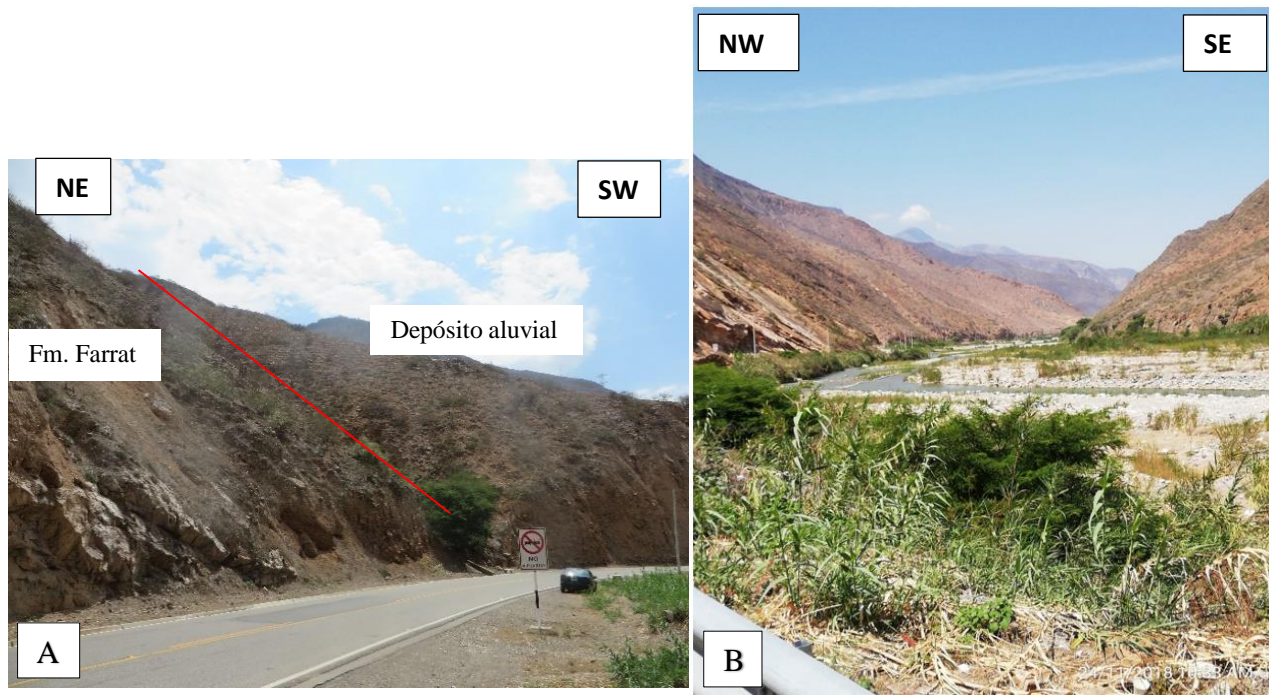


Figura 3.6. A. Se muestra la discordancia angular que forma la Fm. Farrat y el Depósito Aluvial ubicados en el hastial izquierdo de la carretera. B. Depósito Fluvial, ubicado a lo largo del Río Magdalena.

3.7.3.2. DEPÓSITOS FLUVIALES

Éstos depósitos están representados por la acumulación de materiales transportados por el curso fluvial del Río Magdalena, depositados en el fondo y riberas de dicho río. Consisten de gravas gruesas y finas, arenas sueltas y depósitos limoarcillosos. Los depósitos son distribuidos de forma irregular en relación a la fuerza flujo del Río Magdalena, conformando un río maduro, por las geoformas, unidades morfogenéticas y características que muestran esta área de investigación.

3.7.3.3. DEPÓSITOS COLUVIALES

Se ubican en los cortes de carretera sobre todo en el hastial izquierdo carretera Cajamarca – Chilete. Los desplazamientos de rocas son acumulados constantemente con dimensiones: 0.25 m. a 0.35 m. y también con dimensiones 1.20 m. a 3.50 m., en muchos de los casos formando planchones rocosos caídos desde la parte superior de los taludes y en otros apunto de desplomarse, generando zonas constante de riesgo. La geoestructuras presentes forman este depósito por

estar a favor de la pendiente del talud que están originando: caídas de rocas, deslizamientos y grietas de tracción, que son ayudados por el intemperismo, agua, infiltración y por agentes de gravedad que afectan progresivamente la inestabilidad del basamento rocoso en la orientación WSW de la carretera, sobre todo desde El Puente Muyuna hasta el poblado Cogollar por presentar altura taludes que oscilan entre 15 m. a 20 m.

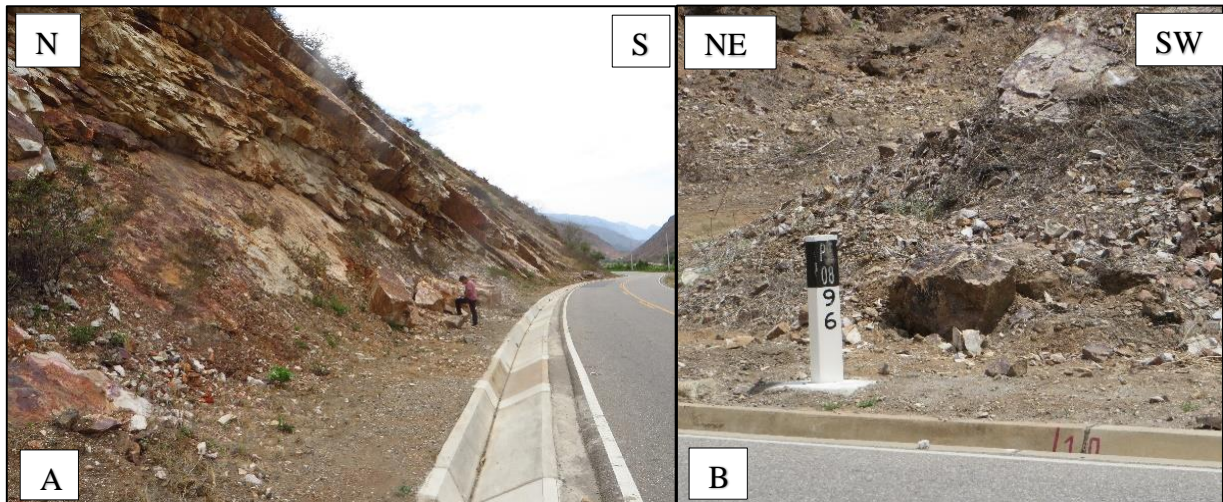


Figura 3.7. A. Depósitos Coluviales originados por deslizamiento de rocas de dimensiones 0.50 m. x 0.80 m. a favor del talud, acumulados en el pie del talud. B. Depósito ubicado en el hastial izquierdo de la carretera, presentado acumulaciones bolones y rocas de dimensiones pequeñas, originadas por la meteorización de los estratos.

3.8. GEOMORFOLOGÍA

Las características morfogenéticas están emplazadas sobre modelamientos topográficos de rocas sedimentarias a volcánicas, originados por procesos morfogenéticos que definen las morfoestructuras que delimitan la zona de investigación. El modelamiento litológico presente lo conforma cuatro unidades morfogenéticas de modelamiento superficial: planicies, lomadas, laderas y escarpas; y unidades menores pero también importantes como: terrazas y valle fluvial. siendo directamente relacionadas con los procesos de erosión, la génesis, edad de las rocas, geometría de relieve.

Teniendo en consideración la definición metodológica de interpretación morfogénica en relación de las elevaciones altitudinales, como a continuación se describe:

Planicies: Lo conforma todo el valle fluvial, del encauzamiento del Río Magdalena con pendientes que oscilan entre los 0° a 8°, relacionados con depósitos: fluvioaluviales y aluviales, éstos están formados por: gravas redondeadas a semiredondeadas en su encauzamiento y en las partes laterales de composición arcillosa a limosa. También siendo muy utilizada para las actividades agrícolas.

Lomadas: Generalmente se ubica entre las elevaciones de 890 a 910 msnm., definiendo el tramo de la carretera Puente Muyuna – Chilete, del flanco izquierdo y el flanco derecho esta compuesta por geoformas de tendencia cóncava, con pendientes que oscilan entre de 8° a 20° y también terrazas no presentando composiciones litológicas homogéneas ni estratificadas.

Laderas: Lo definen los taludes rocosos empinados de la Formación Farrat y Volcanico Chilete, con pendientes de 20° a 50°, ocasionando eventos geodinámicos como: caídas de rocas, cárcavamientos y fujos de detritos por la composición litológica que presenta, sobre todo ubicado en el flanco izquierdo de la carretera.

Escarpas: Presenta pendientes >50°, por ser la parte más empinada del área de estudio, relacionado con blocosidades de rocas ubicados en cinco áreas de afectación geodinámica con la estabilidad de taludes.

3.9. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La geoestructuras están definidas por los esfuerzos tectónicos compresivos con orientación NNE – SSW, definido por el anticlinal Piedra Grande, ubicado en el poblado de Tabacal como eje plegamiento de la megaestructura geológica. Estructuralmente las geoestructuras lo conforman: fallas, diques, diaclasas y estratificación y pseudoestratificación. Los fallamientos cinemáticos cartografiados de campo muestran movimientos casi paralelos al sentido de la estratificación de las rocas de la Formación Farrat, definidas por chanelas del plegamiento del anticlinal con orientación que fluctúan desde $Az = 174^\circ - 275^\circ$ y $Bz = 60^\circ - 86^\circ SW$.

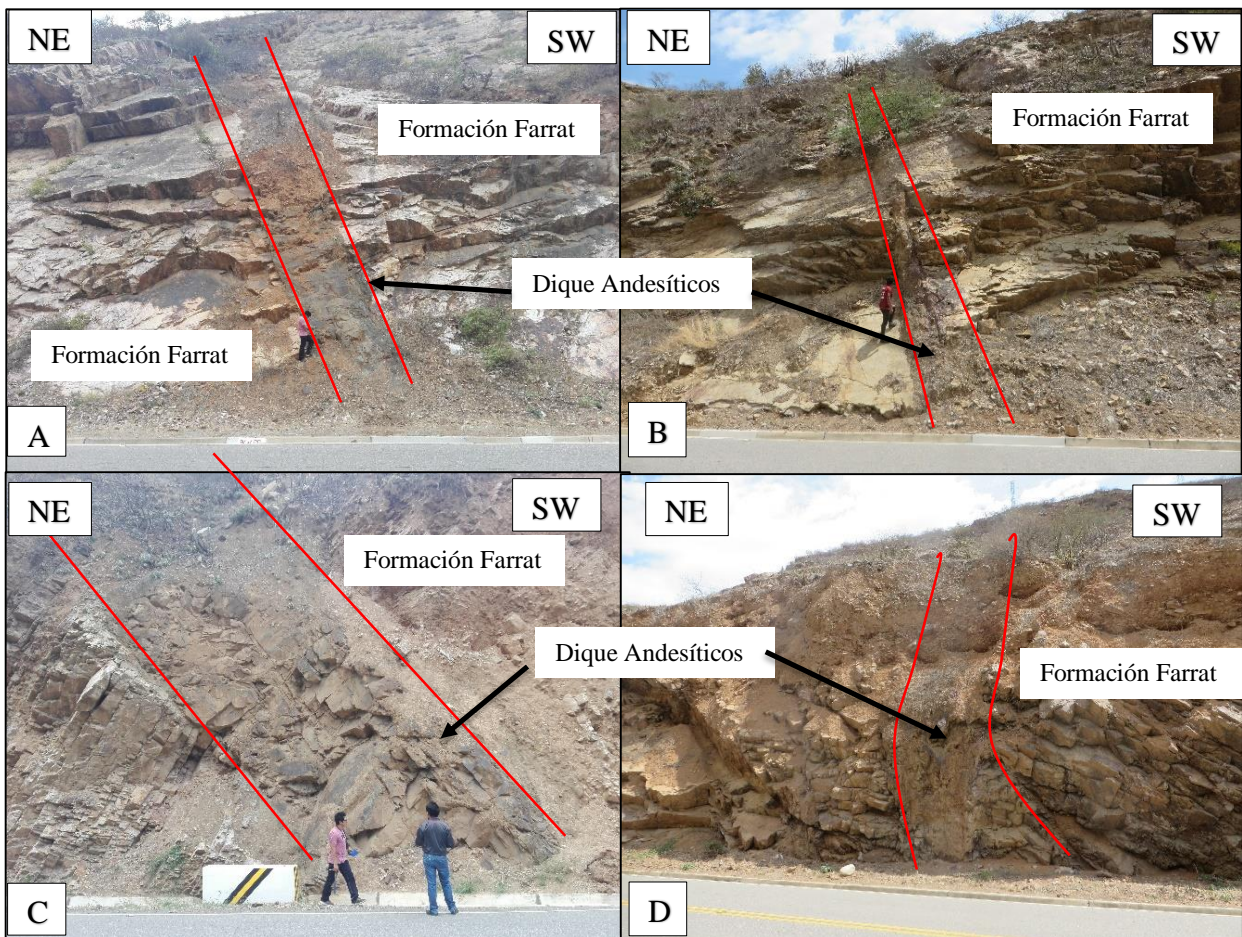


Figura 3.8. A. Dique de falla andesítica. B. Dique andesítico con alteración propilítica emplazado en la Fm. Farrat. C. Estructura ignea de 8 m. longitud de diques andesíticos. D. Brecha de falla con composición de areniscas.

En la Figura 3.8. A. Dique de falla andesítica con potencia de 2.60 m. con orientación cinemática: $Az = 160^\circ$ y $Bz = 67^\circ SW$ y $pitch = 46^\circ$ compuesto de roca gris verduzca con patinas de óxidos en la superficie entre 2 mm. a 5 mm. B. Dique andesítico propilítico de color verduzca con orientación: $Az = 210^\circ$ y $Bz = 70^\circ NW$; emplazado en rocas de la Formación Farrat de color blanquecino. C. Estructura ígnea de 8 m. longitud de color verduzco, con clastos de redondeados a subredondeados, con matriz cementante de sílice, emplazado en la parte inferior de la Formación Farrat, con orientación: $Az = 155^\circ$ y $Bz = 66^\circ SW$, cinemáticamente con movimiento inverso. D. Brecha de falla de composición areniscosa a cuarcífera, delimitando la parte interna de traquelamiento y trituración de la roca, y en los extremos de dicha zona de brechamiento se evidencia zonas de óxidos con potencia de 0.40 m. a 0.75 m., conformando un paquete brecha de 2 m. de potencia con orientación: $Az = 232^\circ$ y $Bz = 44^\circ NW$, emplazado en la Formación Farrat. E. Plano de falla principal con emplazamiento de dique andesítico con movimiento cinemático normal con orientación $Az = 146^\circ$ y $Bz = 55^\circ SW$ y falla oblicua de orientación $Az = 325^\circ$ y $Bz = 65^\circ NW$, desplazando cinemáticamente al sill de composición andesítica.

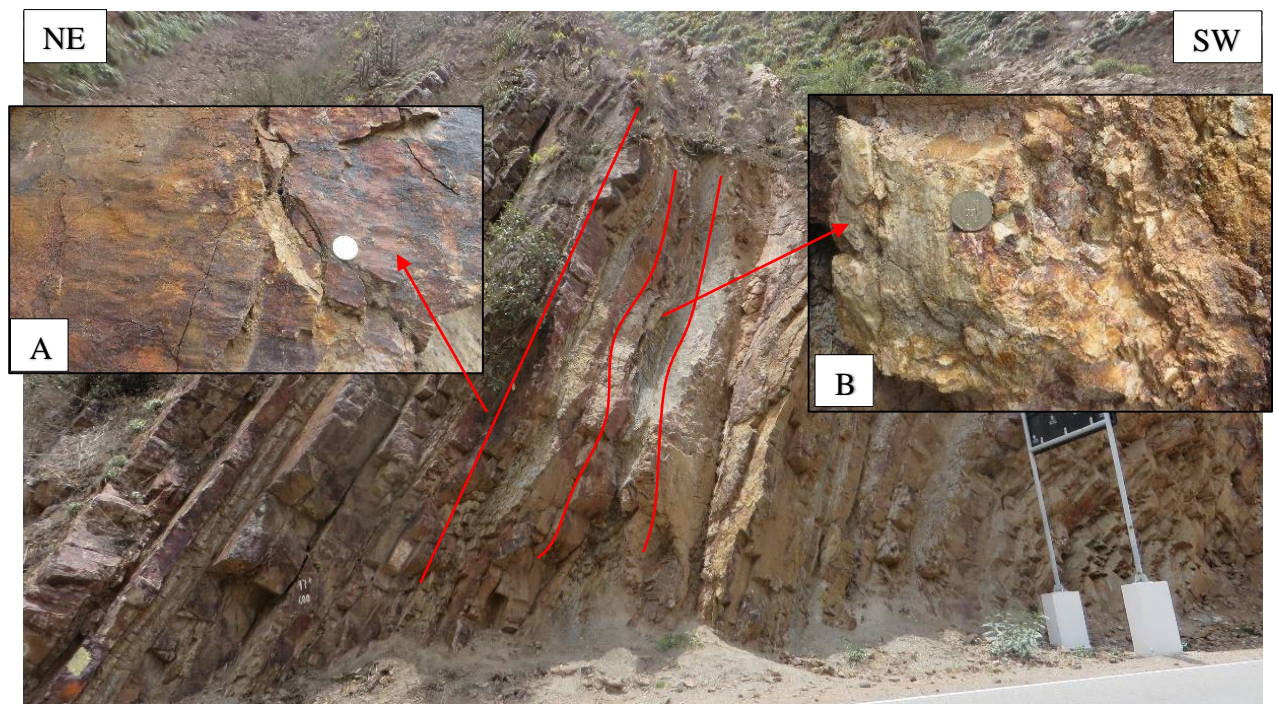


Figura 3.9. A. Espejo de falla inversa sinistral, con patinas de estrías rojizas levemente meteorizadas, con orientación: $Az = 265^\circ$, $Bz = 67^\circ NW$ y $pitch = 10^\circ$, con patinas de estrías rojizas levemente meteorizadas y dimensionamiento de 1.5 cm.

a 2 cm. ubicado en la Formación Farrat, en el flanco izquierdo de la carretera. B. Brecha de falla compuesto por clastos angulosos de 1 cm. a 1.50 cm. con matriz cementante de sílice conformando un espesor de 20 cm. a 25 cm., con orientación: Az = 334° y Bz = 81°NW y pitch = 44°.

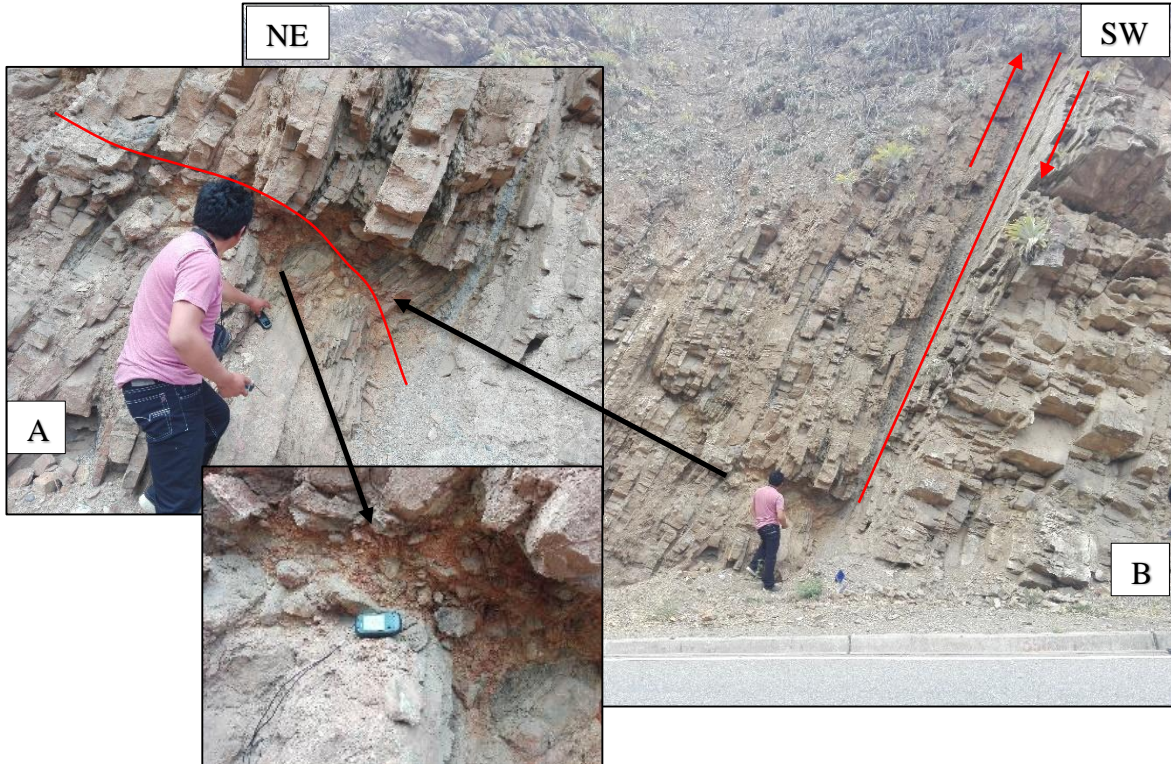


Figura 3.10. A. Falla normal sinistral, con orientación: Az = 270°, Bz = 66°NW y pitch = 63°, observándose el desplazamiento de desgarre que ha originado en la parte inferior del talud del macizo rocoso replegando a la secuencia estratigráfica, acompañado de brecha de falla con espesor de 30 cm., con clastos angulosos de 3 cm. a 5 cm. y con matriz englobante de harina de falla, realizando un salto de falla de 20 a 5 cm. B. Falla inversa de dominio estructural, definiendo el desplazamiento del primer bloque con orientación: Az = 28°, Bz = 66°SE y pitch = 55°.



Figura 3.11. Falla normal, con orientación: Az = 205°, Bz = 40°NW, ubicado en el flanco izquierdo de la carreteta, perteneciente al volcánico Chilete moderadamente meteorizado y alto fracturamiento del macizo rocoso.

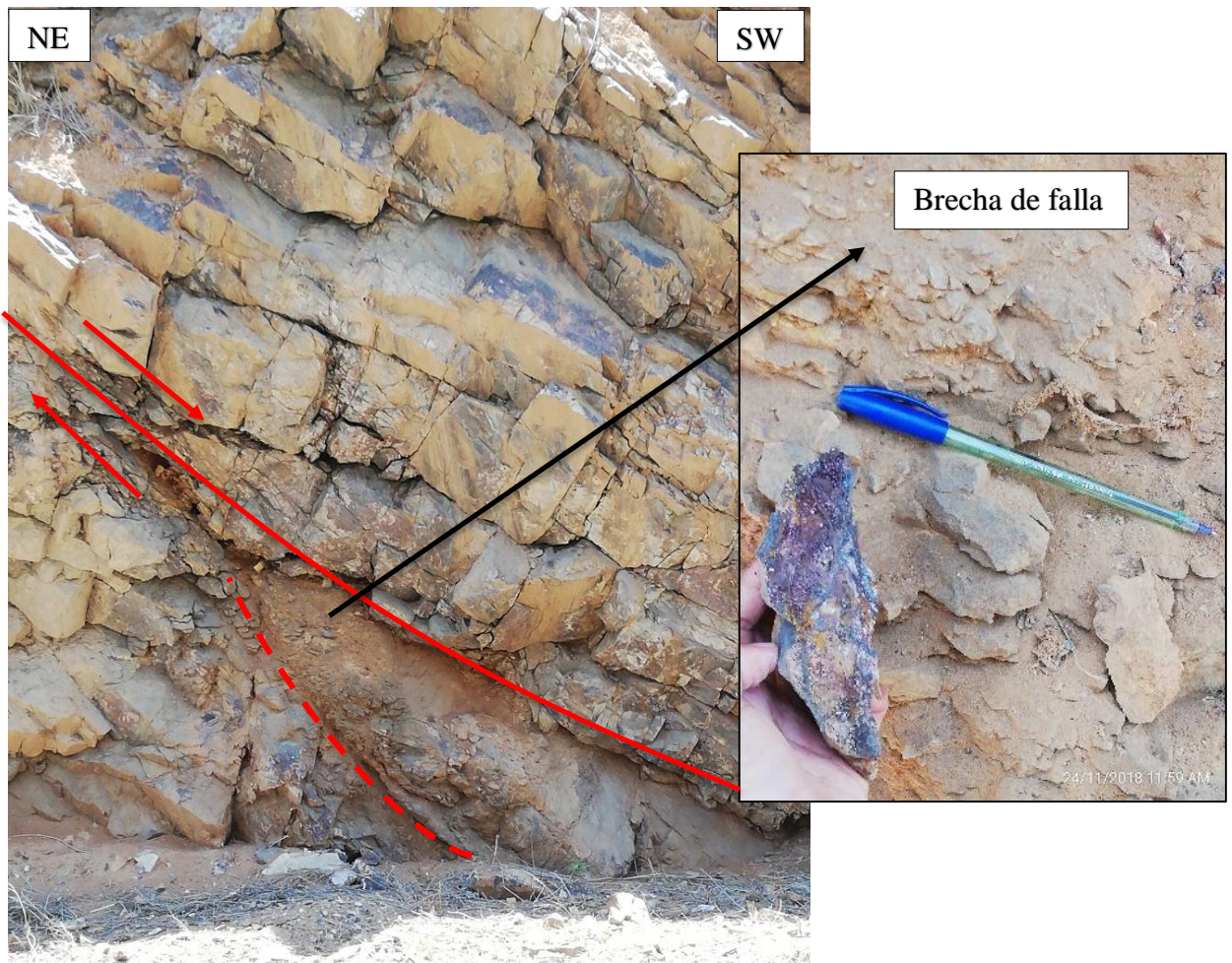


Figura 3.12. Falla Normal ubicada en el flanco izquierdo de la carretera, con una orientación: Az = 216°, Bz = 40°NW y pitch = 40° en la Formación Farrat, presentando brechamiento anguloso con matriz cementante de gouge en su

composición de traquelamiento, alojando en su movimiento cinemático recristalización de mineral de cuarzo, con patina azulaceas de turgita en la superficie. Al mismo tiempo también presenta una falla oblicua que corta a la falla principal, generando el limite de brechamiento en esta falla.

En muchos de los casos el desplazamiento de bloques y consecuentemente sectores de emplazamientos mineralógicos se emplazaron diques andesíticos con potencias de 0.70 m. a 8.00 m., ubicados en los tramos de la carretera, como también estructuras brechosas ya sea de composición andesítica a cuarcífera, conformando paquetes de brechamiento y también como indicadores gouge de colores amarillentos a rojizos, cortando al basamento rocoso.

3.10. GEOMECÁNICA

El análisis geomecánico utilizado en la investigación de cortes de taludes artificiales en la carretera, esta basada en la obtención de información aplicando metodologías empíricas como: índice de calidad de roca (RQD), valoración de la masa rocosa (RMR) y índice geológico de resistencia (GSI), también con la combinación de criterios como: Hoek y Brown, Morh-Coulomb, y Barton y Choubey; para seleccionar, definir y analizar valores en el ingreso de datos a los métodos de equilibrio limite, como: probabilidad de falla (criterios de ruptura Dips V6.0) y factor de seguridad (Swedge y RocPlane), que definen de manera numérica la inestabilidad del tramo de investigación.

Sin embargo también se enfoco en el análisis analítico por las familias de discontinuidades que presenta el macizo rocoso con la estación geomecánica, con respecto a proyecciones estereográficas utilizando la falsilla de Schimdt, para obtener información consistente y relacionada con el método numérico. Teniendo consistencias importantes en la interpretación y análisis en cada una de las estaciones geomecánicas a investigar y que condiciones o variables independientes están generando el desplazamiento rocas.

3.10.1. ESTACIÓN 01

Este tramo esta conformado por areniscas blanquesinas de la Formación Farrat de grano fino, con secuencias litoestratigráficas de delgadas intercalaciones de lutitas que fluctúan entre potencia de 2 cm. a 4 cm. en el macizo rocoso cubierto con patinas de óxidos en la superficie de la roca, presentando moderadas alteraciones, con humedad relativa por la presencia de arbustos a plantas de tallo corto. Geotécnicamente este tramo se categoriza como un R4, por la resistencia a la compresión uniaxial de 42 MPa, definido por la picota geológica y las tres familias de discontinuidades que definen el tipo de blocosidad (cubica).

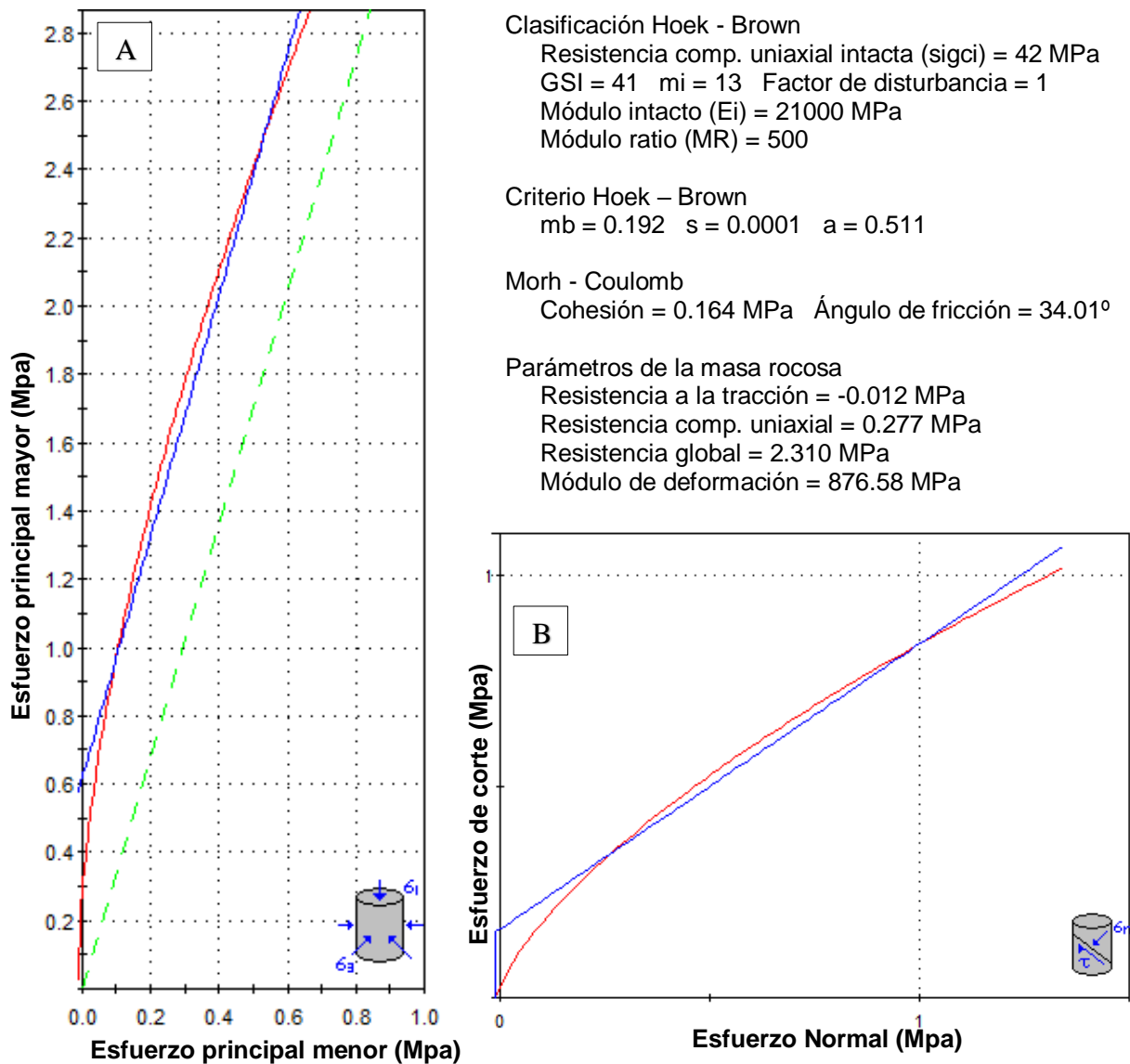
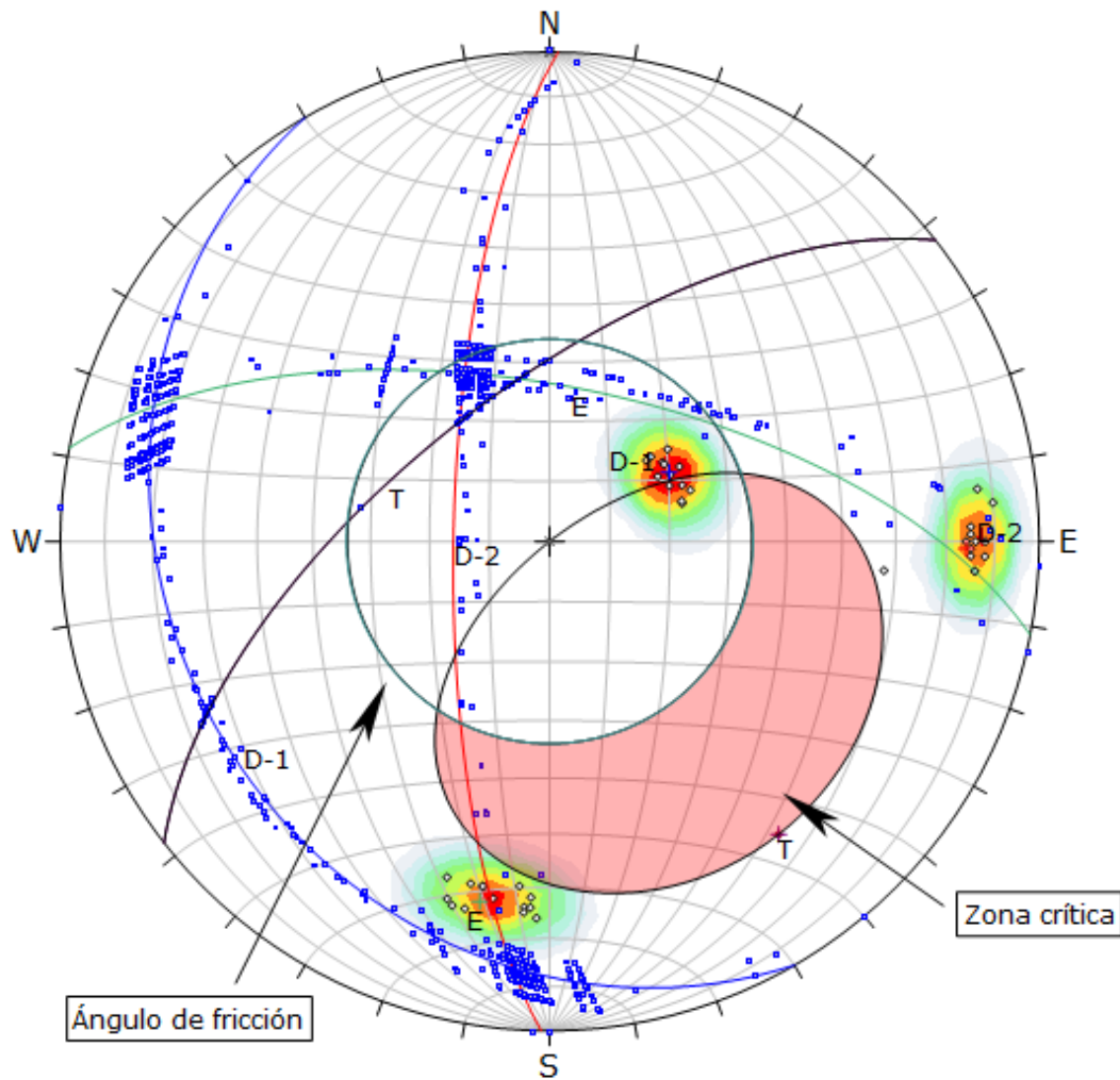


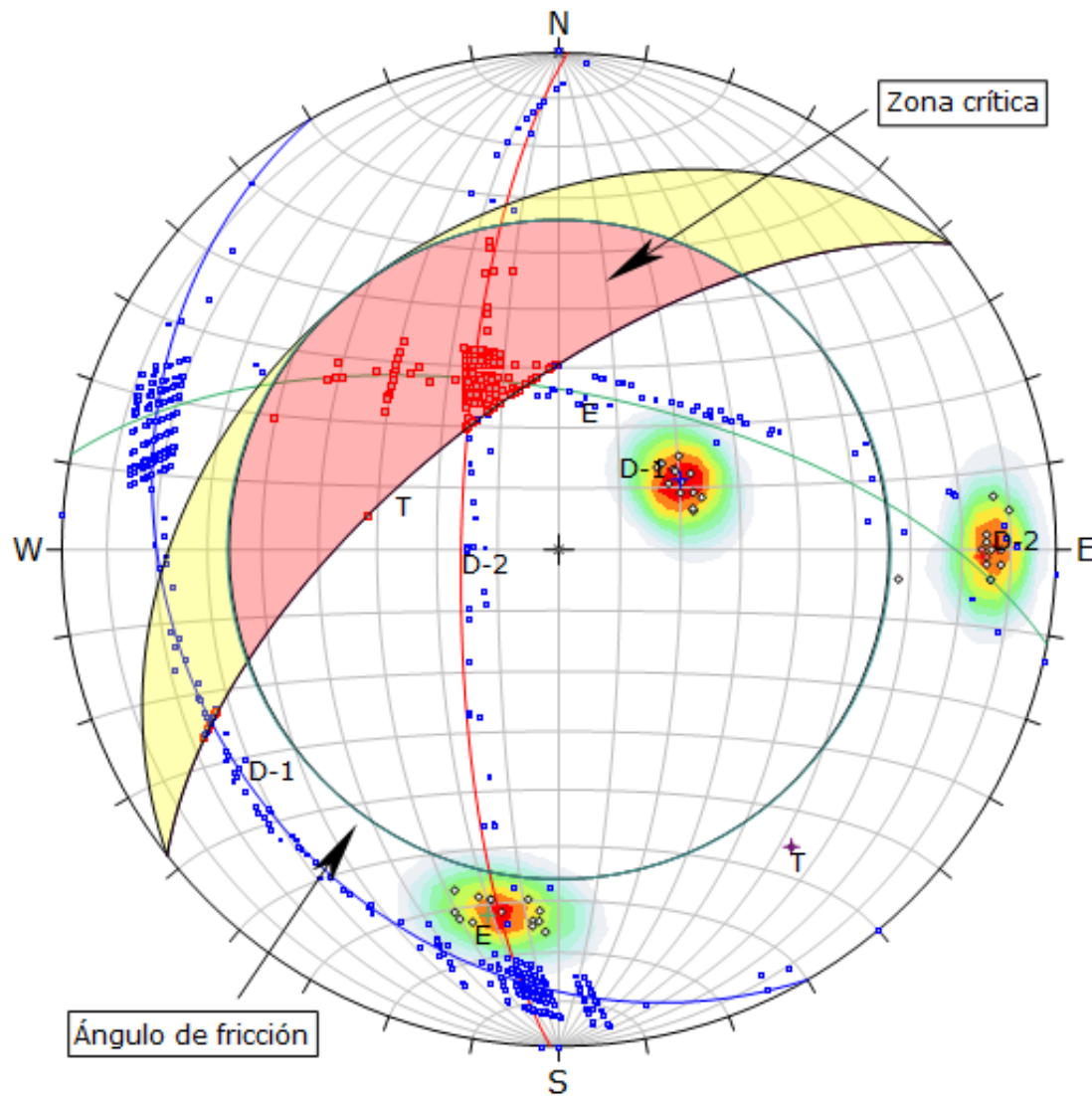
Figura 3.13. Estación 1: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación de esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.

Los resultados de las familias de discontinuidades muestran valores de probabilidad de ruptura (planar 2% y cuña 31%) y la orientación de ruptura de la roca a favor del talud, y el ángulo de fricción de 34° como valor promedio obtenido del rocData, siendo este el valor fundamental para el análisis cinemático por el Dips. La Figura 3.14 nos muestra polos de ubicaciones inestables para este análisis cinemático, por no enmarcarse la zona crítica de color rojo. En cambio en la Figura 3.15, muestra los planos de intersección ubicados en la zona crítica, definidos por la estratificación y discontinuidad 2, generando una probabilidad de ruptura tipo cuña, inestables en esta zona crítica de color rojo.



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
◆	Critical vectors			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximum density		29.88%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Planar siliding		
Slope dip		65°		
Slope Dip direction		322°		
Friction angle		34°		
	Critical	Total	%	
Planar siliding (All)	1	41	2.44%	
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1		64°	11°	E
2		23°	240°	D-1
3		74°	271°	D-2
4		65°	322°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		41 (41 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		818		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Figura 3.14. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 2%.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
■	Critical intersection		
□	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density	29.88%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Wedge sliding		
Slope dip	65°		
Slope Dip direction	322°		
Friction angle	34°		
	Critical	Total	%
Wedge sliding	250	818	30.56%
	Color	Dip	Dip direction
	User planes		
1	■	64°	11° E
2	■	23°	240° D-1
3	■	74°	271° D-2
4	■	65°	322° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	41 (41 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	818		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.15. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 31%.

El programa swedge proporciona valor de inestabilidad en este tramo por el FS, por no ser mayores a 1.50. Reportando al mismo tiempo que la línea de intersección de la estratificación y discontinuidad 2, con orientación trend = 333° y plunge = 58°.

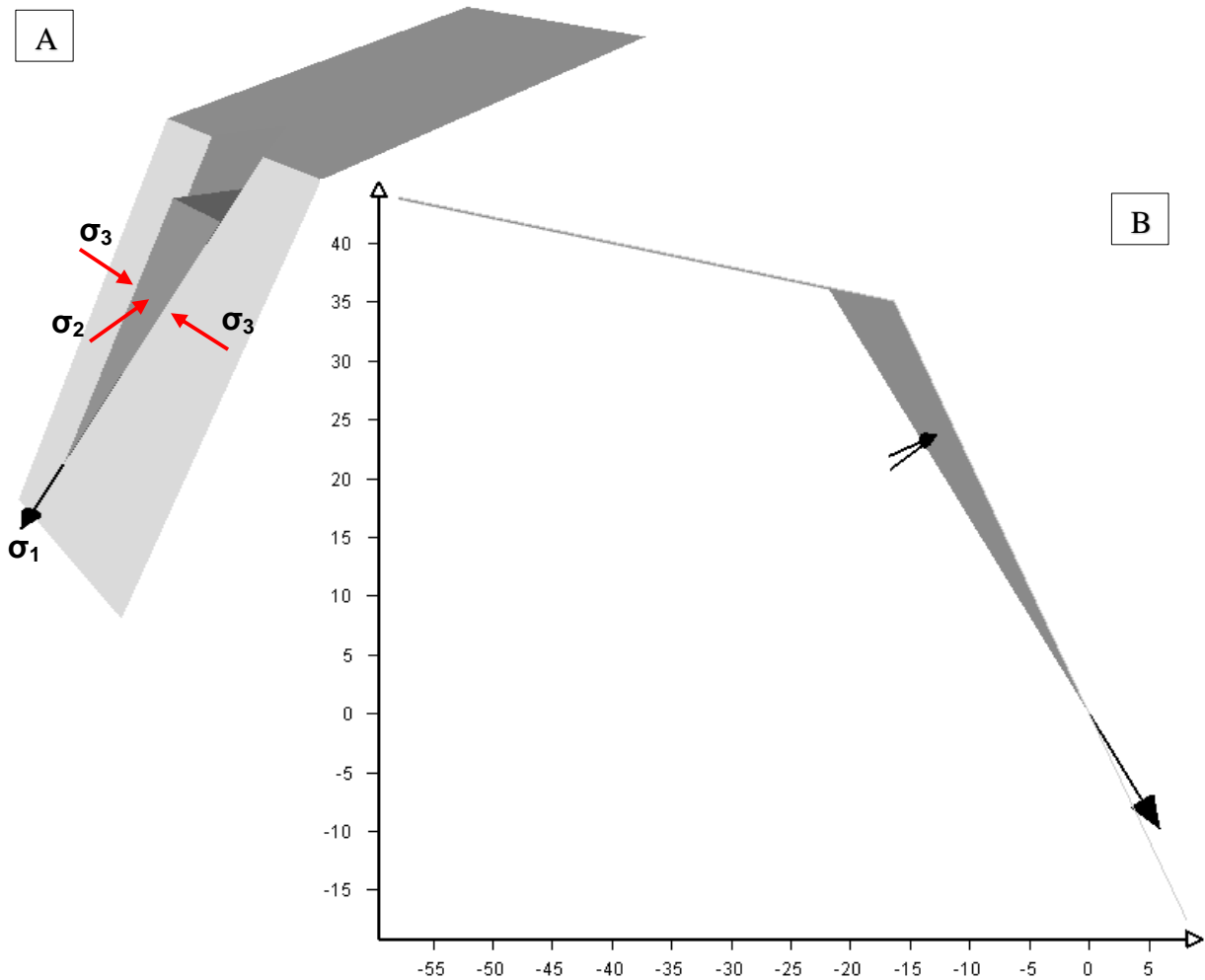


Figura 3.16. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura en cuña y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento y vectores de ruptura por análisis de ruptura en cuña, con FS = 1.09, en la Estacion 01.

3.10.2. ESTACIÓN 02

Presenta composiciones de areniscas cuarcíferas de grano fino de color blanquecino, formando blocosidades tabulares de potencia 20 cm. a 15 cm. a favor del talud con intercalaciones lutáceas de potencia de 5 cm., conformando un macizo rocoso generalmente compuesto de rocas competentes de la Formación

Farrat, con superficies de diaclasas ligeramente rugosas y moderadamente alteradas. La lutitas conforman secuencias generalmente erráticas pero bien definidas, actuando como litología de lubricación para el deslizamiento de la ruptura planar a favor del talud. Geotécnicamente la presenta resistencia a la compresión uniaxial 65 MPa (2 golpes), con un Índice Geológico de Resistencia (GSI) de bloques y capas.

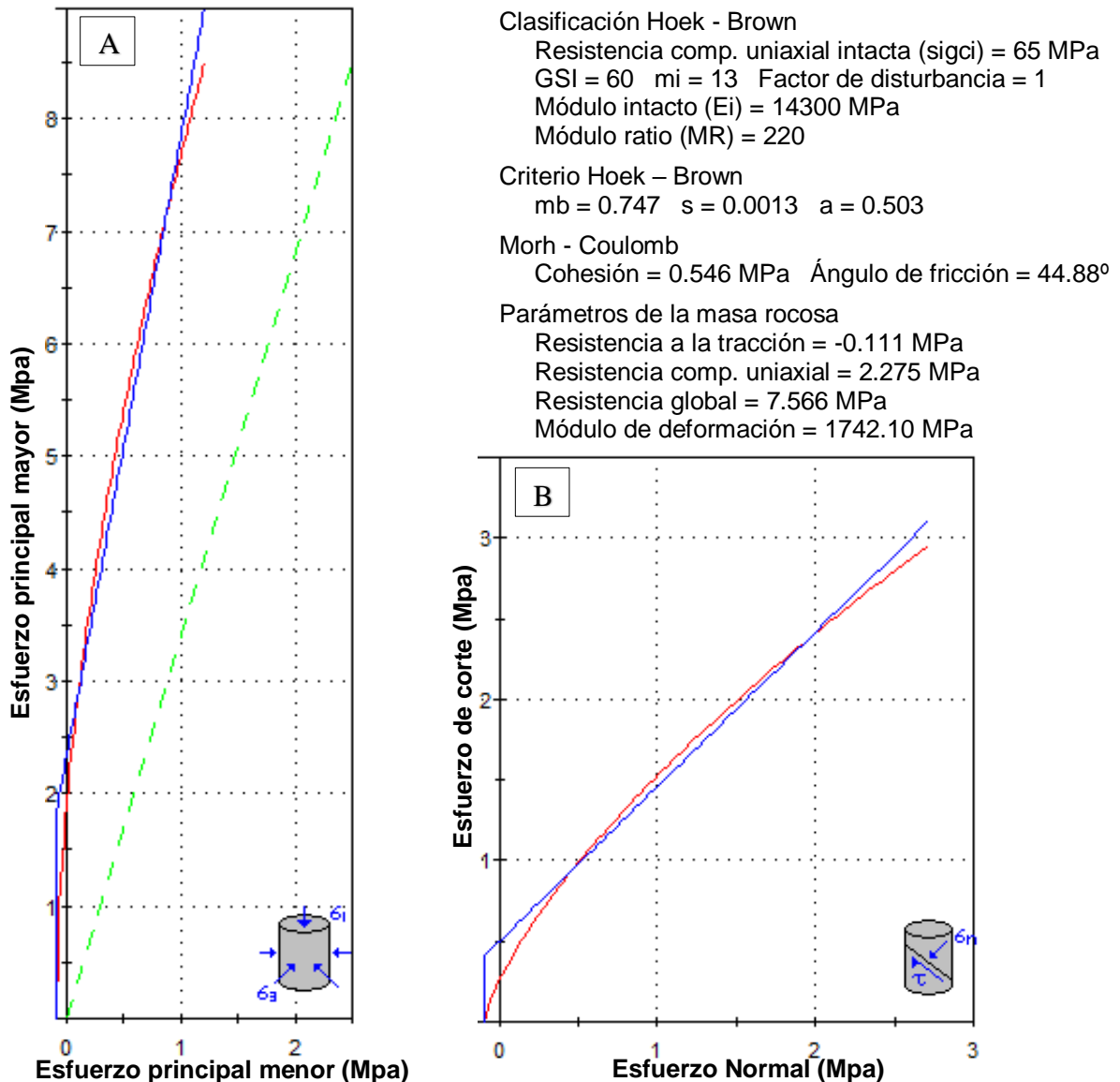


Figura 3.17. Estación 2: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación de esfuerzo de corte y esfuerzo normal.

El análisis cinemático del tramo muestra que lo conforman tres familias de discontinuidades, están definiendo el tipo de ruptura del mayor probabilidad de falla es la planar con 27%, relacionado con la estratificación del macizo rocoso formando

vectores críticos de color rojo ubicados en la zona crítica de inestabilidad. En consecuencia la probabilidad ruptura por cuña es 8%, sobre todo este valor bajo se debe a la intersección de la estratificación y la discontinuidad 1, por estar fuera de la zona crítica de inestabilidad, cabe resaltar también que existen intersecciones de planos de inestabilidad muy bajo riesgo.

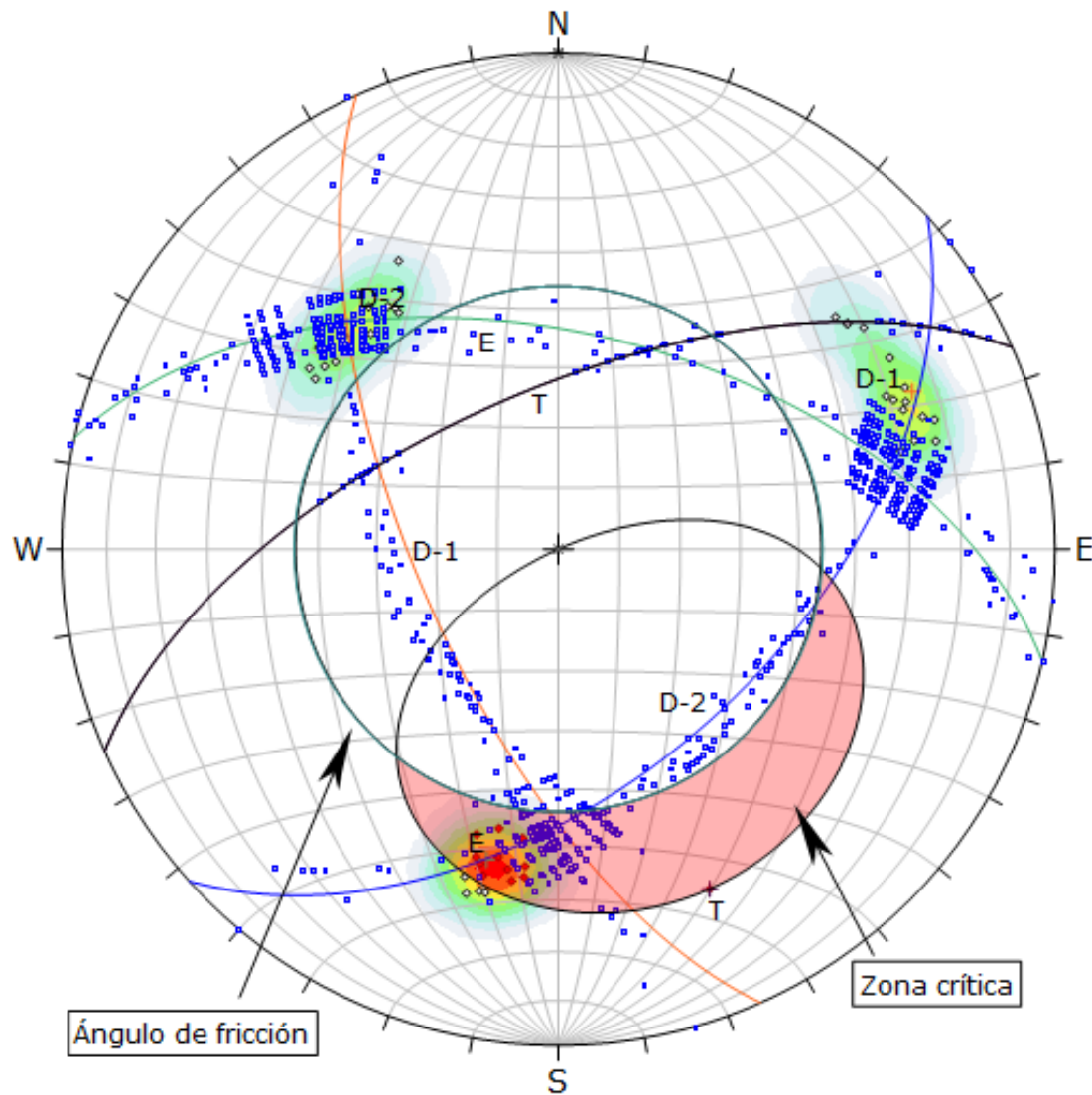
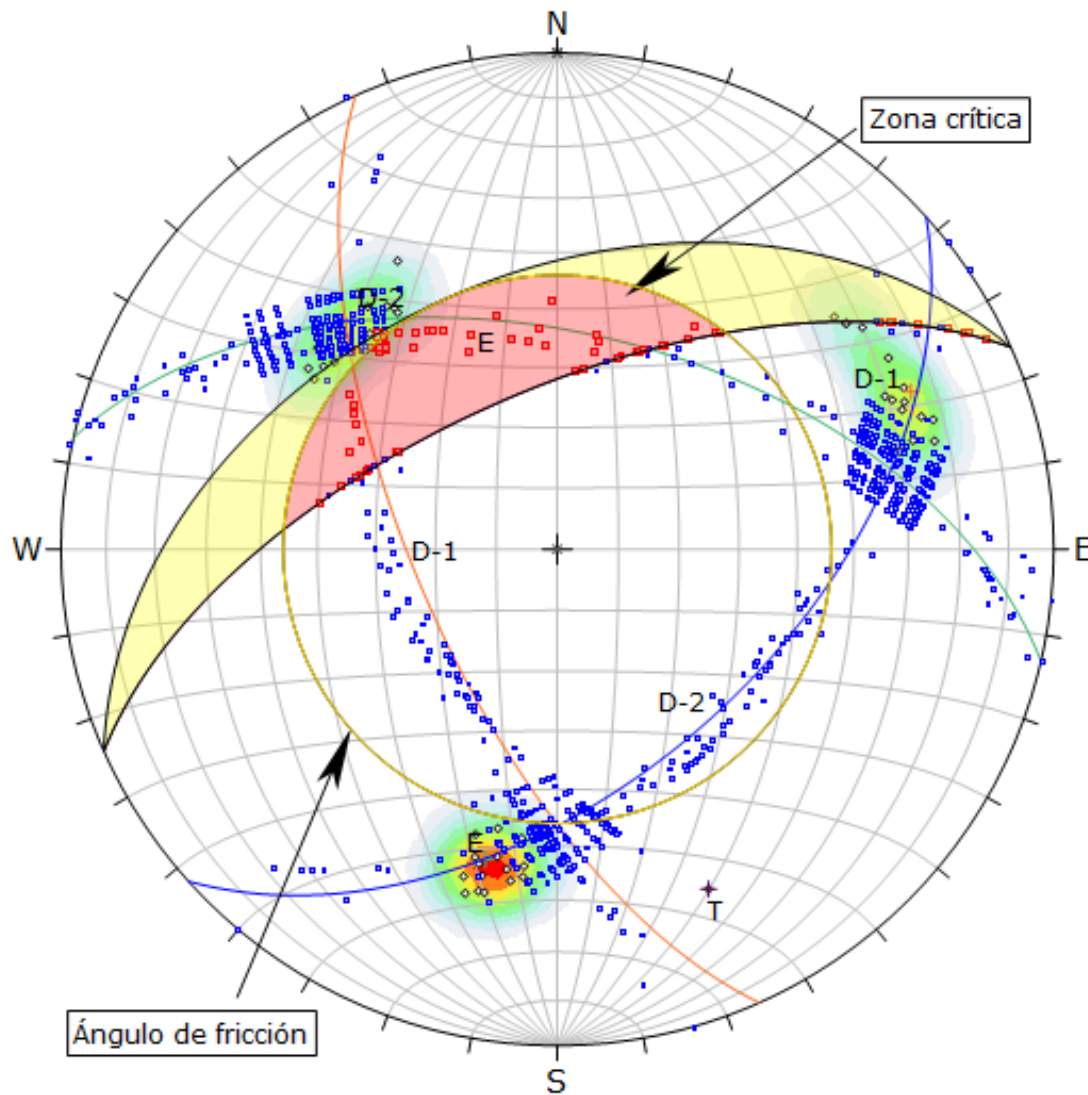


Figura 3.18. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 27%.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density		29.26%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		64°	
Slope Dip direction		336°	
Friction angle		44°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	12	45	26.67%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	54°	13° E
2	■	67°	246° D-1
3	■	52°	138° D-2
4	■	64°	336° T
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		45 (45 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		989	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximum density		29.26%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		65°		
Slope Dip direction		336°		
Friction angle		44°		
		Critical	Total	%
Wedge sliding		82	989	8.29%
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	54°	13°	E
2	■	67°	246°	D-1
3	■	52°	138°	D-2
4	■	64°	336°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		45 (45 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		989		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Figura 3.19. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 8%.

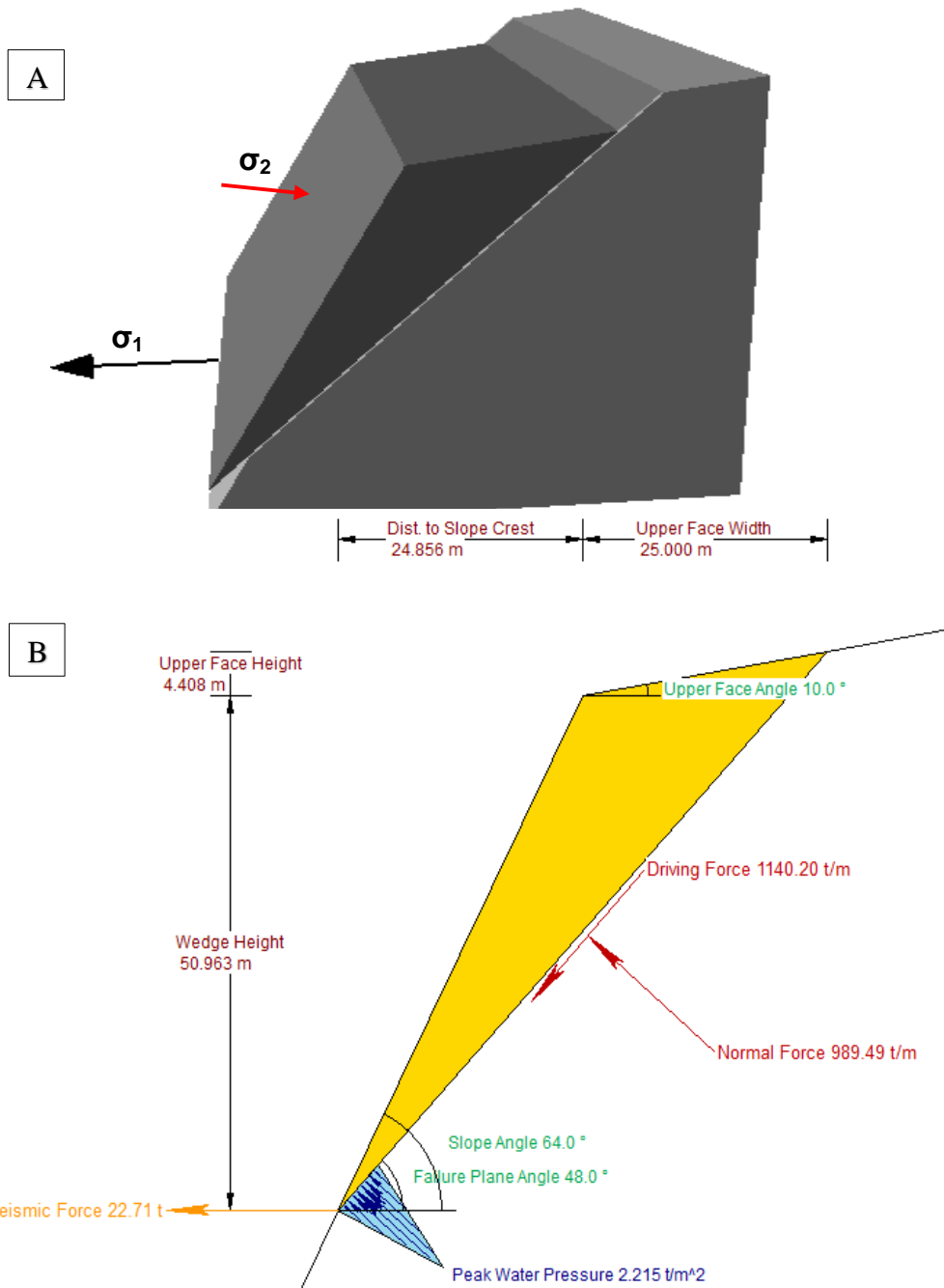


Figura 3.20. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con FS = 1.20, en la Estacion 02.

Aplicando el método de equilibrio limite determinístico muestra que presenta un regular grado de inestabilidad, por estar por debajo de los resultados requeridos por el análisis geotécnico. Los resultados y dimesionamiento de esta estación se muestra la Figura 3.20.

3.10.3. ESTACIÓN 03

El basamento rocoso que forma este tramo está compuesto por areniscas blanquecinas ligeramente alteradas, conformado por bloques completamente tabulares con espesores de 50 cm. a 60 cm. en todo su afloramiento litológico. Las condiciones geoestructurales los definen que está ubicado en el flanco derecho del anticlinal Piedra Grande, conformando tres discontinuidades que definen el tipo de ruptura: planar y cuña, por: la resistencia a la compresión uniaxial (75MPa), número de diaclasas, grado de alteración, la rugosidad y la orientación de las discontinuidades. Geotécnicamente este tramo presenta consecuentes inestabilidades por: la persistencia de la estratificación que supera 8 m. y la altura de talud de 50 m., de proyección litológica.

La proyección estereográfica de Schmidt, muestra la cinemática de las geoestructuras, obteniendo probabilidades de ruptura: 32% (planar) y 16% (en cuña), mostrando variaciones probabilísticas de ruptura. Por ejemplo la ruptura planar está relacionada con la estratificación, por los polos que se encuentran en esta zona crítica de color rojo; en cambio ruptura en cuña muestra la línea de intersección la estratificación y la discontinuidad 1 se encuentran afuera de la área crítica formando una probabilidad de falla mínima como se muestra en la Figura 3.23, pero consecuentemente a esta interpretación muestra intersecciones de las mismas discontinuidades, pero solo puntualizadas.

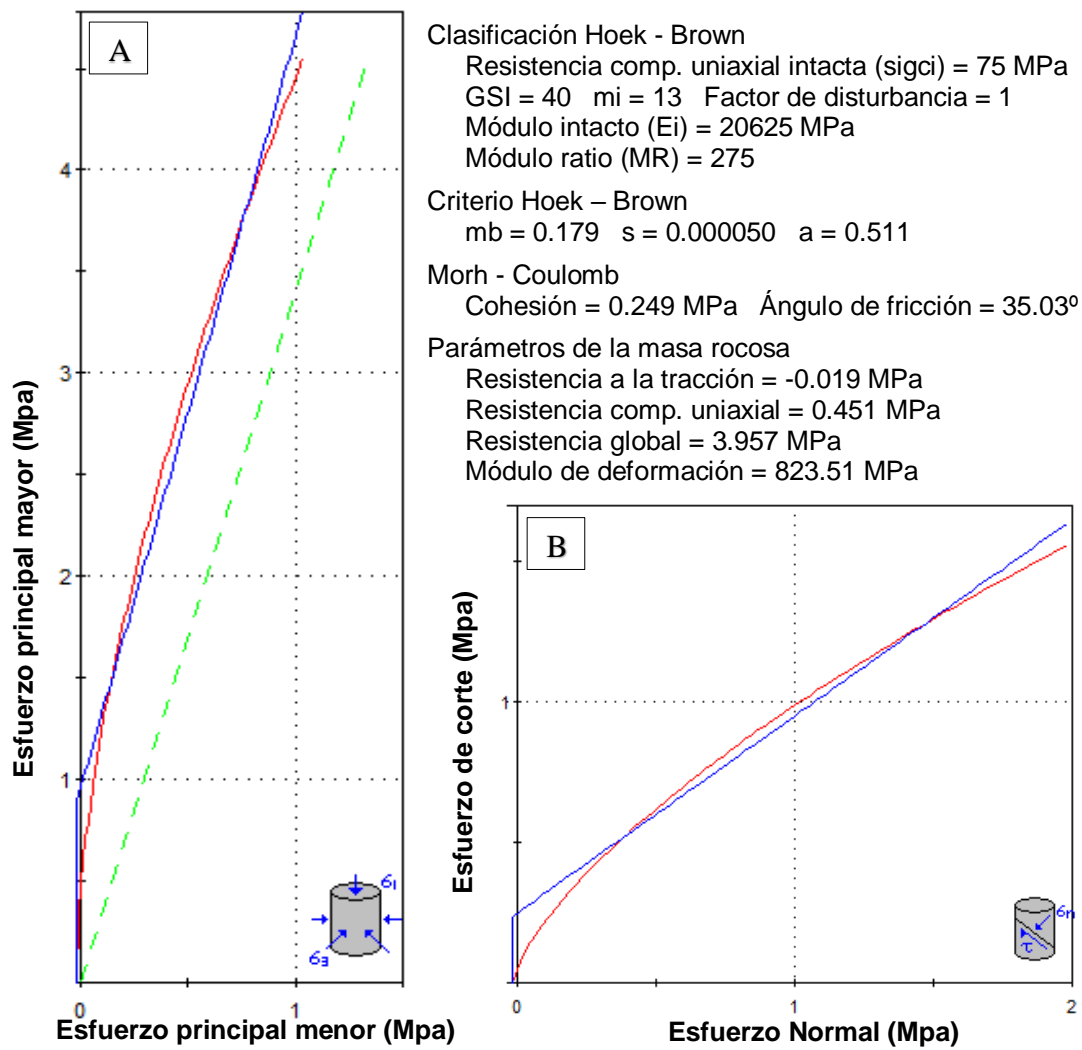
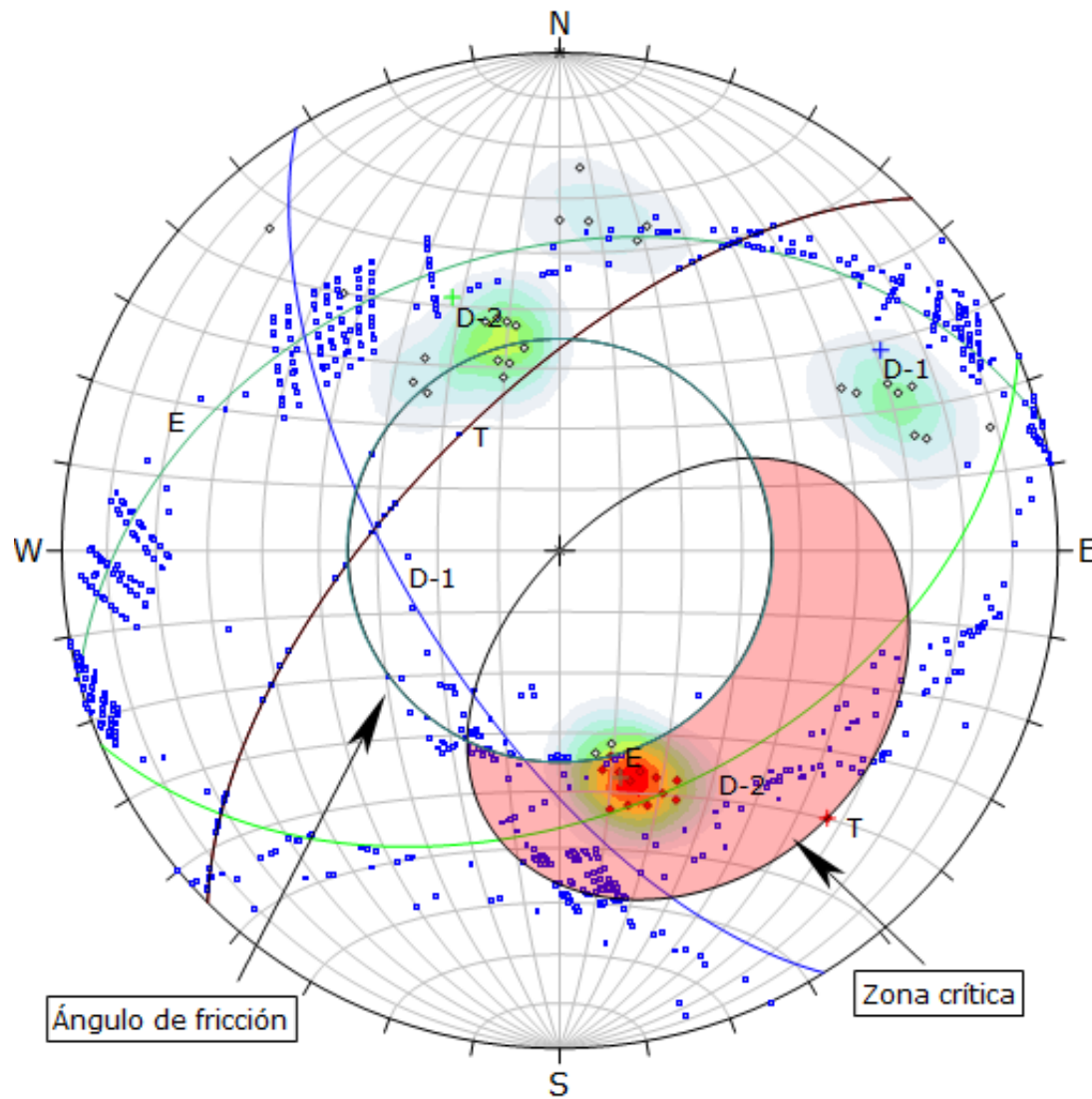


Figura 3.21. Estación 3: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación de esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density	27.12%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Planar siliding		
Slope dip	65°		
Slope Dip direction	315°		
Friction angle	35°		
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	13	41	31.71%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	39°	345°
2	■	65°	238°
3	■	46°	157°
4	■	65°	315°
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	41 (41 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	820		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.22. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 32%.

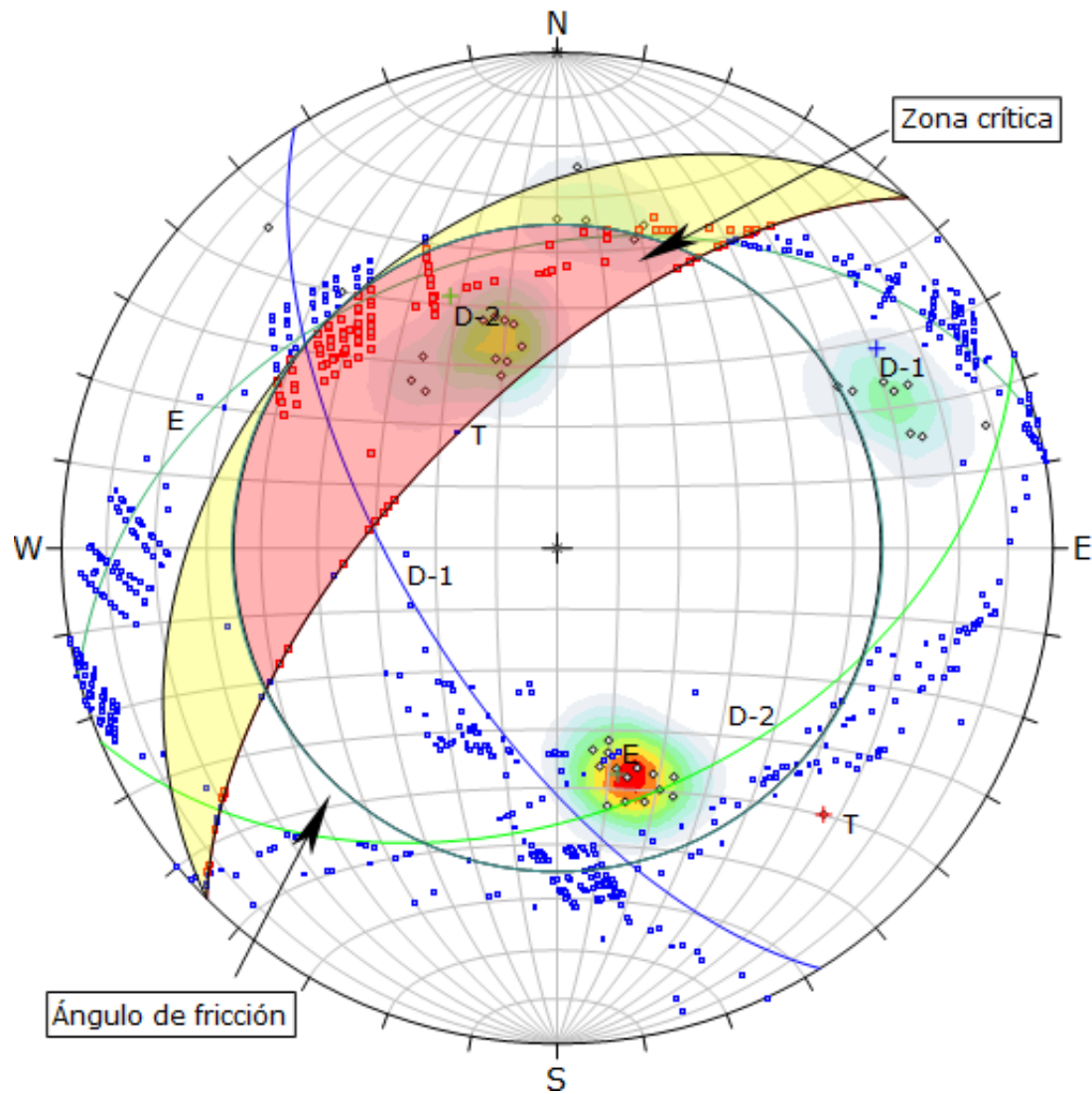
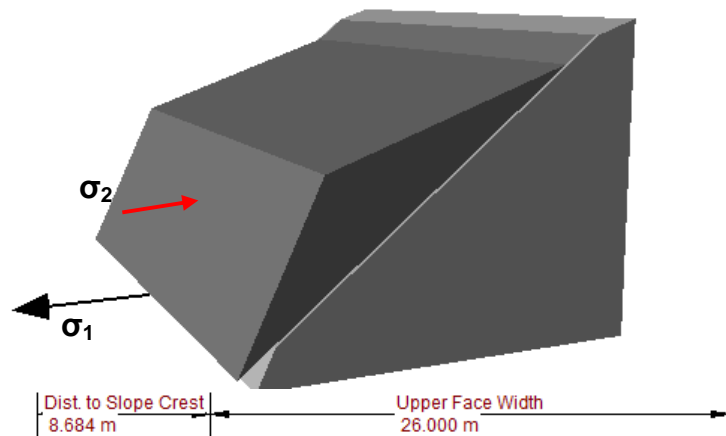


Figura 3.23. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 16%.

Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximun density		27.12%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		65°		
Slope Dip direction		315°		
Friction angle		35°		
		Critical	Total	%
Wedge sliding		128	820	15.61%
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	39°	345°	E
2	■	65°	238°	D-1
3	■	46°	157°	D-2
4	■	65°	315°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		41 (41 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		820		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Mediante el RocPlane y el Dips, se corroboró la inestabilidad que presenta este tramo geomecánico con $FS = 0.70$, logrando definir la caída de rocas en el mismo sentido de la estratificación con orientación de ruptura hacia el NNW, también la influencia del nivel freático con presión de agua de 1.123 T/m^2 . en la superficie de despegue de ruptura del plano inestabilizarse y la sismicidad ocasionada constantemente por los vehiculos por ser una via principal de acceso que afecta la estabilidad de este tramo.

A



B

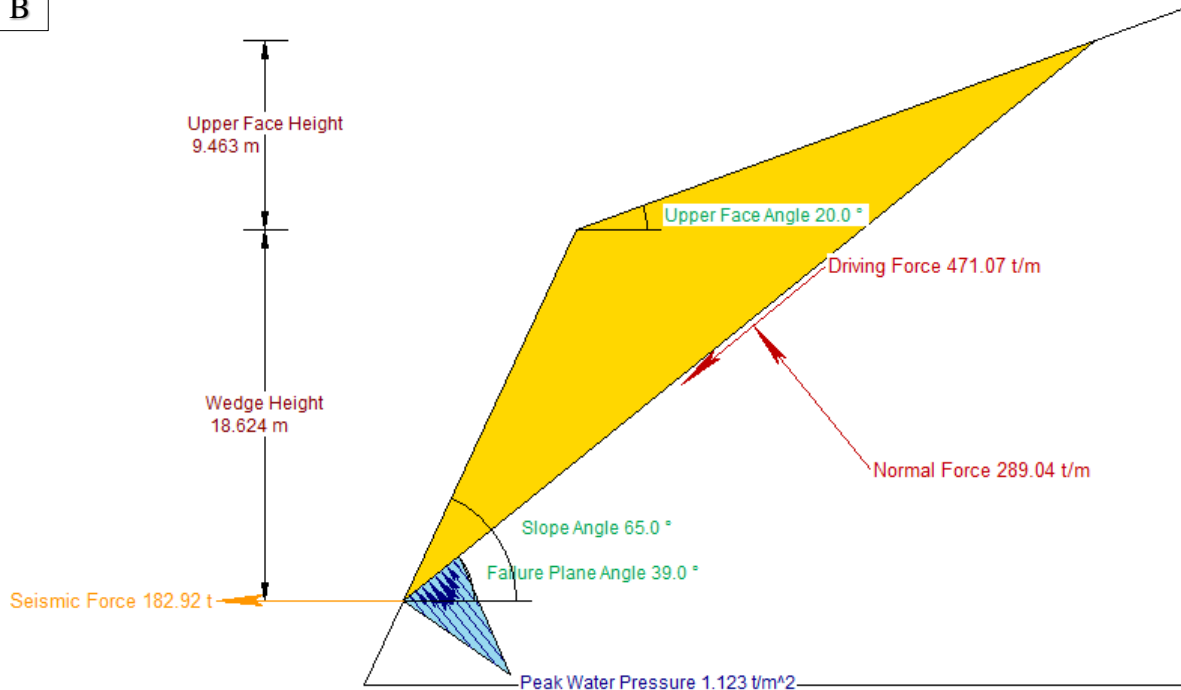
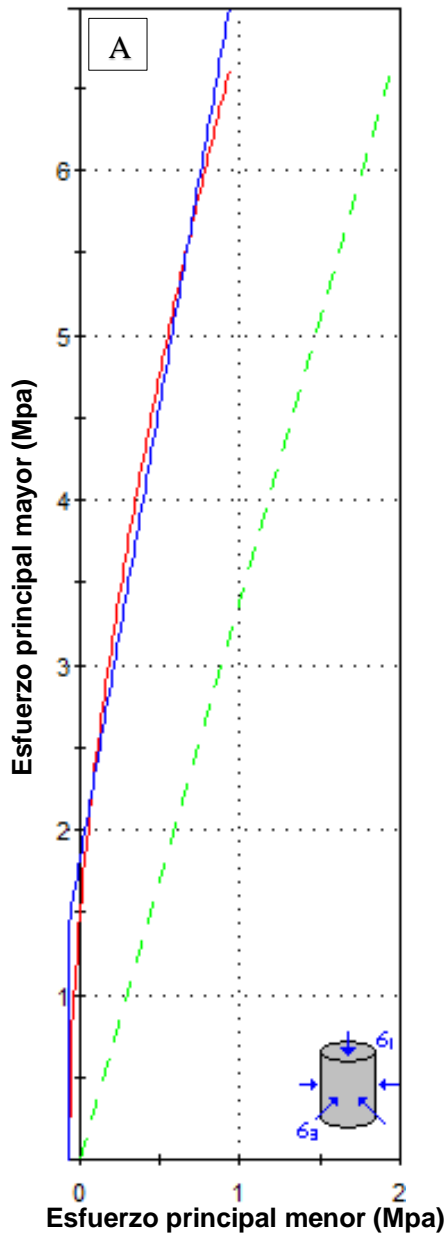


Figura 3.24. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con $FS = 0.70$, en la Estacion 03.

3.10.4. ESTACIÓN 04

El tramo 04 esta ubicado en una lomada, geomorfológicamente compuesto por areniscas blanquecinas de la Formacion Farrat, conformado por secuencias estratigráficas areniscosas de 60 cm. de espesor, con resistencia a la compresión uniaxial de 55MPa., moderadamente meteorizada y de mediano grado de fracturamiento. La geomecánica este tramo muestra diaclasamientos que definen el control estructural dominado por la orientación y buen trabado de las diaclasas en el macizo rocoso notándose claramente que el ángulo de fricción no corta a ninguna diaclasa estereograficamente. Así mismo las aberturas en el macizo rocoso muestra espaciamiento de 1 mm. a 5 mm. siendo controladas por los trabados que presenta, categorizándose con un RQD = 80%, como roca de buena calidad geotecnicamente.

La proyección estereográfica muestra probabilidades de estabilidad en el macizo rocosos con muy bajos resultados por el Dips como: la ruptura planar (7%) y cuña (10%). En la proyección de la ruptura planar muestra dos polos que enmarcan en la área de la zona crítica, no logrando generar la inestabilidad geotécnica por tipo de ruptura, sin embargo la ruptura por cuña muestran líneas de intersección (puntos) de color rojizo en marcados por la envolvente de luz y el ángulo de fricción, definiendo de esta manera áreas puntualizadas, en algunos están ubicados en la zona crítica inestabilidad y otros en la zona ocurrencia inestable, pero no generando zonas puntualizadas de inestabilidad pronunciada en el macizo rocoso. Por los resultados de probabilidad es un tramo estable por ambos análisis.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 55 MPa

GSI = 57 m_i = 13 Factor de disturbancia = 1

Módulo intacto (E_i) = 15125 MPa

Módulo ratio (MR) = 275

Criterio Hoek - Brown

m_b = 0.603 s = 0.0008 a = 0.504

Morh - Coulomb

Cohesión = 0.386 MPa Ángulo de fricción = 43.97°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.070 MPa

Resistencia comp. uniaxial = 1.490 MPa

Resistencia global = 5.696 MPa

Módulo de deformación = 1534.89 MPa

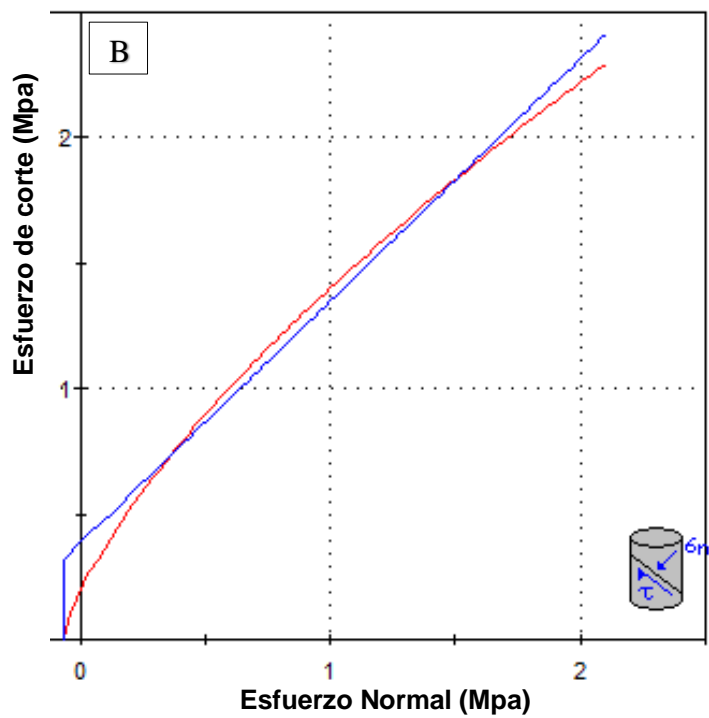


Figura 3.25. Estación 4: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación de esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.

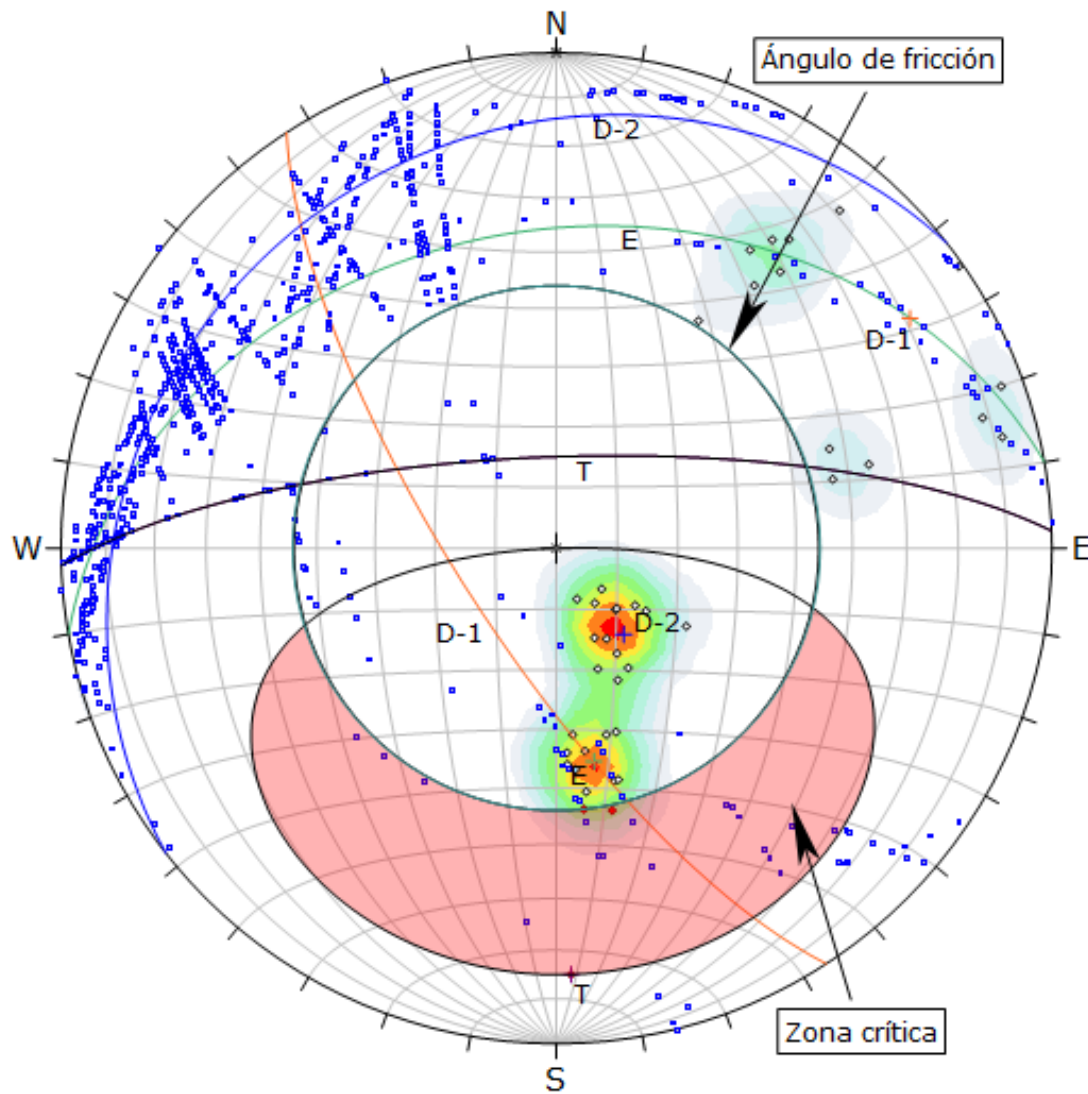
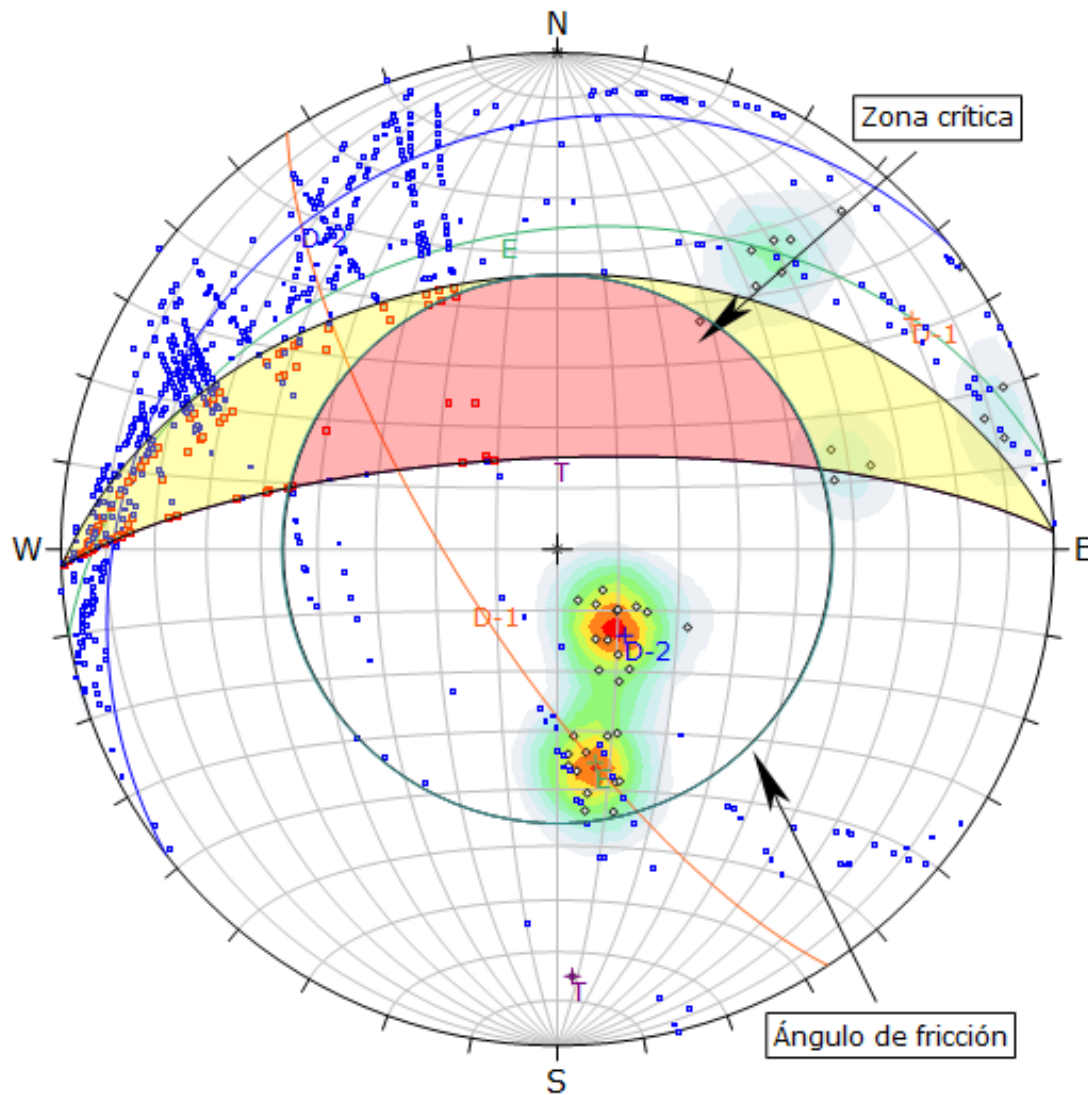


Figura 3.26. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 7%.

Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximum density	25.13%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Planar siliding		
Slope dip	75°		
Slope Dip direction	358°		
Friction angle	44°		
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	3	41	7.32%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	36°	350° E
2	■	74°	237° D-1
3	■	18°	322° D-2
4	■	75°	358° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	41 (41 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	820		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
■	Critical intersection		
□	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density	25.13%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Wedge sliding		
Slope dip	75°		
Slope Dip direction	358°		
Friction angle	44°		
	Critical	Total	%
Wedge sliding	84	820	10.24%
	Color	Dip	Dip direction
			Label
User planes			
1	■	36°	350° E
2	■	74°	237° D-1
3	■	18°	322° D-2
4	■	75°	358° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	41 (41 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	820		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.27. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 10%.

3.10.5. ESTACIÓN 05

Se ubica una curva cerrada de la carretera, presentado afloramientos rocosos de areniscas blanquesinas, moderadamente alteradas con resistencia a la compresión uniaxial 46 MPa., RQD = 65% y RMR = 45, definiéndose como de calidad regular el basamento rocoso y el grado de estabilidad inestabilidad que se encuentra en este tramo, evidenciándose gran acumulación de depósitos coluviales por los fragmentos de roca en el pie del talud, en algunos casos de grandes dimensiones 60 cm. a 70 cm. y en otros pequeños fragmentos de 15 cm. a 20 cm. de diámetro.

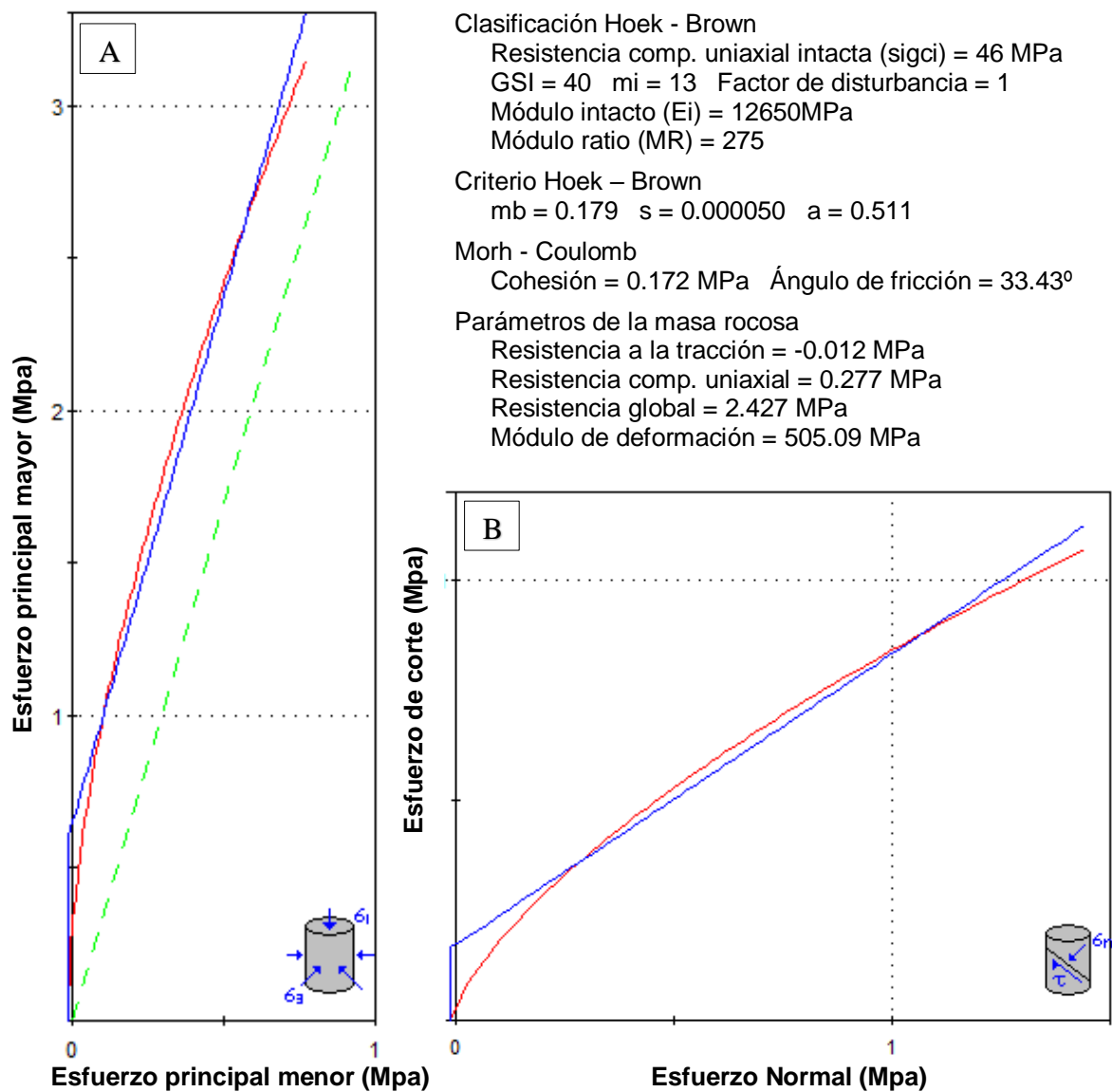
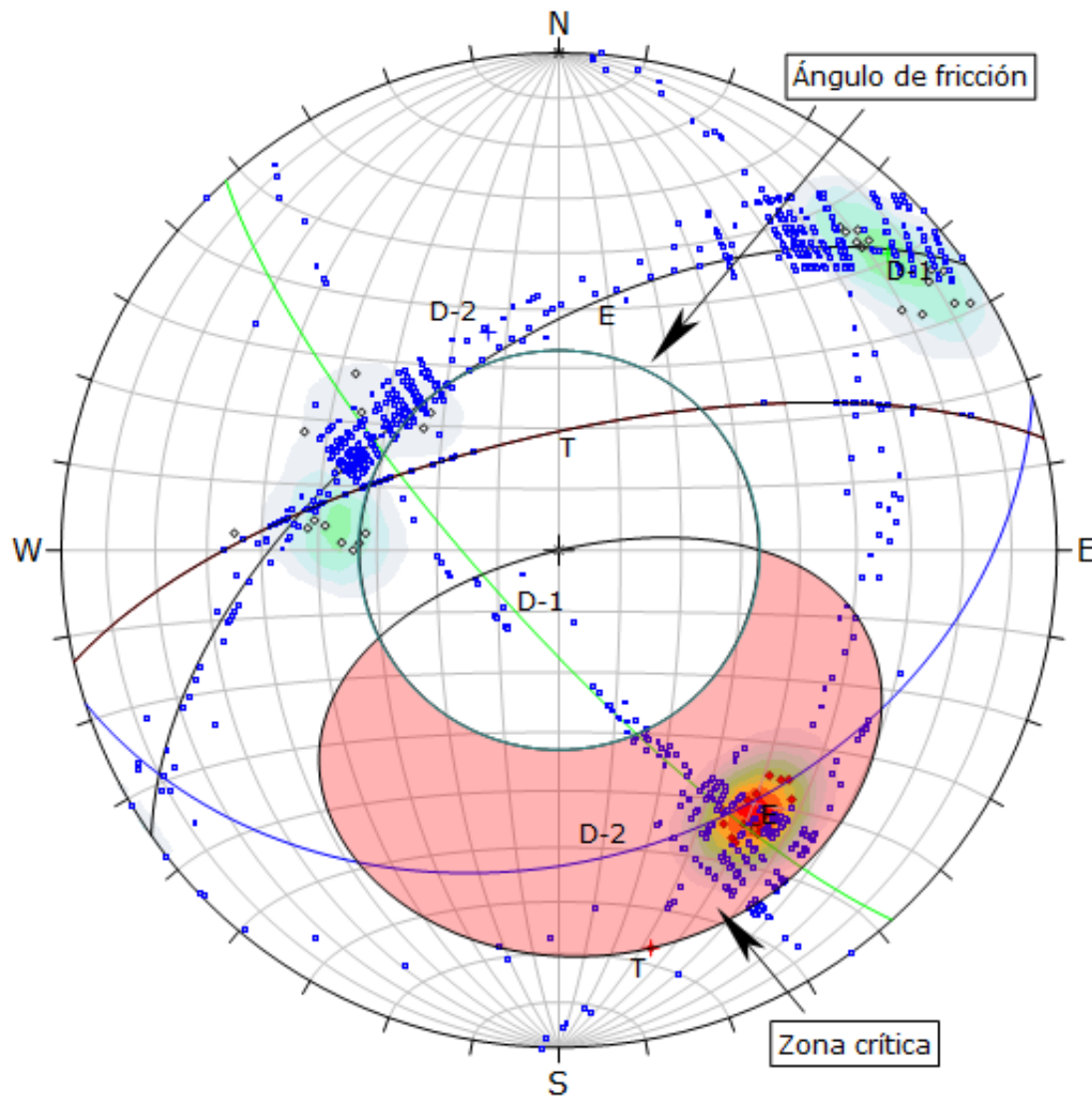
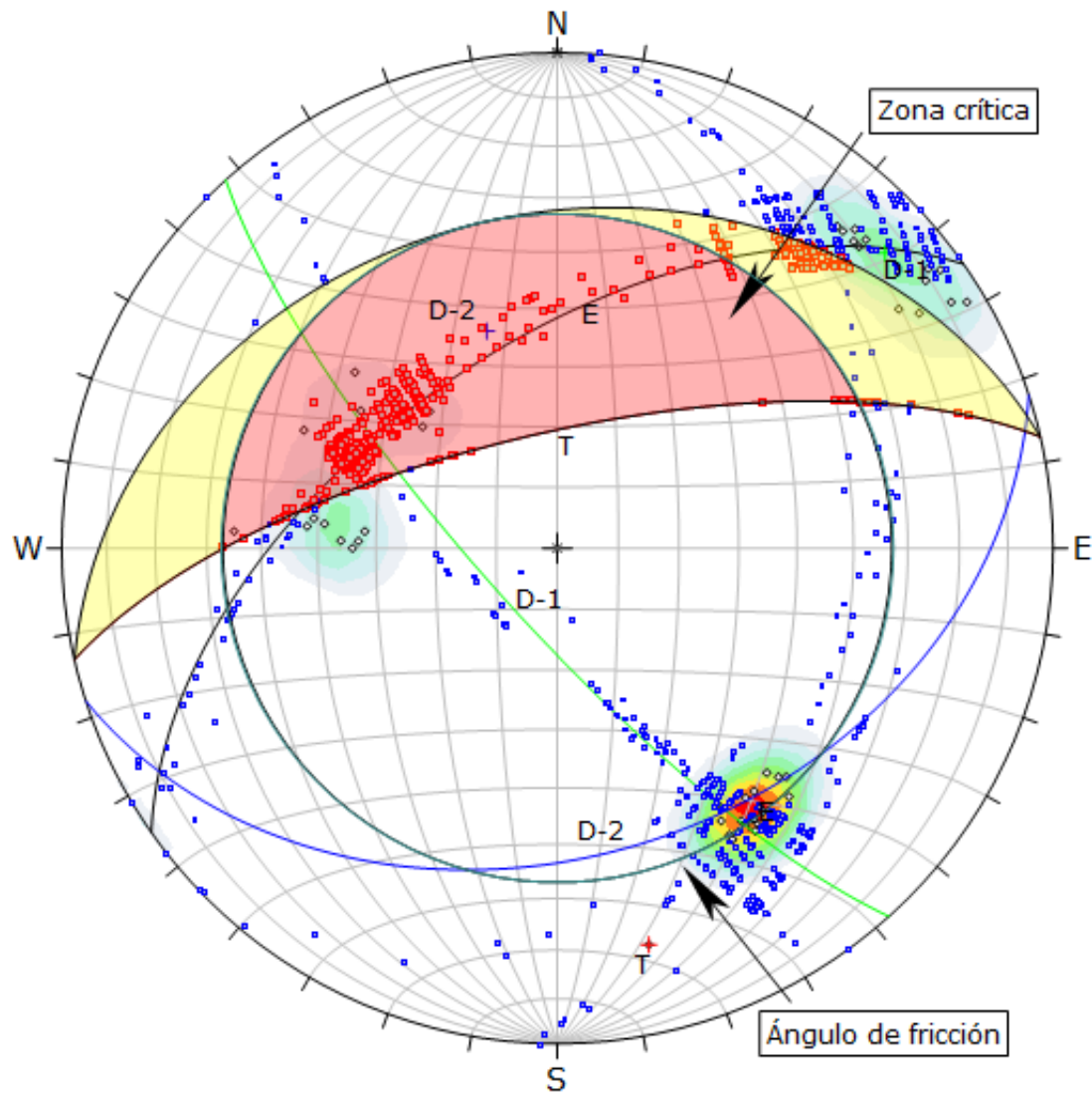


Figura 3.28. Estación 5: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación entre esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
◆	Critical vectors			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximun density		33.85%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Planar siliding		
Slope dip		71°		
Slope Dip direction		347°		
Friction angle		33°		
	Critical	Total	%	
Planar siliding (All)	18	45	40.00%	
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	57°	325°	E
2	■	78°	228°	D-1
3	■	38°	162°	D-2
4	■	71°	347°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		45 (45 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		989		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Figura 3.29. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 40%.



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximun density		33.85%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		71°		
Slope Dip direction		347°		
Friction angle		33°		
	Critical	Total	%	
Wedge sliding	418	989	42.26%	
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	57°	325°	E
2	■	78°	228°	D-1
3	■	38°	162°	D-2
4	■	71°	347°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		45 (45 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		989		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Figura 3.30. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 42%.

En las Figuras 3.29 – 3.30, aplicando el análisis cinemático muestran resultados de inestabilidad en ambos casos ya sea por ruptura: planar (40%) y en cuña (42%), ubicados en la zona crítica ya sea la estratificación a favor del talud en la ruptura planar y en cuña lo definen la línea de intersección la estratificación y la discontinuidad 1, ocasionando en ambos casos inestabilidades pronunciadas.

Estos datos fueron corroborados con el Swedge y RocPlane, reportando valores de inestabilidad por debajo de los resultados admisibles del FS de seguridad en rocas, como lo muestran las Figuras 3.31 – 3.32, en ambos casos definiendo la orientación de caída de rocas hacia el NNW.

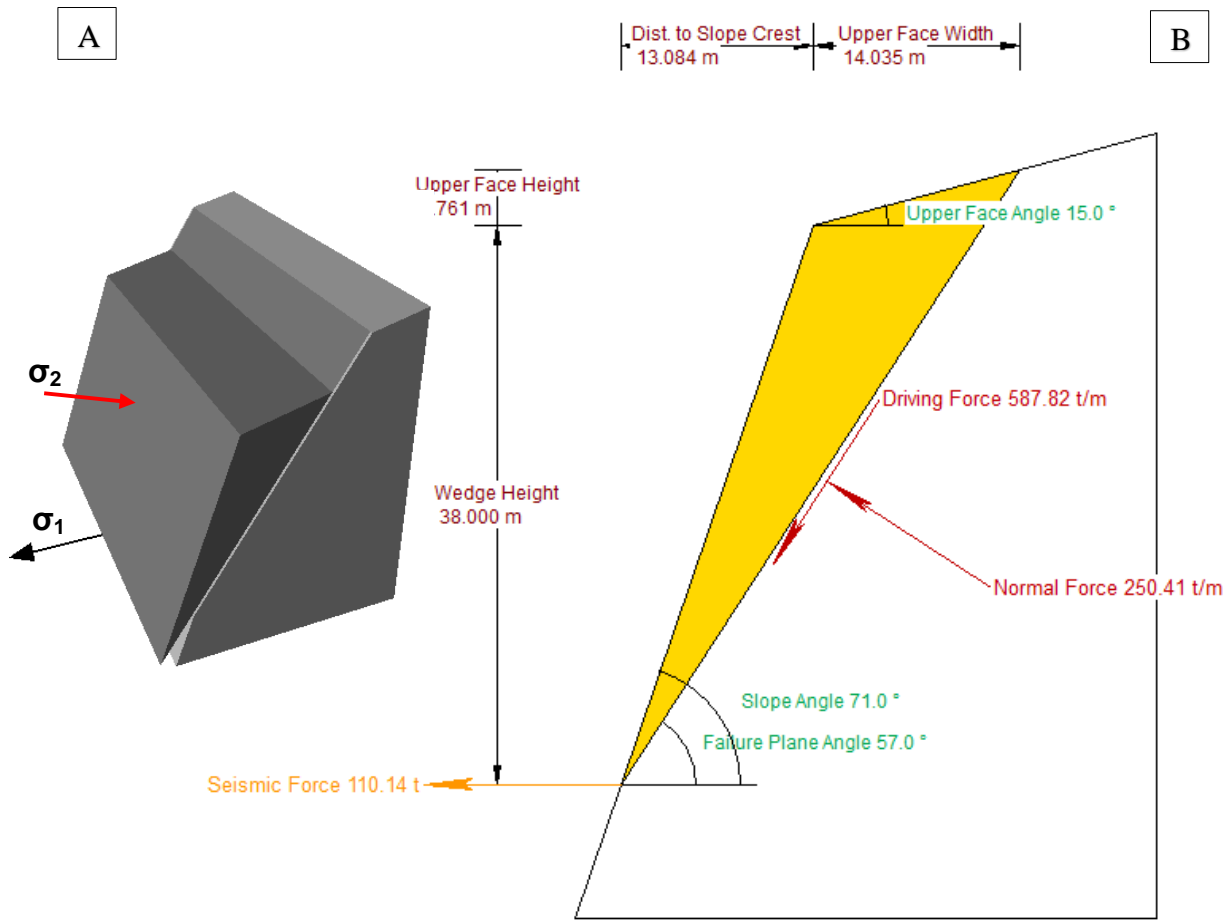


Figura 3.31. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con FS = 0.58, en la Estacion 05.

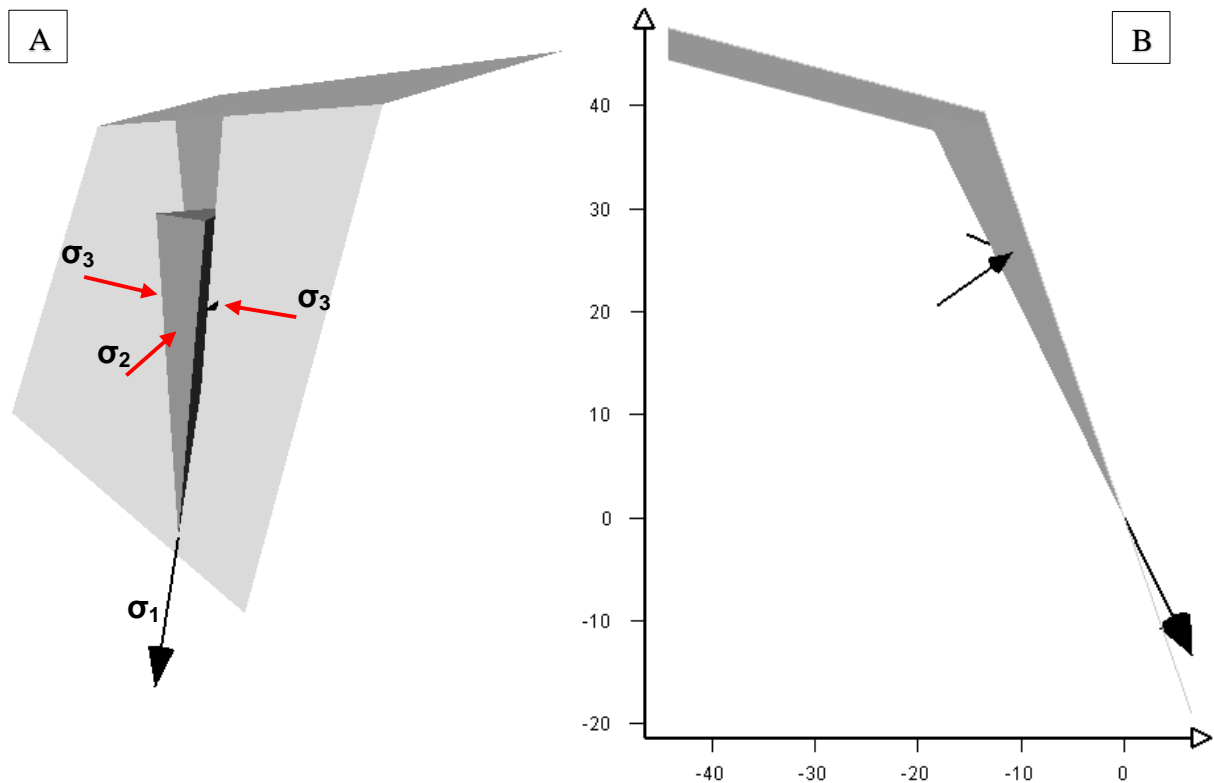


Figura 3.32. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura en cuña y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento y vectores de ruptura por análisis de ruptura en cuña, con FS = 0.92, en la Estacion 05.

3.10.6. ESTACIÓN 06

El tramo esta ubicado en rocas sedimentarias del Cretáceo Inferior de la Formación Farrat, con espesores de 35 cm. a 20 cm. de estratificación formando sus cuatro discontinuidades prismáticas en el macizo rocoso, presentando moderada meteorización. La resistencia a la compresión uniaxial es de 55 MPa (R4), RQD = 68%, RMR = 54 y GSI = 49; obteniendo geomecánicamente los parámetros geotécnicos de análisis e interpretación del basamento rocoso.

Utilizando el software RocData se definió los parámetros geotécnicos de la roca, con los datos obtenidos de campo para su correspondiente análisis y tratamiento de estos valores teniendo en consideración el criterio de Hoek y Brown, Morh – Coulomb, siendo muy importantes en el análisis numérico o matemático del macizo rocoso.

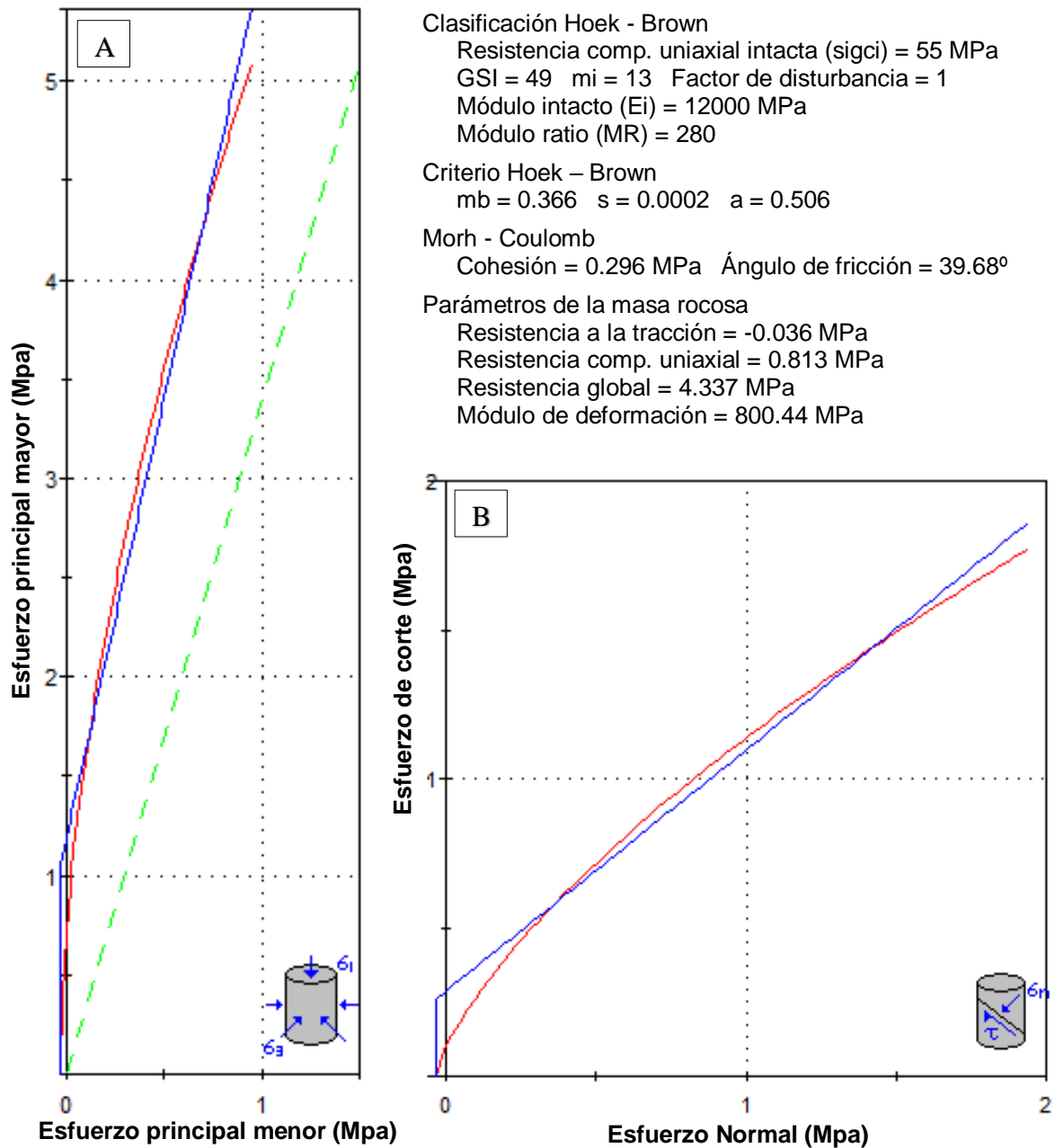
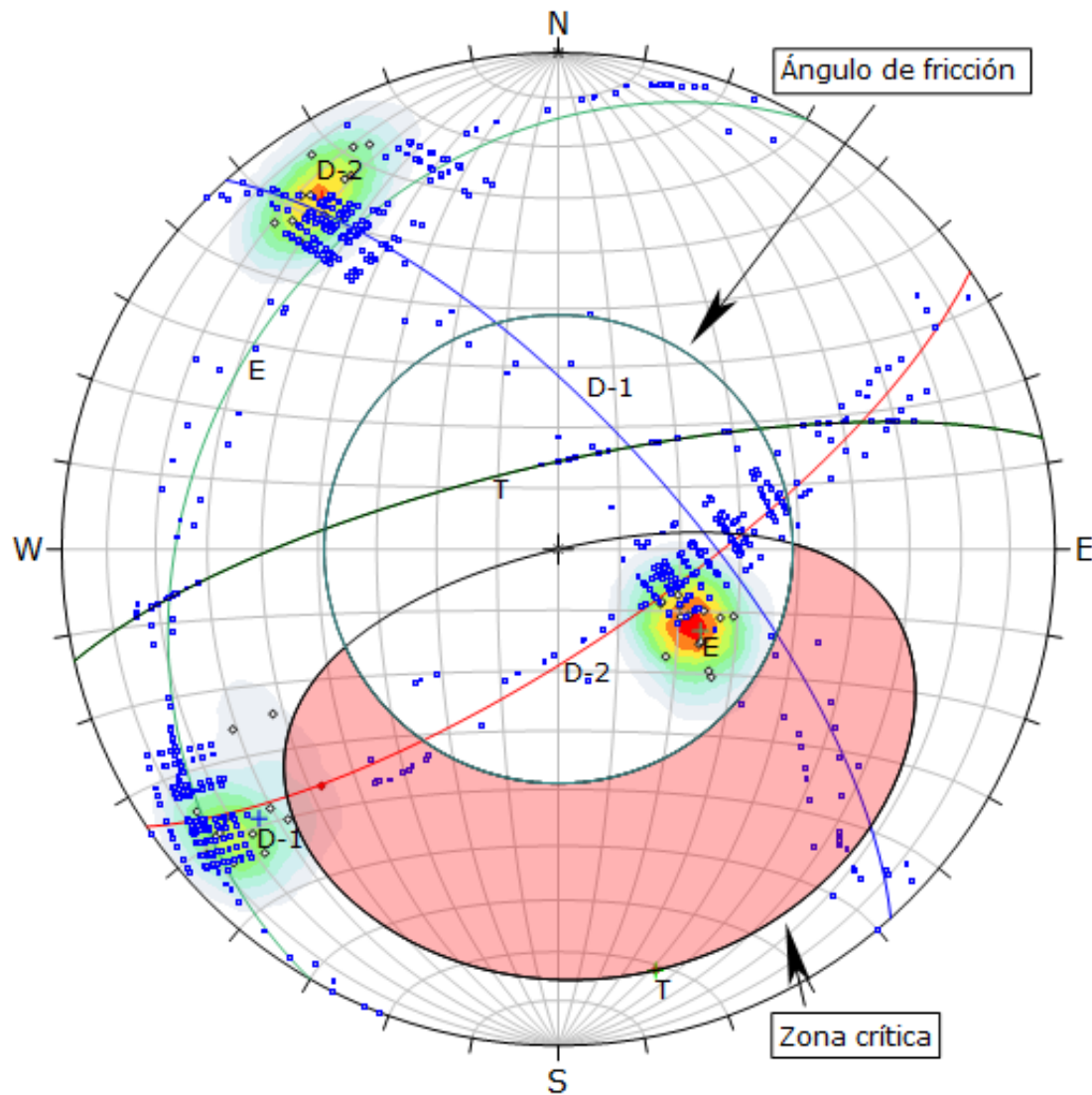


Figura 3.33. Estación 6. A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación entre esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.

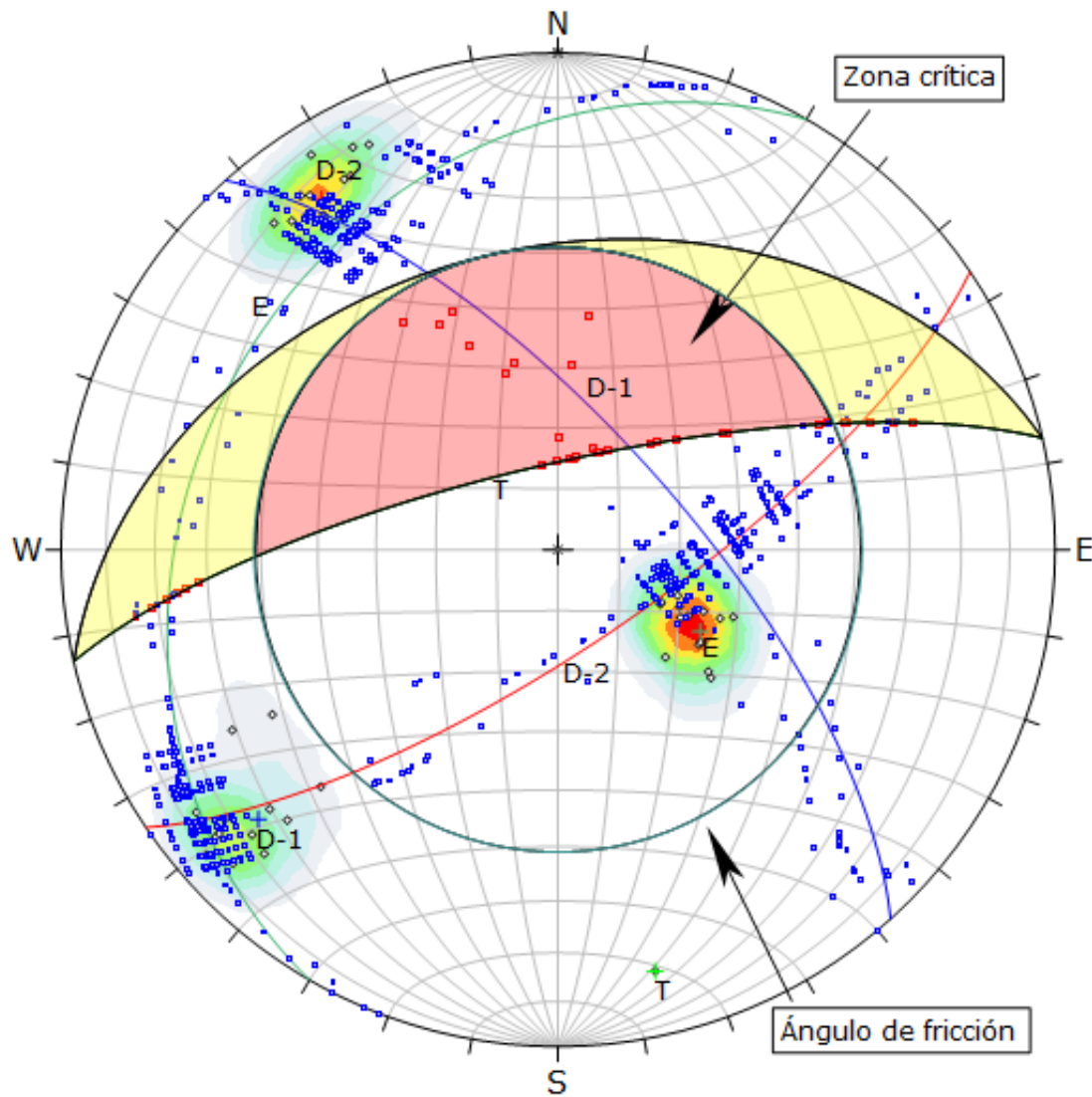
Aplicando el análisis cinemático de rupturas en macizos rocosos se llegó a determinar que presenta los dos tipos de rupturas: planares (5%) y en cuñas (5%), en este tramo siendo muy mínimos sus probabilidades de rupturas rocosas, no definiéndose como tramo crítico por las blocosidades que forma la cara libre del talud. La Figura 3.34, se muestra la área crítica (color rojo) solo enmarcándose un polo en esta zona de inestabilidades, pero no estando referenciado a los polos de las familias de análisis geomecánico.

La Figura 3.35, define varias intersecciones críticas que ocasionan ruptura en cuña, no generando inestabilidades predominantes en el talud. Sobre todo por no estar la línea de intersección principal entre la estratificación y discontinuidad 1, dentro de la zona de inestabilidad generado por el ángulo de fricción y la envolvente de luz con el talud (resaltada de color rojo), pero si formando rupturas en cuña con estabilidad aceptable.



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
◆	Critical vectors			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximum density	27.47%			
Contour data	Polo vectors			
Contour distribution	Fisher			
Counting circle size	1.00%			
Kinematic analysis	Planar siliding			
Slope dip	76°			
Slope Dip direction	347°			
Friction angle	39°			
	Critical	Total	%	
Planar siliding (All)	2	41	4.88%	
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	27°	300°	E
2	■	70°	48°	D-1
3	■	74°	146°	D-2
4	■	76°	347°	T
Plot Mode	Pole vectors			
Vector count	41 (41 entries)			
Intersection mode	Grid data planes			
Intersections count	820			
Hemisphere	Lower			
Projection	Equal area			

Figura 3.34. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 5%.



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximum density		27.47%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		76°		
Slope Dip direction		347°		
Friction angle		39°		
		Critical	Total	%
Wedge sliding		38	820	4.63%
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	27°	300°	E
2	■	70°	48°	D-1
3	■	74°	146°	D-2
4	■	76°	347°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		41 (41 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		820		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Figura 3.35. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 5%.

3.10.7. ESTACIÓN 07

Este tramo está ubicado en el flanco derecho del anticlinal Piedra Grande, como cambio geoestructural de plegamiento por sus condiciones estructurales, definiendo al macizo rocoso como de categoría R3 (42 MPa.) por sus condiciones moderadamente meteorizadas, bloques y capas, y por sus propiedades de las discontinuidades que presenta, siendo lo predominante la persistencia de proyección geoestructural en todo el basamento rocoso, por sus tres familias de discontinuidades, ocasionando en muchos de los casos grietas tracción que superan los 5 mm. entre planos de discontinuidades y por presentar humedad constantes cerca al pie del talud.

La Figura 3.37, muestra un elevado valor de probabilidad de ruptura planar (40%) en el macizo rocoso ocasionando, constantes inestabilidades de caídas de rocas, generados depósitos coluviales en la base del talud, relacionado con la discontinuidad 1, realizando el análisis mediante el RocPlane muestra resultados de inestabilidad con $FS = 0.74$. En cambio la Figura 3.38, muestra que la probabilidad de falla de ruptura en cuña es de 19%, por la línea de intersección estar fuera de la zona crítica, reportando resultados bajos para la inestabilidad por este tipo de ruptura.

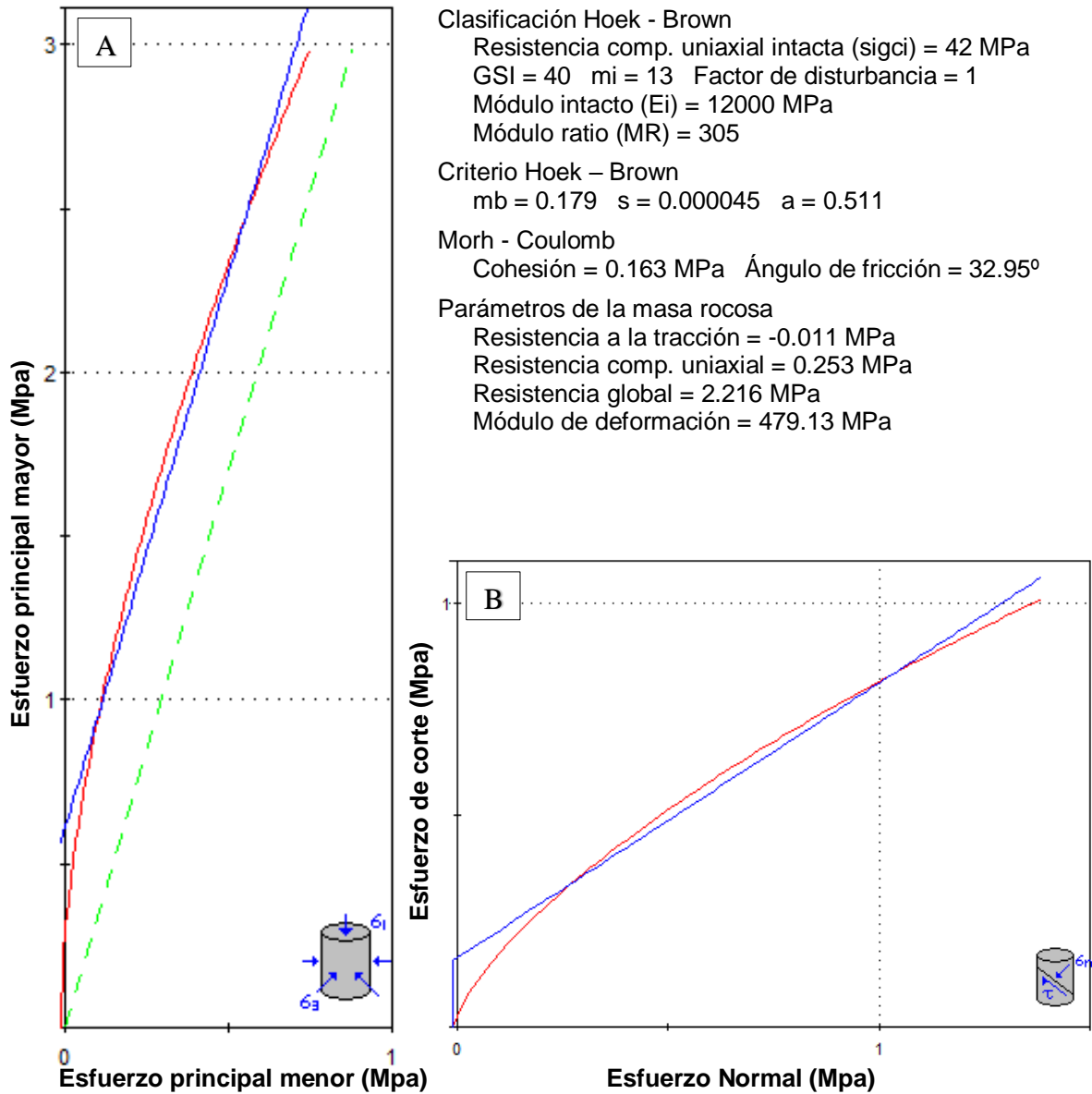
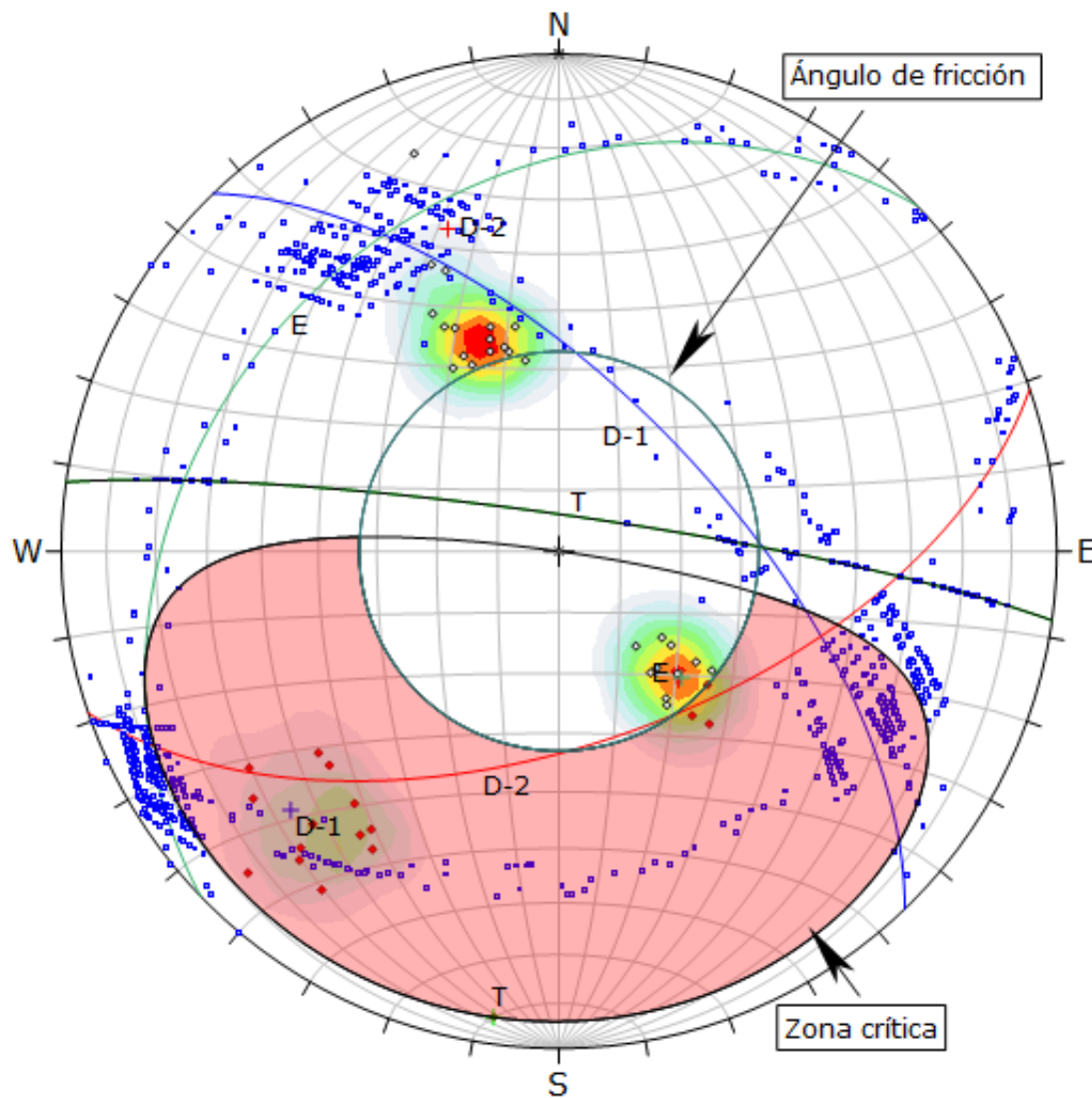
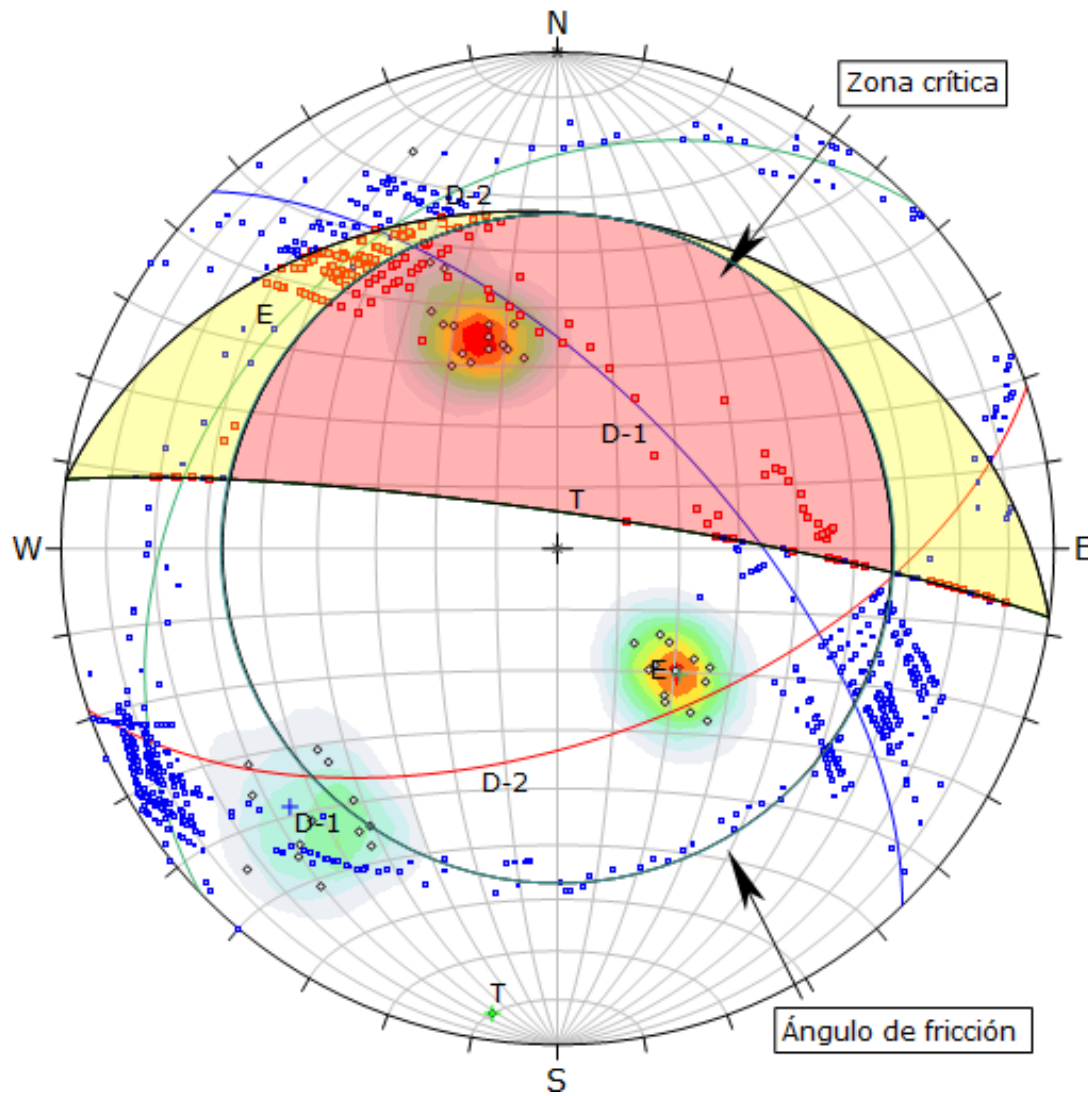


Figura 3.36. Estación 7. A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación entre esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density		24.38%	
Contour data		Polo vectors	
Contour distribution		Fisher	
Counting circle size		1.00%	
Kinematic analysis		Planar siliding	
Slope dip		84°	
Slope Dip direction		8°	
Friction angle		33°	
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	17	43	39.53%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	29°	316°
2	■	64°	46°
3	■	58°	161°
4	■	84°	8°
Plot Mode		Pole vectors	
Vector count		43 (43 entries)	
Intersection mode		Grid data planes	
Intersections count		903	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal area	

Figura 3.37. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 40%.



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximun density	24.38%			
Contour data	Polo vectors			
Contour distribution	Fisher			
Counting circle size	1.00%			
Kinematic analysis	Wedge sliding			
Slope dip	84°			
Slope Dip direction	8°			
Friction angle	33°			
	Critical	Total	%	
Wedge sliding	176	903	19.49%	
	Color	Dip	Dip direction	
	User planes			
1	■	29°	316°	E
2	■	64°	46°	D-1
3	■	58°	161°	D-2
4	■	84°	8°	T
Plot Mode	Pole vectors			
Vector count	43 (43 entries)			
Intersection mode	Grid data planes			
Intersections count	903			
Hemisphere	Lower			
Projection	Equal area			

Figura 3.38. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 19%.

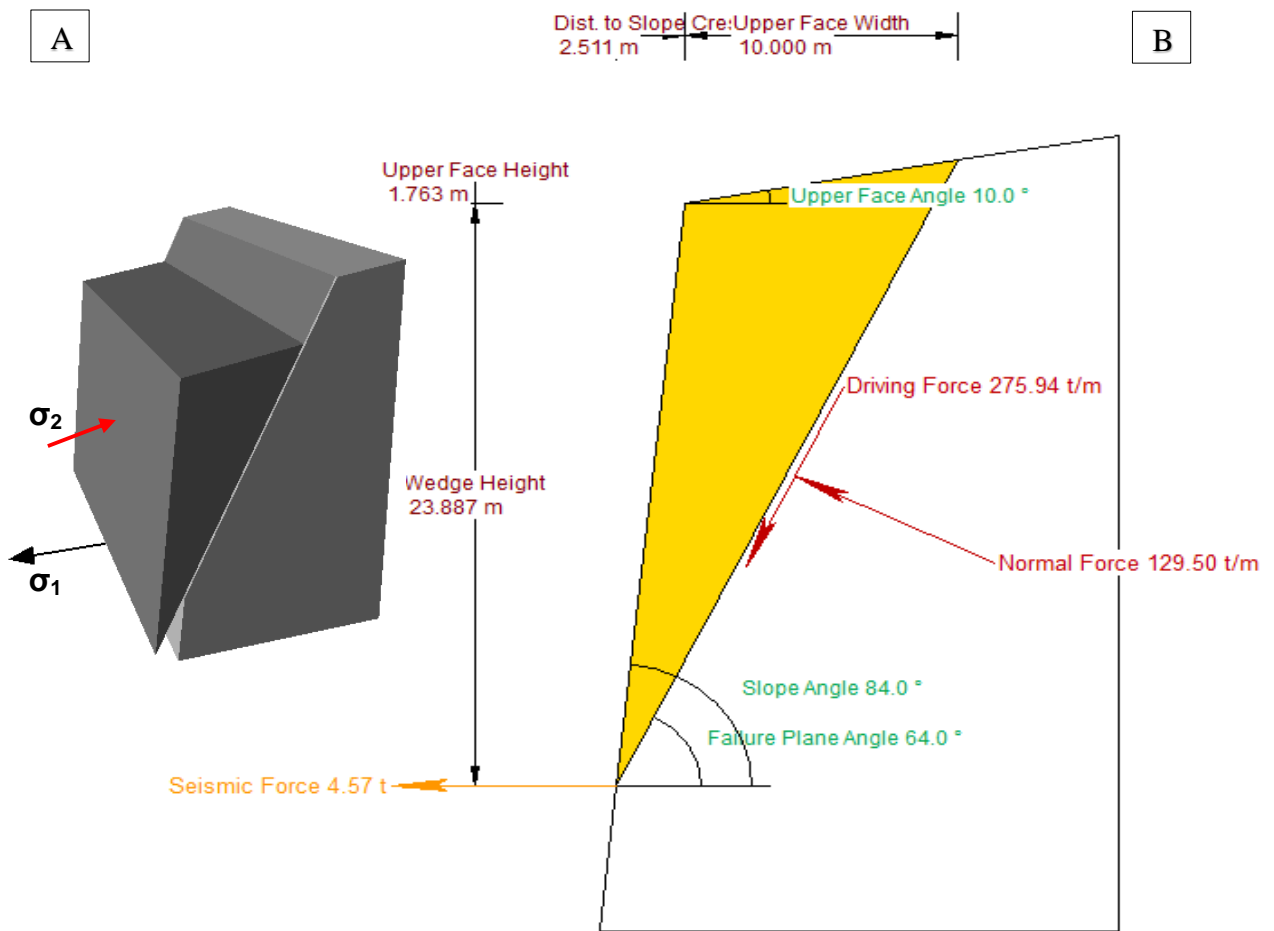
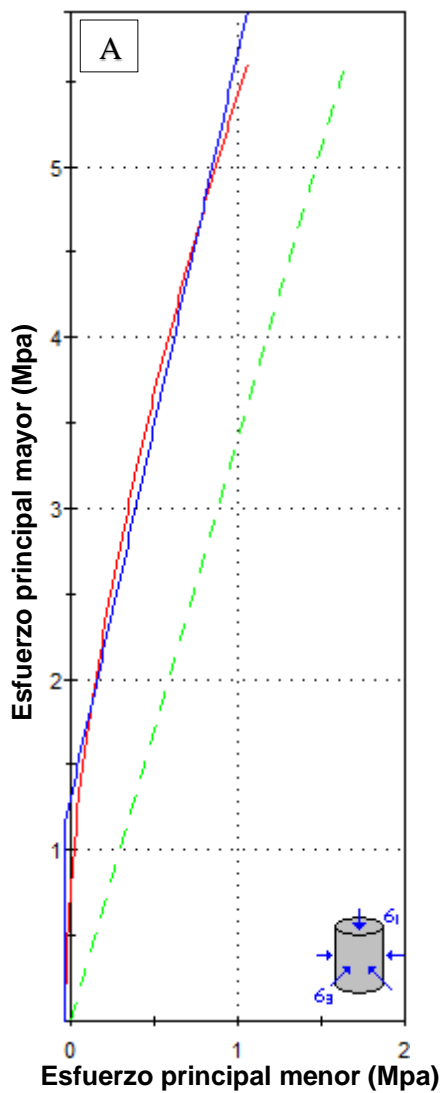


Figura 3.39. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con FS = 0.74, en la Estación 07.

3.10.8. ESTACIÓN 08

Se ubica en el flanco izquierdo del anticlinal de la Formación Farrat, estando compuesto por intercalaciones de estratos de areniscas de grano fino de potencia 20 cm. a 25 cm. y lutitas de 10 cm. a 15 cm., presentando en su superficie rocosa constante humedad en relación de los otros tramos analizados, siendo el tramo de mayor humedad y en muchos de los casos flujo de agua, ocasionado meteorizaciones aceleradas en el basamento rocoso y sobre todo en la cara libre del talud. El cartografiado geotécnico lo ubica como de categoría R4 (75 MPa.), formando en su superficie estructuras blocosas romboedricas por las familias de discontinuidades que presenta el macizo rocoso y grado de alteración.



Clasificación Hoek - Brown

Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 75 MPa

GSI = 45 m_i = 13 Factor de disturbancia = 1

Módulo intacto (E_i) = 25875 MPa

Módulo ratio (MR) = 345

Criterio Hoek - Brown

m_b = 0.256 s = 0.0001 a = 0.508

Morh - Coulomb

Cohesión = 0.299 MPa Ángulo de fricción = 38.19°

Parámetros de la masa rocosa

Resistencia a la tracción = -0.031 MPa

Resistencia comp. uniaxial = 0.712 MPa

Resistencia global = 4.853 MPa

Módulo de deformación = 608.30 MPa

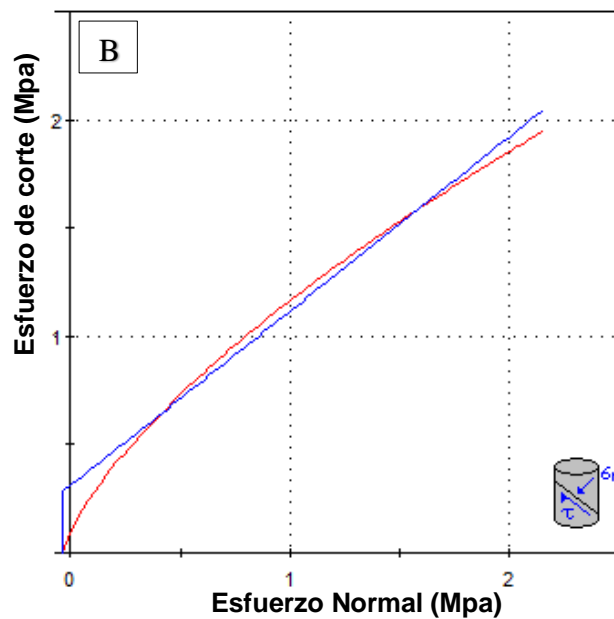
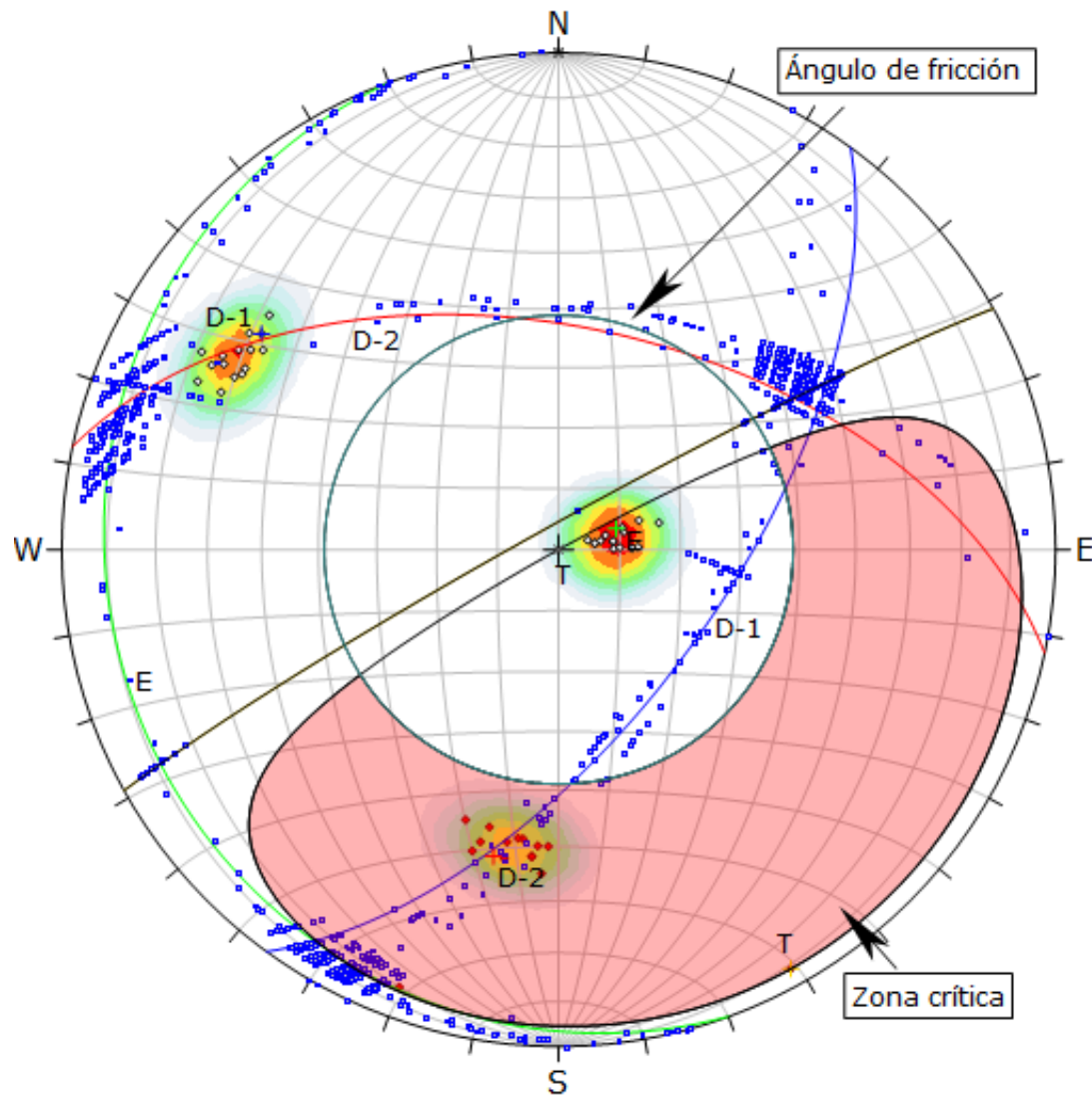
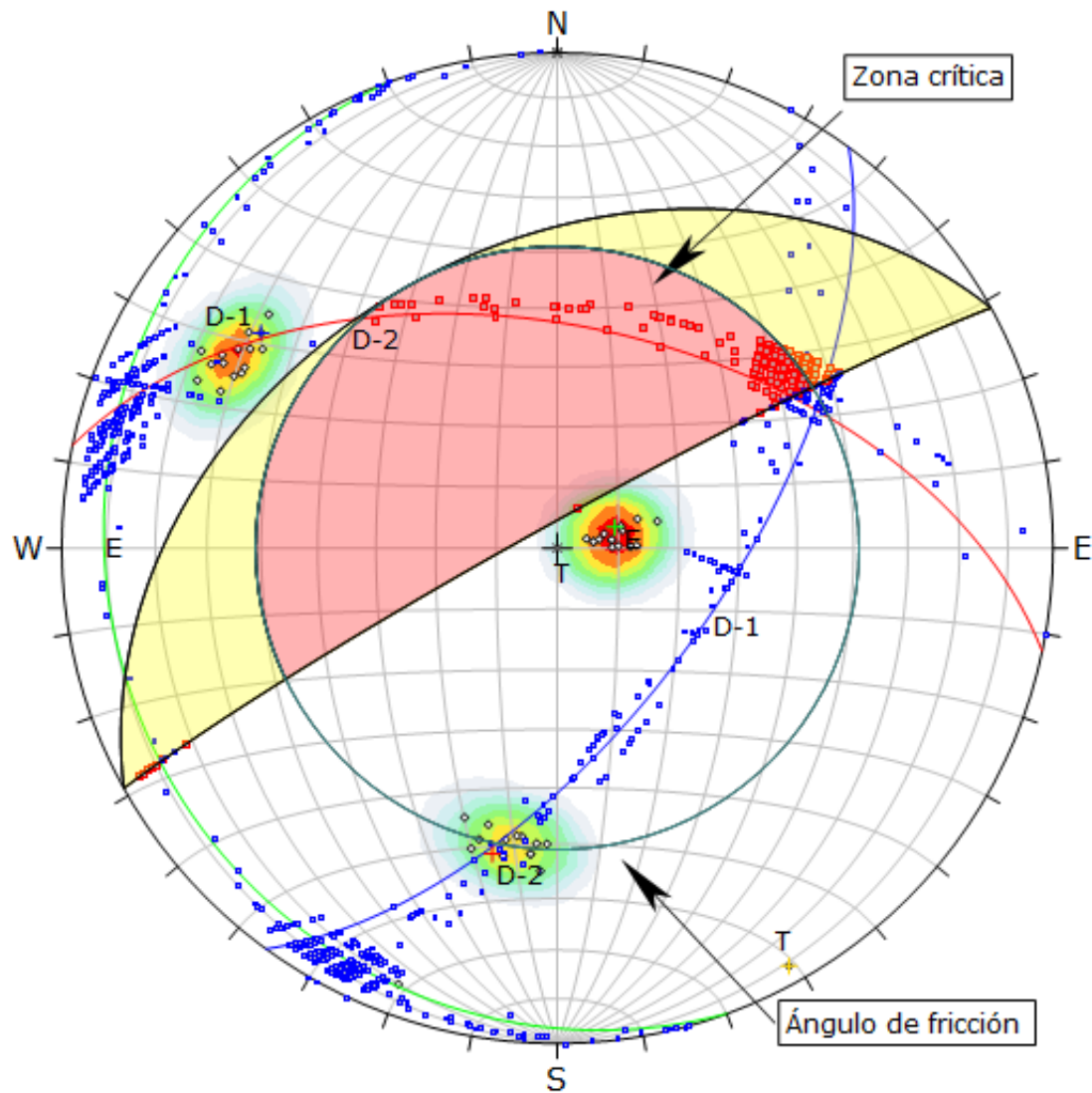


Figura 3.40. Estación 8: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación entre esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density	31.25%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Planar siliding		
Slope dip	86°		
Slope Dip direction	331°		
Friction angle	39°		
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	15	45	33.33%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	10°	250° E
2	■	63°	126° D-1
3	■	53°	12° D-2
4	■	86°	331° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	45 (45 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	988		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.41. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 33%.



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximun density		31.25%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		86°		
Slope Dip direction		331°		
Friction angle		39°		
		Critical	Total	%
Wedge sliding		214	988	21.66%
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	10°	250°	E
2	■	63°	126°	D-1
3	■	53°	12°	D-2
4	■	86°	331°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		45 (45 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		988		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Figura 3.42. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 22%.

La proyección estereográfica de las Figuras 3.41 – 3.42, muestran resultados de inestabilidad, por la probabilidad de ruptura planar de 33% en función de la discontinuidad 2 como junta predominante por cumplir este tipo de ruptura en relación del polo de ubicación en la zona crítica. En cambio la ruptura en cuña muestra varios planos de intersección en la zona crítica generando cuñas de inestabilidad con baja probabilidad de ruptura, por no estar ubicado sobre todo los planos principales de intersección de la discontinuidad 1 - 2.

La Figura 3.43 muestra la ruptura planar con un FS = 1.12, observándose la distribución de presiones hidrostáticas en el plano de despegue, actuando perpendicularmente a superficie de ruptura, definiéndolo como tramo crítico por las constantes inestabilidades se me muestra en esta zona.

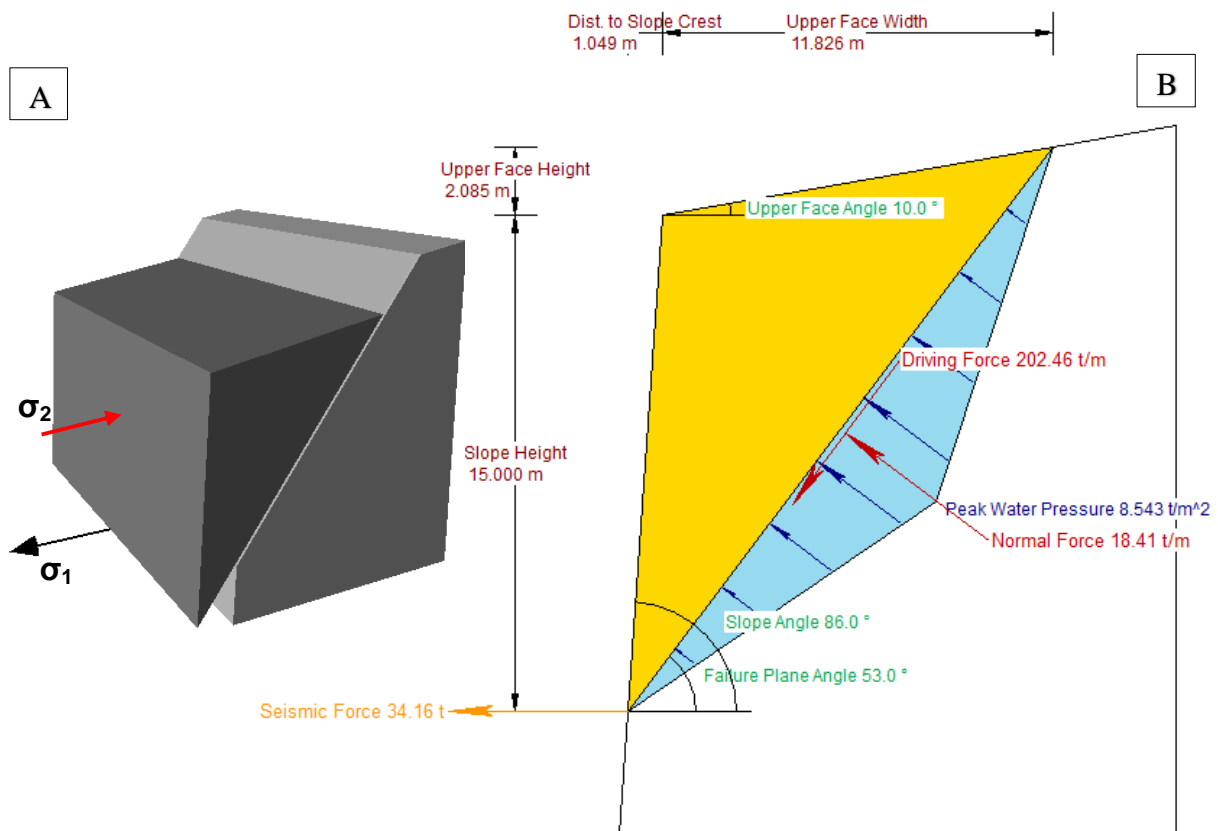
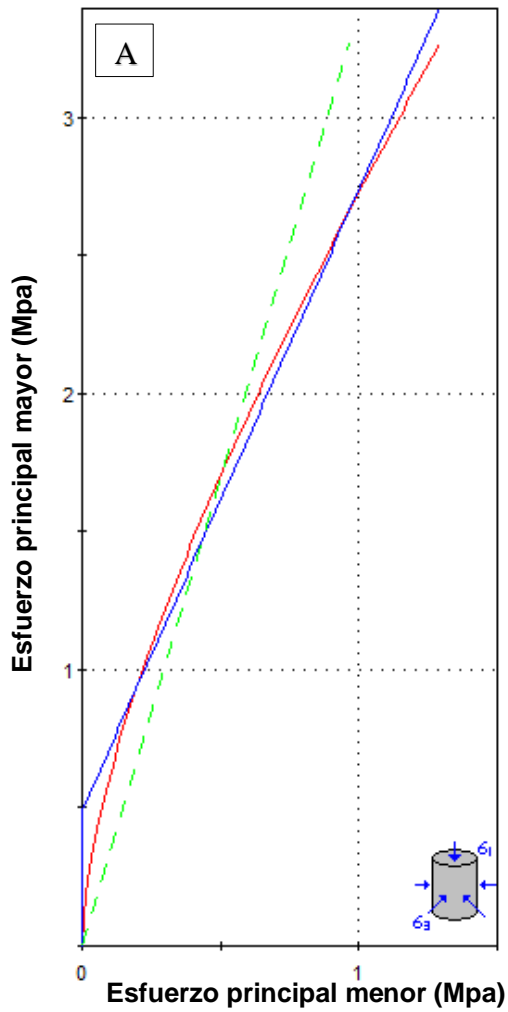


Figura 3.43. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con FS = 1.12, en la Estacion 08.

3.10.9. ESTACIÓN 09

Se ubica en el flanco izquierdo de la carretera, litológicamente ubicado en el Volcánico Chilete compuesto de roca andesita altamente meteorizada, definida en términos mineralógicos como una roca traquiandesita por su alta alteración, siendo evaluada como zona crítica por la altura que presenta el talud, la falla geológica predominante que corta a las geoestructuras del talud, al mismo tiempo el grado de meteorización, alto grado de alteración y contenido de humedad que sigue siendo expuesto el macizo rocoso. El cartografiado geotécnico con la descripción anterior definió que la resistencia a la compresión uniaxial es de 28 MPa. (R4), con grosores o potencias de pseudo-estratificación 20 cm. a 6 cm. como valor promedio, también con aberturas mayores a 5 mm. entre diaclasas con superficie de aspereza de: rugosa a ondulada lisa con juntas muy alteradas en todo el macizo rocoso.

La cinemáticamente se define que las geoestructuras muestran probabilidades de inestabilidad por ambos casos de rupturas: planares (50%) y en cuñas (61%), superando el porcentaje de probabilidad de falla cinemática requerida. Siendo fundamental en este tramo estabilizar siguiendo los parámetros geomecánicos del análisis de campo para que no sigan ocurriendo caídas de rocas con procesos mas acelerados de alteración y meteorización física y química en el macizo rocoso. La ruptura planar se relaciona con la pseudo-estratificación y la discontinuidad 2 de las traquiandesitas. En cambio la ruptura en cuña presenta una gama de intersecciones de planos de ruptura y tamaños de cuñas: discontinuidad 1 vs. 2, 2 vs. 3, pseudoestratif. vs. discontinuidad 2 y pseudoestratif. vs. discontinuidad 1.



Clasificación Hoek - Brown
 Resistencia comp. uniaxial intacta (σ_{ci}) = 28 MPa
 GSI = 30 m_i = 20 Factor de disturbancia = 1
 Módulo intacto (E_i) = 8400 MPa
 Módulo ratio (MR) = 300

Criterio Hoek - Brown
 m_b = 0.135 s = 0.000086 a = 0.522

Morh - Coulomb
 Cohesión = 0.165 MPa Ángulo de fricción = 22.55°

Parámetros de la masa rocosa
 Resistencia a la tracción = -0.002 MPa
 Resistencia comp. uniaxial = 0.063 MPa
 Resistencia global = 1.186 MPa
 Módulo de deformación = 338.69 MPa

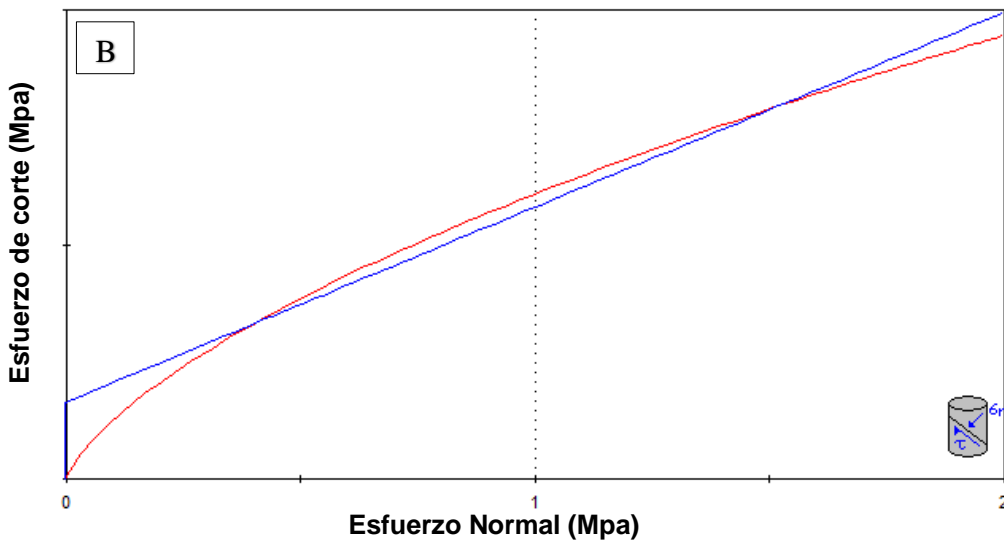


Figura 3.44. Estación 9: A. Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación entre esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.

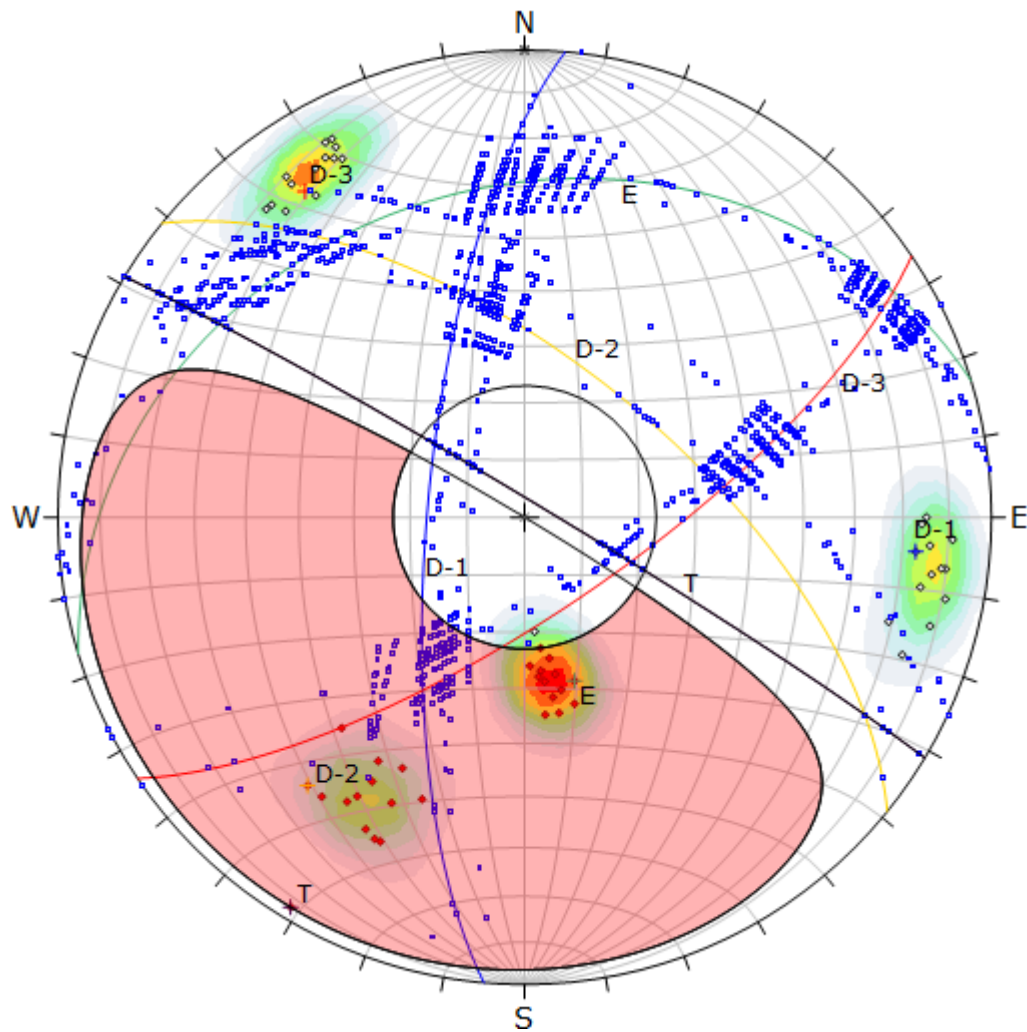
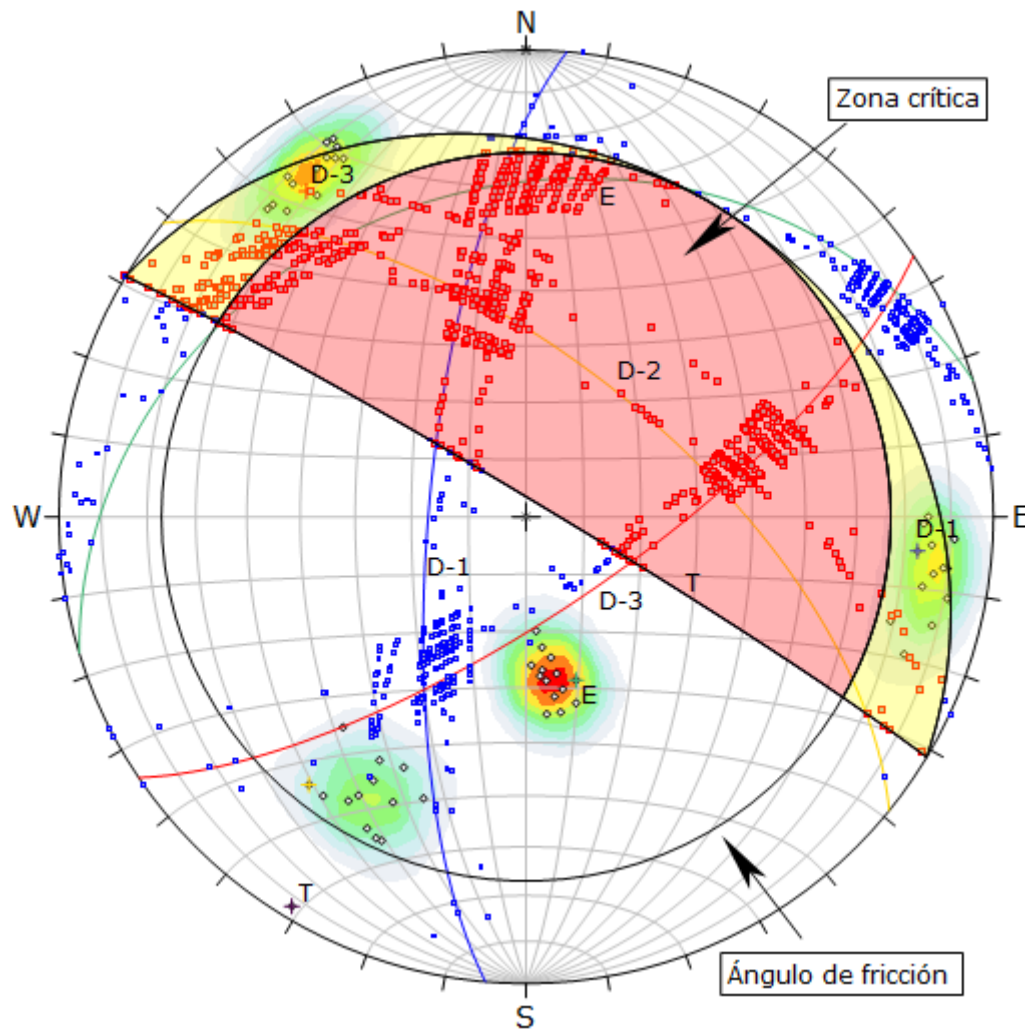


Figura 3.45. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 50%.

Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
◆	Critical vectors			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximun density		22.09%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Planar siliding		
Slope dip		87°		
Slope Dip direction		31°		
Friction angle		23°		
	Critical	Total	%	
Planar siliding (All)	27	54	50.00%	
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	30°	343°	E
2	■	73°	275°	D-1
3	■	63°	39°	D-2
4	■	73°	146°	D-3
5	■	87°	31°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		54 (54 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		1431		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximun density		22.09%		
Contour data		Polo vectors		
Contour distribution		Fisher		
Counting circle size		1.00%		
Kinematic analysis		Wedge sliding		
Slope dip		87°		
Slope Dip direction		31°		
Friction angle		23°		
		Critical	Total	%
Wedge sliding		878	1431	61.36%
	Color	Dip	Dip direction	Label
User planes				
1	■	30°	343°	E
2	■	73°	275°	D-1
3	■	63°	39°	D-2
4	■	73°	146°	D-3
5	■	87°	31°	T
Plot Mode		Pole vectors		
Vector count		54 (54 entries)		
Intersection mode		Grid data planes		
Intersections count		1431		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal area		

Figura 3.46. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 61%.

La aplicando los modelos numéricos se logro definir que también presenta inestabilidades complementado con el RocPlane (FS = 1.11) y Swedge (FS = 0.86), teniendo correlaciones directas con el programa Dips.

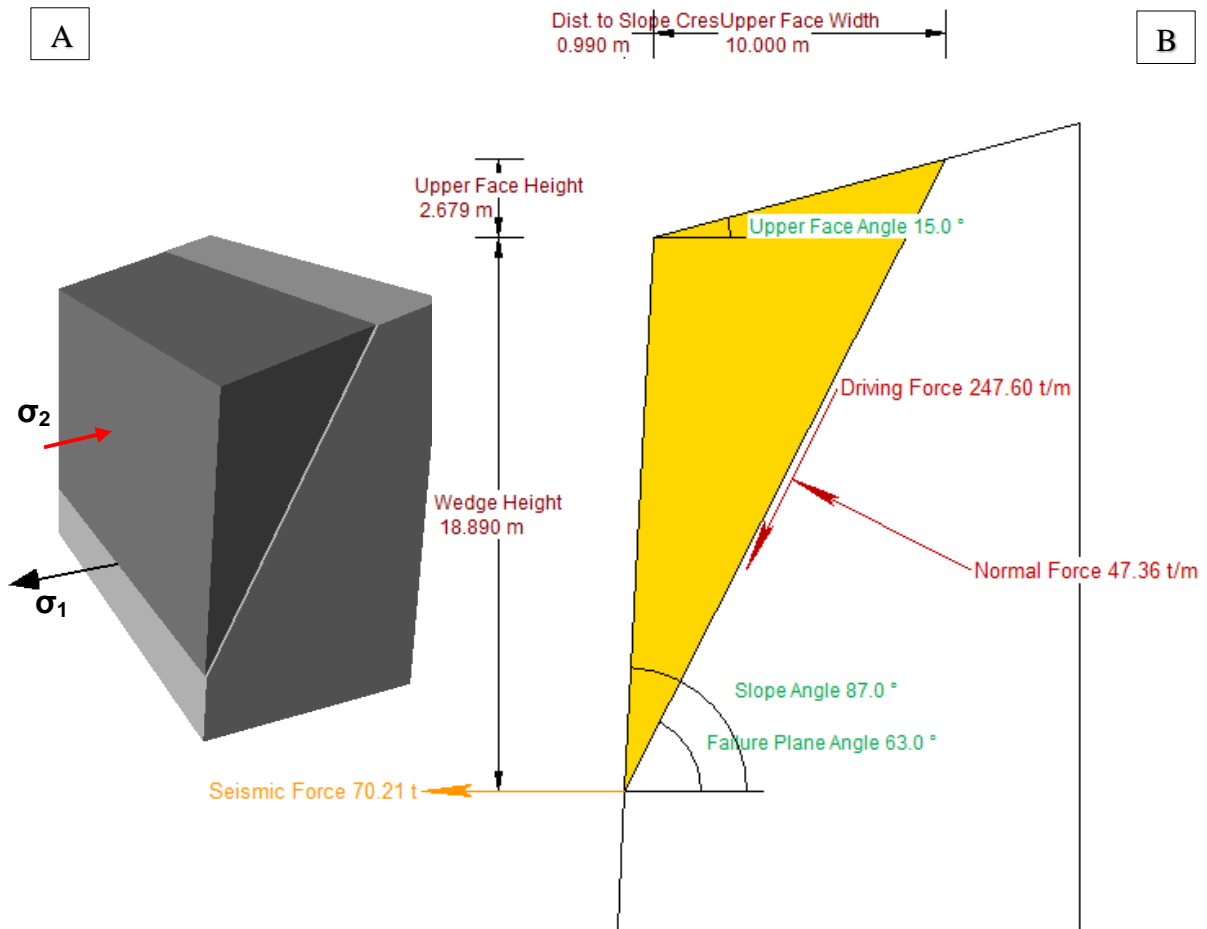


Figura 3.47. A. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con FS = 1.11, en la Estacion 09.

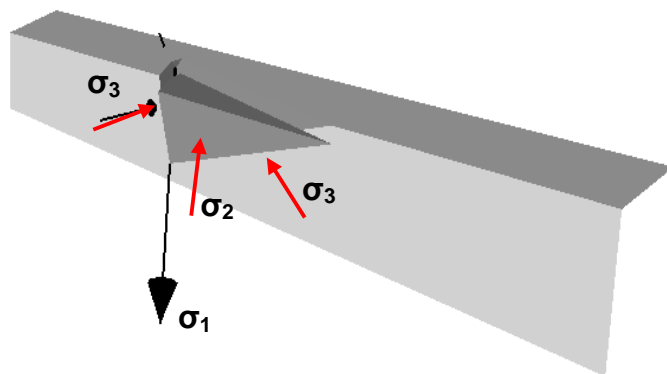


Figura 3.48. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura en cuña, la simetría del talud y los vectores de ruptura por análisis de ruptura en cuña, con FS = 0.86, en la Estacion 09.

3.10.10. ESTACIÓN 10

Esta ubicado en una curva cerrada de la carretera que esta compuesto por dos tipos de litologías: desde la base del pie del talud hasta 1.80 m. de altura de talud lo conforman aglomerados volcánicos, presentando alta resistencia a la compresión uniaxial de 80 MPa. en perfectas condiciones geomecánicas y en cambio la litología superior lo definen roca andesita moderadamente meteorizada, con alto grado de fracturamiento, formando bloques y capas, definiendo estas tres geoestructuras de familias blocosidades columnares verticales en todo el macizo rocoso superior a los aglomerados volcánicos.

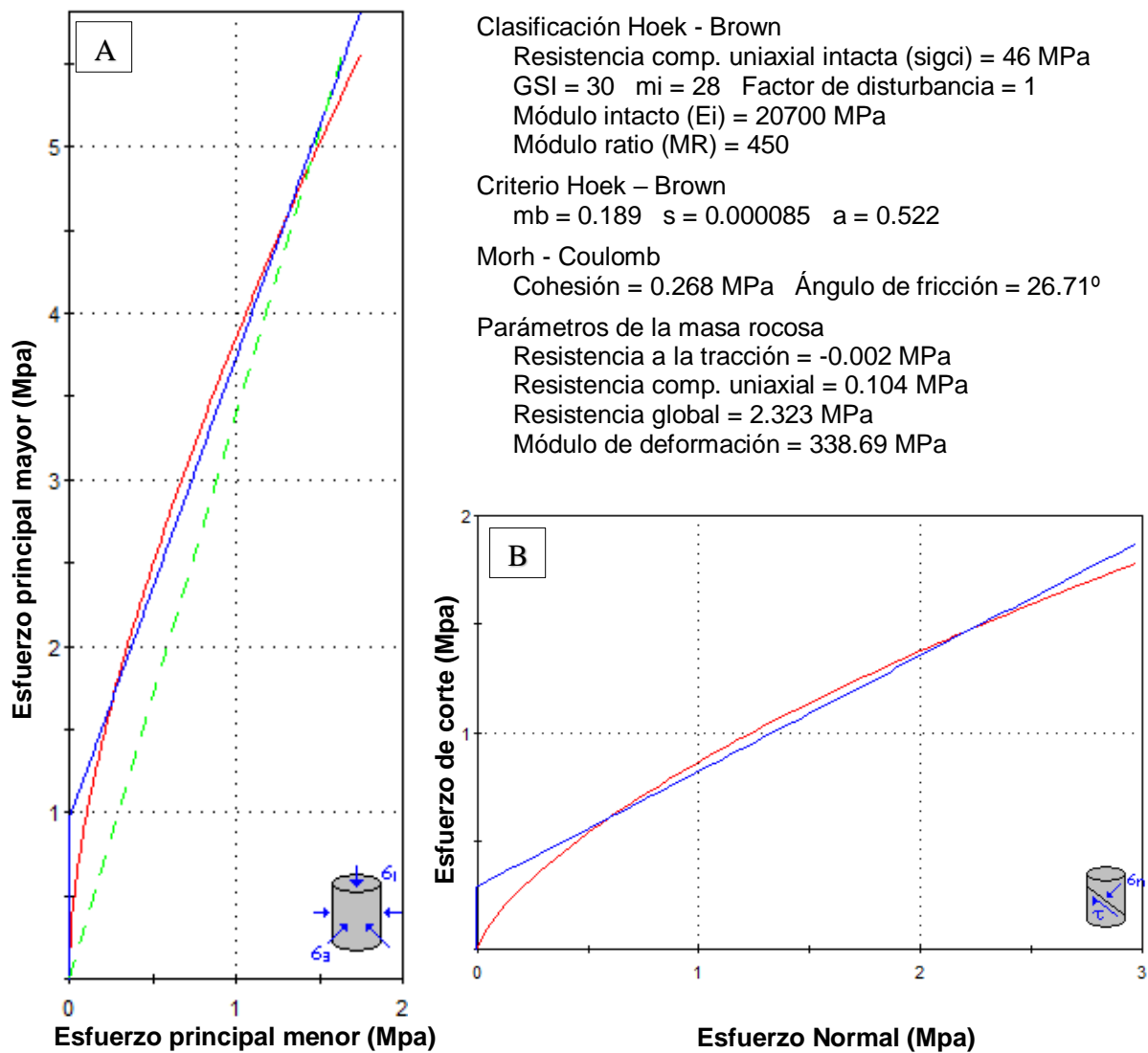
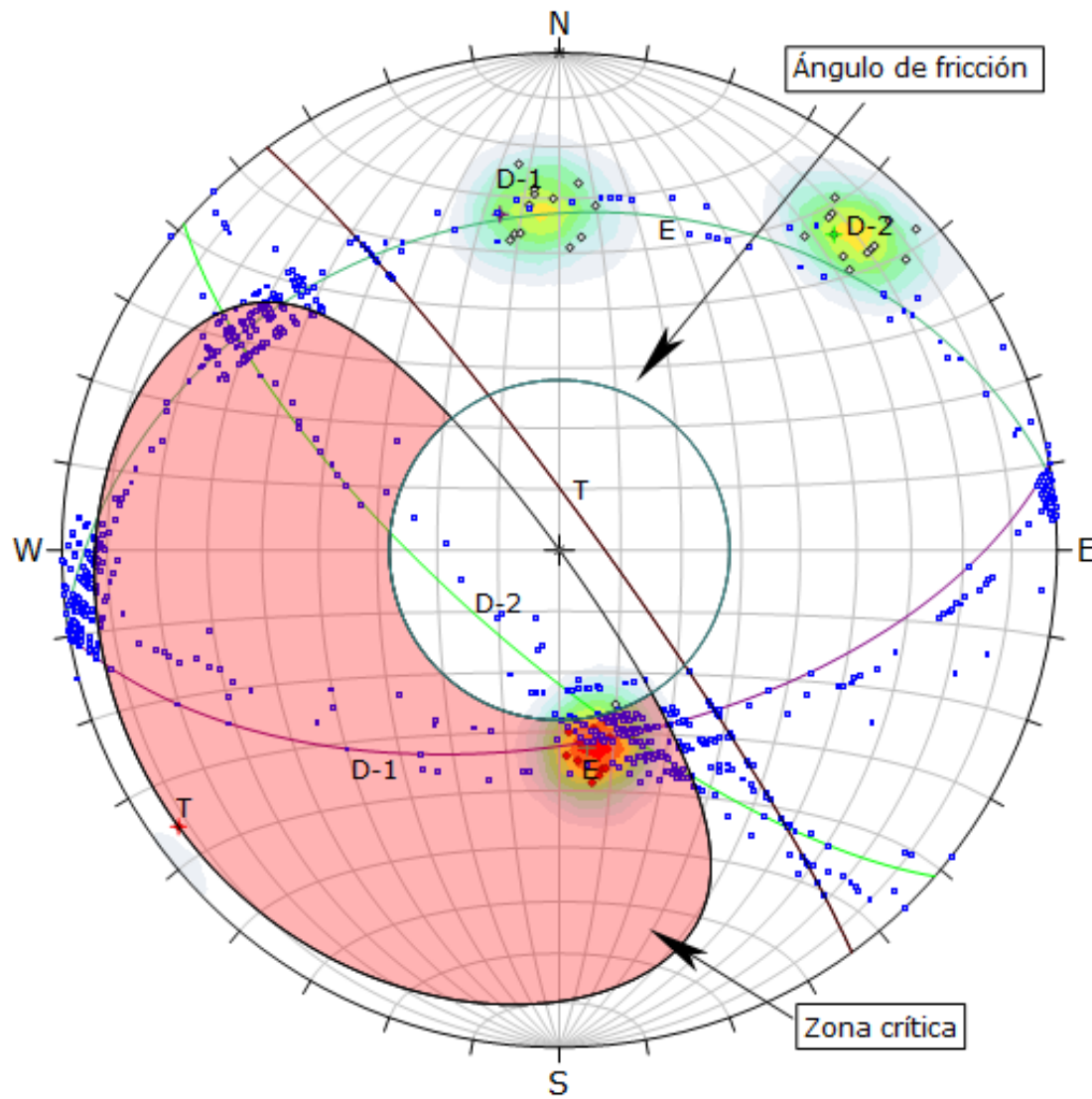
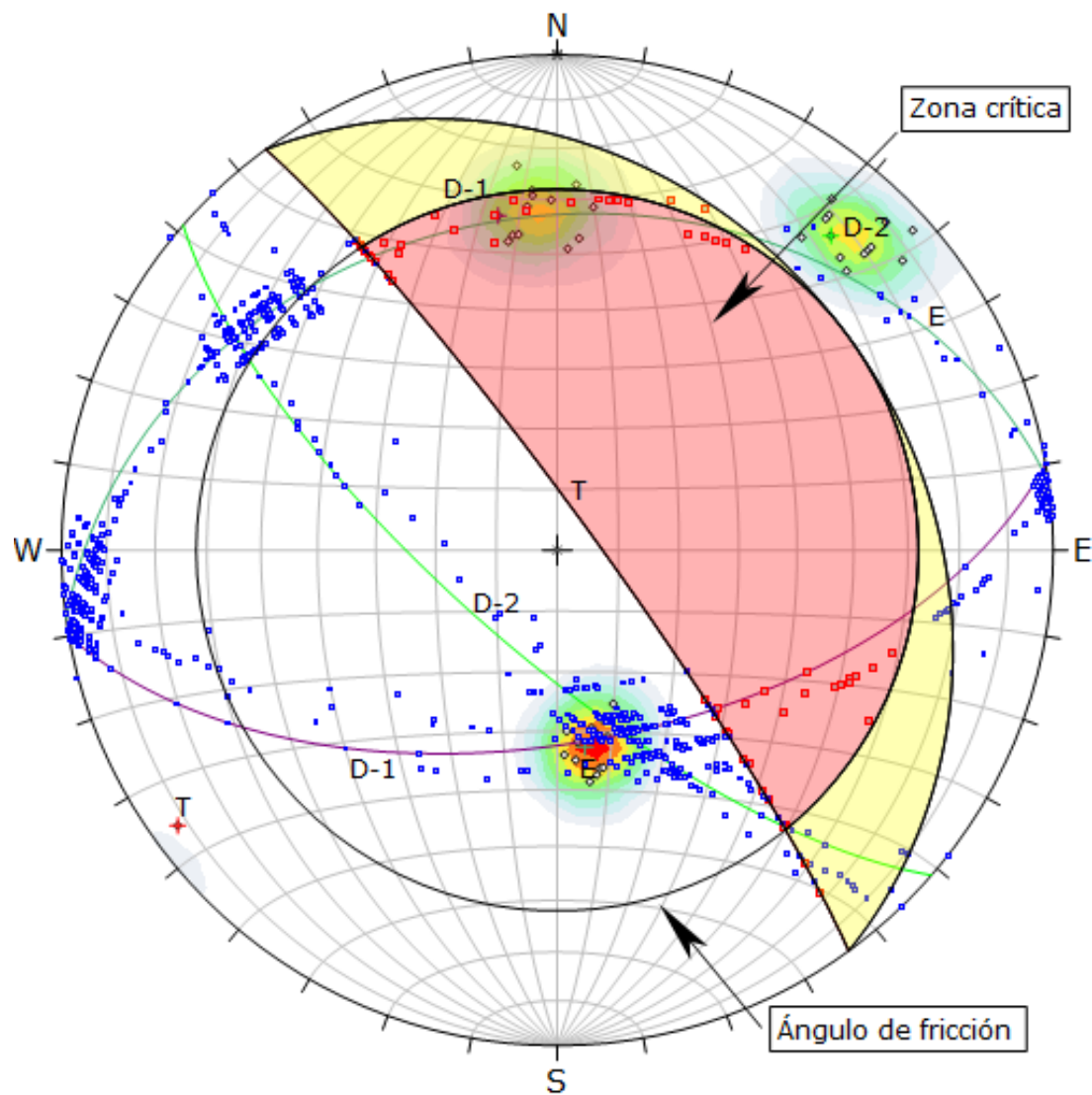


Figura 3.49. Estación 10. A.Muestra la relación de esfuerzo mayor vs. Esfuerzo menor. B. Muestra la relación entre el esfuerzo de corte vs. esfuerzo normal.



Symbol	Feature		
◇	Polo vectors		
◆	Critical vectors		
□	Intersection		
Color	Density concentrations		
	0.00 - 3.00		
	3.00 - 6.00		
	6.00 - 9.00		
	9.00 - 12.00		
	12.00 - 15.00		
	15.00 - 18.00		
	18.00 - 21.00		
	21.00 - 24.00		
	24.00 - 27.00		
	27.00 - 30.00		
Maximun density	30.37%		
Contour data	Polo vectors		
Contour distribution	Fisher		
Counting circle size	1.00%		
Kinematic analysis	Planar siliding		
Slope dip	84°		
Slope Dip direction	54°		
Friction angle	27°		
	Critical	Total	%
Planar siliding (All)	14	41	34.15%
	Color	Dip	Dip direction
User planes			
1	■	33°	352° E
2	■	58°	170° D-1
3	■	73°	221° D-2
4	■	84°	54° T
Plot Mode	Pole vectors		
Vector count	41 (41 entries)		
Intersection mode	Grid data planes		
Intersections count	820		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal area		

Figura 3.50. Análisis por ruptura planar, con probabilidad de falla de 34%.



Symbol	Feature			
◇	Polo vectors			
■	Critical intersection			
□	Intersection			
Color	Density concentrations			
	0.00 - 3.00			
	3.00 - 6.00			
	6.00 - 9.00			
	9.00 - 12.00			
	12.00 - 15.00			
	15.00 - 18.00			
	18.00 - 21.00			
	21.00 - 24.00			
	24.00 - 27.00			
	27.00 - 30.00			
Maximum density	30.37%			
Contour data	Polo vectors			
Contour distribution	Fisher			
Counting circle size	1.00%			
Kinematic analysis	Wedge sliding			
Slope dip	84°			
Slope Dip direction	54°			
Friction angle	27°			
	Critical	Total	%	
Wedge sliding	58	820	7.07%	
	Color	Dip	Dip direction	
	User planes			
1	■	33°	352°	E
2	■	58°	170°	D-1
3	■	73°	221°	D-2
4	■	84°	54°	T
Plot Mode	Pole vectors			
Vector count	41 (41 entries)			
Intersection mode	Grid data planes			
Intersections count	820			
Hemisphere	Lower			
Projection	Equal area			

Figura 3.51. Análisis por ruptura en cuña, con probabilidad de falla de 7%.

Las geoestructuras muestran resultados que la mayor generación de caídas de rocas los ocasionan las rupturas planares en relación con la estratificación con probabilidad de ruptura de 34%, siendo notorio en la base del talud por la gran acumulación de rocas columnares acumuladas, definiéndolo como deposito coluvial. Por consiguiente la ruptura en cuña presenta bajo resultado de probabilidad de 7%, siendo mínimo la generación de caídas de rocas. La verificación cinemática por el RocPlane muestra $FS = 0.87$, quiere decir que si esta ocasionado las caídas de rocas de manera progresiva.

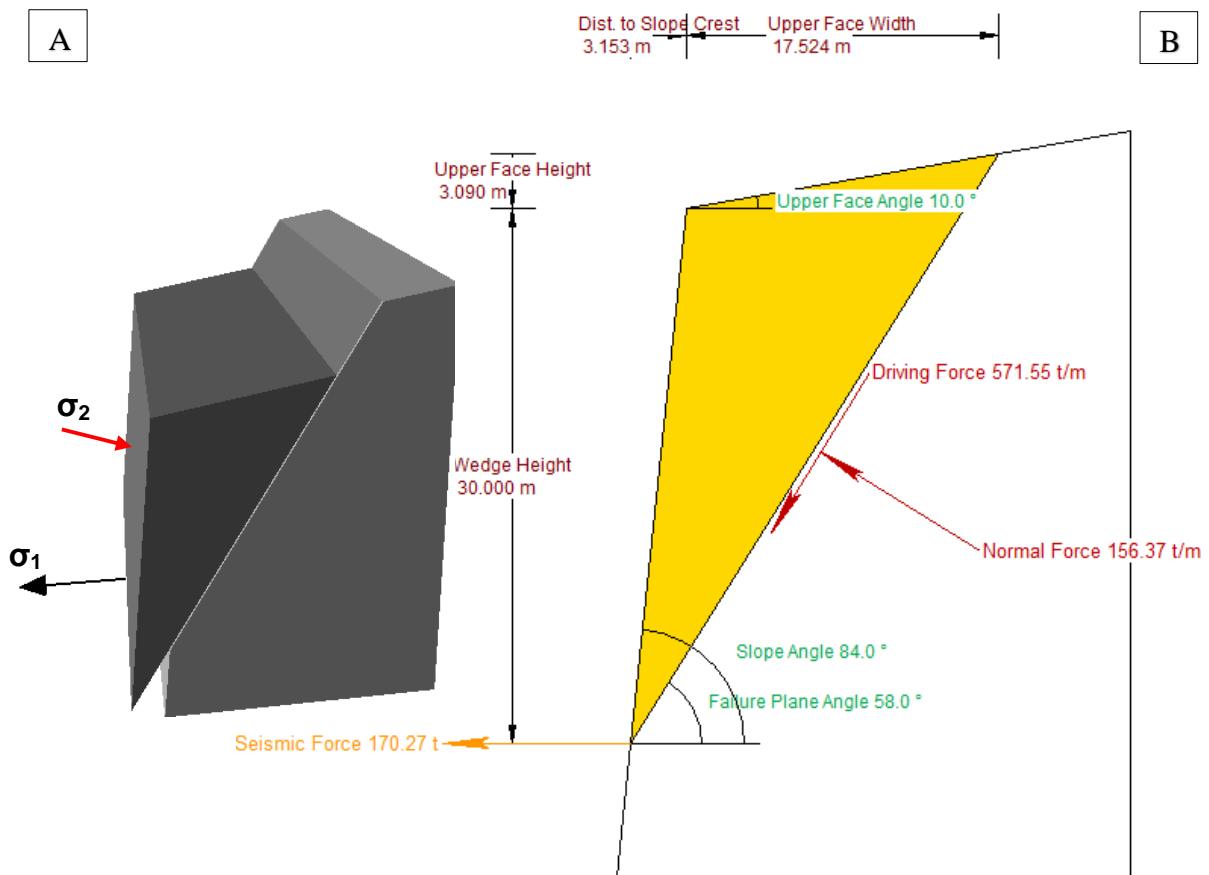


Figura 3.52. Block diagrama en 3D mostrando el tipo de ruptura planar y la simetría del talud. B. Gráfica de dimensionamiento por análisis de ruptura planar, con $FS = 0.87$, en la Estacion 10.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La carretera del tramo Chilete – Puente Muyuna, se encuentra emplazada litológicamente por la Formación Farrat y el Volcánico Chilete, definiendo estas dos formaciones geológicas, el comportamiento: litológico, geoestructural, morfológico, hidrológico y sísmico, relacionados con las condiciones litoestratigráficas del área de investigación determinando la ocurrencia inestabilidades rocosas. Las características litológicas de la Formación Farrat tiene como eje de plegamiento un anticlinal ubicado en el tramo del Km 93 + 00, presentando intercalaciones de lutitas y areniscas blanquecinas de grano fino en el flanco derecho e izquierdo de esta estructura geológica, en cambio conforme uno se acerca al núcleo de esta geoestructura rocosa, presenta la roca mayor consistencia areniscosa sin presencia intercalaciones lutaceas. En cambio el Volcánico Chilete en encuentra ubicado en el pueblo de Chilete y Tabacal, presentando composiciones litológicas de aglomerados volcánicos en la base de este evento volcánico y la parte superior por eventos andesíticos gris verduzcos en muchos de los casos muy alterados a fracturados

Las unidades morfogenéticas lo definen: planicies, lomadas, laderas y escarpas, con orientación NEE – SWW del valle fluvial en la dirección flujo del Río Magdalena, están conformados por: depósitos fluviales y aluviales. Esta unidades tienen mayor énfasis la margen izquierda del río por estar emplazada en la carretera, ocasionando movimiento geodinámicos como: caídas de rocas y deslizamientos casi constantes. Estas unidades morfogenéticas con la hidrología e hidrogeología, son muy importante en el tema de investigación definiendo que lo conforman un acuífero fisurado sedimentario por la areniscas de grano fino de la

Formacion Farrat y el acuitardo volcánico esta ubicado en el Volcánico Chilete, entre los centros poblados de Chilete y Tabacal.

Las geoestructuras predominantes están delimitadas por esfuerzos tectónicos compresivos con orientación NNE – SSW, definiendo el anticlinal Piedra Grande, ubicado en el poblado de Tabacal como eje plegamiento de la megaestructura geológica. Así mismo presenta fallamientos estructurales importantes como fallas, diques, sill, diaclasas, estratificación y pseudoestratificación, delimitando el modelo geológico-estructural, en muchos de los casos siendo aprovechados por los diques andesíticos que afloran en la Formacion Farrat, cortando a esta formación litológica.

Para el cartografiado geomecánico se utilizó criterios empíricos de análisis e interpretación, teniendo en consideración el promedio de resistencia de la roca, numero de diaclasas y propiedades de la discontinuidades. Categorizando cinco estaciones de medianamente resistentes (R3) y cinco estaciones resistentes (R4); con RQD dos de buena calidad, seis de calidad regular y dos de calidad pobre. Presentando correlaciones con: Resistencia a la compresión uniaxial (MPa), RQD, RMR y GSI; cuyos resultados definen el comportamiento geotécnico de los macizos rocosos.

Tabla 4.1. Resultados empíricos de resistencia a la compresión uniaxial.

Estación geomecánica	σ_{ci} (MPa)	RQD	RMR	GSI
E-1	42	67	46	41
E-2	65	77	63	60
E-3	75	70	45	40
E-4	55	80	62	57
E-5	46	65	45	40
E-6	55	68	54	49
E-7	42	64	45	40
E-8	75	57	51	45
E-9	28	29	36	30
E-10	46	42	37	30

Utilizando la combinación de los criterios de Hoek y Brown, y Mohr – Coulomb, se obtuvieron resultados de la tabla 4.1, siendo muy importantes para la

base numérica de análisis e interpretación. Teniendo como acotamiento que las estaciones E-1 hasta E-8 son areniscas de la Formación Farrat y las estaciones E-9 y E-10, son del Volcánico Chilete. Mostrando una serie de valores en función de la data obtenida del cartografiado geotécnico.

Tabla 4.2. Constantes de Hoek - Brown y Mohr – Coulomb, obtenidos del software RocData.

Estación	Criterio Hoek - Brown							Criterio Mohr - Coulomb	
	mi	D	Ei (MPa)	mb	s	Em (MPa)	a	c (MPa)	ϕ°
E-1	13	1.00	21000	0.192	0.000100	834.84	0.511	0.161	34.01
E-2	13	1.00	14300	0.747	0.001300	1742.10	0.503	0.546	44.88
E-3	13	1.00	20625	0.179	0.000050	823.51	0.511	0.249	35.03
E-4	13	1.00	15125	0.603	0.000800	1534.89	0.504	0.386	43.97
E-5	13	1.00	12650	0.179	0.000050	505.09	0.511	0.172	33.43
E-6	13	1.00	12000	0.366	0.000200	800.44	0.506	0.296	39.68
E-7	13	1.00	12000	0.179	0.000045	479.13	0.511	0.163	32.95
E-8	13	1.00	25875	0.256	0.000100	608.30	0.508	0.299	38.19
E-9	20	1.00	8400	0.135	0.000086	338.69	0.522	0.165	22.55
E-10	28	1.00	20700	0.189	0.000085	338.69	0.522	0.268	26.71

La proyección estereográfica mediante el software Dips muestra estaciones inestables, mayormente vulnerables a caídas de roca, por superar los límites permisibles de probabilidad de falla, en cambio aplicando los métodos numéricos demuestra la corroboración de inestabilidad en función de las discontinuidades análisis por el Dips, definiendo solo la diaclasa que esta originando el tipo de ruptura inestable.

Tabla 4.3. Resultados de probabilidad de ruptura según Dips y Factor de Seguridad según RocPlane y Swedge.

Estación	Dips		Condición	Análisis numérico	
	Probabilidad de ruptura			RocPlane	Swedge
	Planar (%)	Cuña (%)		FS	FS
E-1	2	31	Inestable	---	1.09
E-2	27	8	Inestable	1.20	---
E-3	32	16	Inestable	0.70	---
E-4	7	10	estable	---	---
E-5	40	42	Inestable	0.58	0.92
E-6	5	5	estable	---	---
E-7	40	19	Inestable	0.74	---
E-8	33	22	Inestable	1.12	---
E-9	50	61	Inestable	1.11	0.86
E-10	34	7	Inestable	0.87	---

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El cartografiado geológico muestra que la carretera del tramo Chilete – Puente Muyuna esta emplazado en areniscas blanquecinas de grano fino de la Formación Farrat, desde el tramo Km 97 + 560 hasta Km 93 + 120 y la roca del Volcánico Chilete desde el tramo Km 93 + 120 hasta Km 92 + 650, compuestas por aglomerados volcánicos en la base del talud y superiores a estos eventos de roca andesítica.

Las propiedades geomecánicas están definidas por las características de resistencia de la roca intacta, diaclasamiento y tipo de litología. Categorizándolos en cinco estaciones de medianamente resistentes (R3) y cinco estaciones resistentes (R4); con RQD dos de buena calidad (E-2 = 77 y E-4 = 80), seis de calidad regular (E-1 = 67, E-3 = 70, E-5 = 65, E-6 = 68 E-7 = 64 y E-8 = 57) y dos de calidad pobre (E-9 = 29 y E-10 = 42). Presentando correlaciones con: RMR (E-1 = 46, E-2 = 63, E-3 = 45, E-4 = 62, E-5 = 45, E-6 = 54, E-7 = 45, E-8 = 51, E-9 = 36 y E-10 = 37) y GSI (E-1 = 41, E-2 = 60, E-3 = 40, E-4 = 57, E-5 = 40, E-6 = 49, E-7 = 40, E-8 = 45, E-9 = 30 y E-10 = 30).

Las probabilidad de ruptura esta delimitada por las características geoestructurales del tramo analizado. Obteniendo cinco inestabilidades por ruptura planar (E-2, E-3, E-7, E-8 y E-10, con fluctuaciones de probabilidad de: 26.67% a 39.53%), una por ruptura en cuña (E-1, con probabilidad de 30.56%) y dos por ambos tipos de ruptura cuña y planar (E- 5 y E-9 con probabilidades de: 40.00% a 61.36%).

Los Factores de Seguridad muestran resultados con el Dips, logrando obtener valores por debajo del valor sugerido de 1.50 (Factor de seguridad), aplicando el RocPlane y Swedge fluctuando desde 0.58 a 1.20.

Las zonificaciones geotécnicas están definidas por las constantes caídas de rocas, desprendimientos y colapsos desmesurados de rocas sobre todo en el flanco izquierdo de la carretera del tramo Chilete – Puente Muyuna, conformando dos zonas altamente peligrosa, cinco zonas peligrosa y dos zonas moderadamente peligrosa.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar ensayos triaxiales en rocas, para obtener valores más precisos del comportamiento geomecánicos de las muestras del macizo rocoso

Realizar constantes limpiezas de las cunetas de evacuación de agua, siendo muy perjudiciales por la constante acumulación de rocas formando depósitos coluviales en el pie del talud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, Ch; Garcia, N; Almiros, C; Monte, M. 2008. Análisis de los tipos de inestabilidades del macizo rocoso de la Virgen de la Peña (Huelpa, España). Revista Geogaceta 44 (2008), 43 - 46.
- Barton, N; Choubey, V. 1977. Teoría y práctica de la resistencia de roca y juntas. Mecánica de rocas 12(1), 1-54.
- Barton, N; Bandis, S.1982. Efectos en el tamaño de bloque sobre el comportamiento de cizallamiento en roca diaclasada. Problemas de mecánica de rocas. 23^{avo}. simposion de mecánica de rocas en los Estados Unidos (editores RE Goodman y FE Heuze), Berkeley, California, pp. 739 – 760. AIME, New York.
- CLIMATE-DATA.ORG. Clima Cajamarca - Chilete. Climograma, Diagrama de temperatura, Tabla climática. Consultado 27 abr. 2019. Disponible en <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/cajamarca/chilete-875097/>
- Davila, B. 2011. Diccionario geológico. INGEMMET, Lima, Perú, Arth Grouting S.A.C.
- Deere, D; Hendron, A; Patton, F; Cording, E. 1967. Diseño de superficies y superficies de entorno de excavación en roca. 8^{vo}. Simposium de mecánica de rocas en procedimientos. Fracturamiento y reforzamiento en roca. AIME, New York, Estados Unidos; 25 ago.: 237 - 302
- GEMMA (Preparado como una iniciativa interinstitucional, a través del Grupo de Estándares para Movimientos de Masa). 2007. Movimientos de masa en la región andina: Guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicacion Geológica Multinacional N° 4. Canadá 432 p.
- Gonzales, de V. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, España, Prentice Hall. 118 p.
- Hoyos, F. 2012. Manual de estabilidad de taludes. Medellin Colombia.

- Hoek, E; Carranza, T; Corkum, B. 2002. Criterio de rotura de Hoek – Brown – Edición 2002. London: Consulting Engineer & University of Minnesota & Rocscience Inc.
- Montoya. 2014. Evaluación geotécnica de los taludes de la Carretera Cruz Blanca – El Gavilán. Universidad Nacional de Cajamarca Tesis de pregrado. Ciudad de Cajamarca, Perú, UNC.
- Pozo. 2015. Análisis computacional de la estabilidad de taludes open pits. Tesis de Mag. Ciudad Lima, Perú, UNI.
- Ramírez, O; Alejano, M. 2004. Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes. Universidad Politecnica de Madrid y en la de Vigo. Master Internacional.
- Rodríguez. 2016. Método de investigación geológico - geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamiento zona Ronquillo – Corisorgona. Tesis de Mag. Ciudad Lima, Perú, UNMSM.
- Sánchez, I; Sánchez, A. 2012. La biodiversidad biológica en Cajamarca. Proyecto Determinación del Potencial de la Biodiversidad Regional de Cajamarca – Gobierno Regional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Suarez, D. 2009. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.
- Valeriano, N. 2014. Análisis de estabilidad Probabilístico del talud de la Cantera Espinal – Juliaca. Revista ECIPerú Volumen 11, número 1: 39 – 44.

ANEXOS

A. DATOS GEOMECÁNICOS

B. PLANOS

PLANO 01 IMAGEN SATELITAL.

PLANO 02 UBICACIÓN.

PLANO 03 GEOMORFOLÓGICO ALTITUDINAL.

PLANO 04 UNIDADES MORFOGENÉTICAS.

PLANO 05 GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL.

PLANO 06 GEOTÉCNICO .

PLANO 07 GEODINÁMICO.

PLANO 08 ZONIFICACIÓN DE INESTABILIDADES CRÍTICAS.

