

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7670

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR MORRO SOLAR

Departamento: Lima
Provincia: Lima
Distrito: Chorrillos



OCTUBRE
2025

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR CAÍDA DE ROCAS EN EL SECTOR MORRO SOLAR

(Distrito Chorrillos, Provincia y Departamento Lima)



Elaborado por la Dirección
de Geología Ambiental y Riesgo
Geológico del INGEMMET

Equipo técnico:

*Wilson Gómez Cahuaya
Mauricio Núñez Peredo*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). *Evaluación de peligros geológicos por caída de rocas en el sector Morro Solar. Distrito Chorrillos, Provincia Lima, Departamento Lima*: Ingemmet, Informe Técnico N°A7670, 59p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	7
1.3. Aspectos generales	8
1.3.1. Ubicación	8
1.3.2. Población	8
1.3.3. Accesibilidad	9
1.3.4. Clima	11
2. DEFINICIONES	11
3. ASPECTOS GEOLÓGICO-ESTRUCTURALES	13
3.1. Unidades litoestratigráficas	15
3.1.1. Formación Salto del Fraile	15
3.1.2. Formación La Herradura	15
3.1.3. Depósitos coluviales	17
3.2. Aspectos estructurales	19
3.2.1. Falla Salto del Fraile	19
3.2.2. Fallas normales	21
3.2.3. Falla Cruz del Morro	22
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	22
4.1. Pendiente del terreno	22
4.2. Unidades y subunidades geomorfológicas	24
4.2.1. Lomadas y Colinas en roca sedimentaria	24
4.2.2. Acantilado	26
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	27
5.1. Caída de rocas	29
5.1.1. Análisis cinemático de las estaciones geomecánicas relacionadas con la caída de rocas	30
5.1.2. Relación de las estructuras con las estaciones geomecánicas en la caída de rocas.	38
5.2. Factores condicionantes	40
5.3. Factores desencadenantes	40
6. CONCLUSIONES	42
7. RECOMENDACIONES	43

8. BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXO 1: MAPAS	45
ANEXO 2: FICHAS DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	50
ANEXO 3: PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTIVAS	56

RESUMEN

El acantilado del Morro Solar ha sido escenario de múltiples eventos de caída de rocas, el cual, representa uno de los fenómenos más recurrentes y de mayor peligrosidad, debido a la interacción de la alta pendiente del talud, la presencia de estructuras geológicas, acompañado de un intenso fracturamiento del macizo rocoso, que contribuyó negativamente las condiciones geotécnicas del talud, el cual fue objeto de análisis y de estudio en el presente informe.

En el contexto litológico, en el Morro Solar afloran rocas sedimentarias de ambiente marino, cuya secuencias inician en la parte más basal con areniscas cuarzosas de grano medio a grueso de color blanquecino dispuestos en estratos tabulares de 15 a 50 cm de espesor, sus macizos rocosos se caracterizan por su intenso fracturamiento y superficialmente con moderada meteorización atribuidas a la Formación Salto del Fraile, luego le sobreyacen en concordancia una serie limoarcillosa de lutitas negras algo abigarradas en bancos centimétricos formando paquetes de 2 a 3 m de espesor, intercaladas con niveles de 30 cm de areniscas negras de grano medio a fino representadas por la Formación La Herradura, cuyos macizos rocosos se hallan medianamente a muy fracturados y moderado a altamente meteorizados. Esta unidad se encuentra intruída por *sills* andesíticos con espesores variables que van 2 a 3.2 m.

Desde el punto de vista estructural, el Morro Solar es compleja, dominada por estructuras mayores de dirección NO-SE, NEE-SOO (fallas) y estructuras menores de dirección NE-SO, NEE-SSO y E-O (fracturas y discontinuidades) que se orientan en diferentes direcciones que afectan y atraviesan de manera longitudinal y transversalmente a las rocas del Grupo Morro Solar. Estas estructuras se desarrollaron tectónicamente en periodos diferentes a lo largo de su historia geológica, el cual, la interacción tectónica y mecánica de las propias rocas han dado lugar a la formación de un conjunto de estructuras que contribuyeron en el cambio del comportamiento litológico y geomecánico de los macizos rocosos, que a la actualidad se relacionan espacialmente y de manera indirecta con movimientos en masa tipo caída de rocas y bloques en la cara oeste del acantilado.

Las geoformas resultantes de estos procesos geológicos, configuran un relieve moldeado por lomadas y colinas desarrolladas en roca sedimentaria, donde expone un acantilado de morfología abrupta y de pendiente muy pronunciada, favoreciendo así los procesos gravitacionales.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de las seis estaciones geomecánicas distribuidas a lo largo del talud, nos revelan valores de MRM que varían de 21 a 60, el cual se clasifican geotécnicamente como calidad de roca mala a regular. Estos valores ponen en evidencia la predisposición del substrato rocoso a generar procesos gravitacionales, y la alta probabilidad de mecanismos de rotura tipo planar, cuña y volcamiento (toppling), donde se identificaron siete zonas altamente críticas y susceptibles a caída, que ponen en peligro la seguridad física de las personas y de la infraestructura vial en el sector Morro Solar.

De acuerdo a las características y condiciones geológico-estructurales, geomorfológicas y geodinámicas, se considera al sector Morro Solar como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** frente a la ocurrencia de caída de rocas.

Finalmente, se brindan las recomendaciones para las autoridades competentes y tomadores de decisiones, implementar medidas para mitigar los peligros geológicos identificados; así como, la instalación de geomallas ancladas, barreras dinámicas, red

de anillos, utilizados en forma independiente o combinada, luego optar por el desquinche de rocas sueltas, asimismo, construcción de muros de contención de concreto armado, la aplicación de shotcrete en zonas inestables y bloques propensos y expuestos en la cara oeste del talud. Además, se recomienda realizar el EVAR correspondiente.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa en zonas que tengan elementos vulnerables).

Atendiendo la solicitud con Oficio N°293-2023-MDCH-GM del distrito de Chorrillos, provincia y departamento de Lima; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Morro Solar colindante a la vía de acceso hacia la Herradura.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los ingenieros Wilson Gómez y Mauricio Núñez, para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva en el sector Morro Solar, el cual se efectuó en coordinación con la Oficina de Gestión de Riesgos de Desastres de la municipalidad distrital de Chorrillos.

La evaluación técnica se ejecutó en 03 etapas: i) gabinete I; recopilación de antecedentes de estudios de geología, geodinámica externa y geomorfología por parte del INGEMMET; i) etapa de campo; se llevó a cabo el 28 y 29 de octubre del 2024 y el 16 de junio del presente y consistió en la observación geológica, toma y medición de datos estructurales (levantamiento fotogramétrico con dron, captura de imágenes fotográficas), cartografiado al detalle, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y iii) gabinete II; se realizó el procesamiento digital e interpretación de toda la data extraída en campo, que involucra fotointerpretación cartográfica geológica y geodinámica para la identificación de procesos de movimientos en masa a través de imágenes satelitales que ofrece la plataforma Google Earth, elaboración de mapas, figuras temáticas y finalmente redacción del informe final.

Este informe se pone a consideración de la municipalidad distrital de Chorrillos, Gobierno Regional de Lima e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en el sector Morro Solar colindante con la vía de acceso hacia la Herradura, distrito Chorrillos, provincia y departamento Lima.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción ante peligros geológicos evaluados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales relacionados a la geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes.

- a) Informe Técnico N°031-2023/IGP, identificó 15 puntos críticos de caída de rocas y áreas susceptibles ante la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas en el sector Morro Solar.
- b) INDECI, 2023, REPORTE COMPLEMENTARIO N ° 10484 - 4/11/2023 / COEN - INDECI / 05:40 HORAS (Reporte N° 2), elaboró el reporte que concluye: El 01 de noviembre del 2023 se registró un derrumbe de cerro (caída de rocas), causando daños a la vida y la salud de las personas, en la ruta Agua dulce – La Herradura, frente al restaurante “Salto del fraile”, distrito de Chorrillos, provincia de Lima. La evaluación rápida de daños concluyó que hubo una persona fallecida, 2 heridas y 6 metros de carretera afectada.
- c) Peligro Geológico en la región Lima INGEMMET (Luque et al., 2020). Donde señala que el sector del Morro Solar presenta susceptibilidad a movimientos en masa con grado muy baja a baja (**Figura 1**). Sin embargo, localmente el Morro Solar presenta antecedentes de caída de rocas y derrumbes.
- d) Riesgos Geológico de la Franja 3 (INGEMMET, 2003), el Primer Reporte de Zonas Críticas de Lima Metropolitana” (Núñez, S. & Vásquez, J., 2009). Aquí se señala que el sector Morro Solar es propenso a derrumbes (en los taludes de corte).
- e) Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica INGEMMET (Palacios; Caldas y Vela, 1992). Determinan las unidades geológicas en el sector Morro Solar.
- f) Descripción geológica de los cuadrángulos de Mala y Lurín INGEMMET (León y De la Cruz, 2003), actualización de la carta geológica a escala 1:50,000.
- g) Atlas Ambiental de Lima Metropolitana (IMP, 2008), mapa de susceptibilidad en ordenamiento territorial a nivel de Lima Metropolitana.

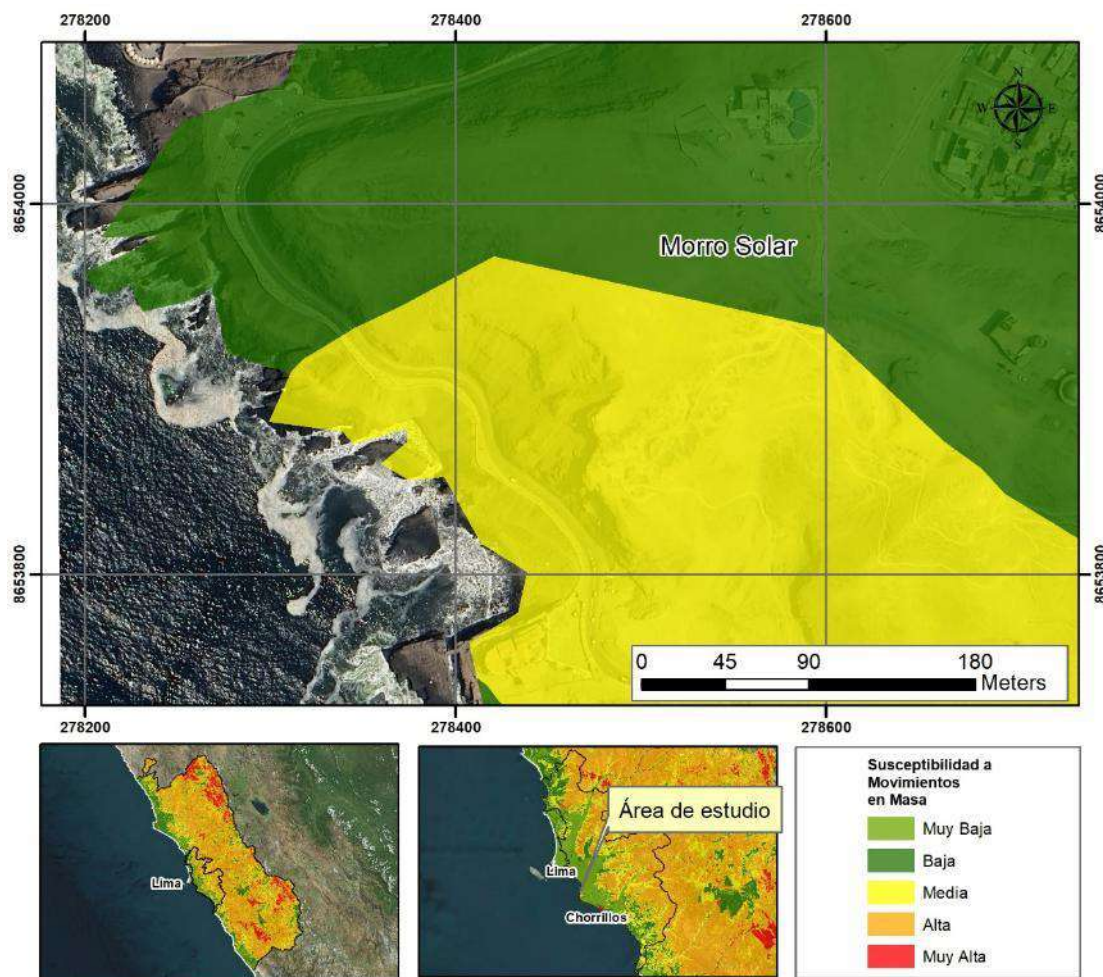


Figura 1. Susceptibilidad por movimientos en masa en el sector Morro Solar. Adaptado de Luque et al., (2020).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de inspección corresponde al Morro Solar, jurisdicción del distrito de Chorrillos, provincia y departamento Lima, situado a una altitud promedio de 40 m s.n.m., en las coordenadas UTM: 278279 E, 8653985 Norte (**Figura 2**).

1.3.2. Población

Si bien es cierto, no existe población vulnerable asentada al pie del talud, sin embargo, por el lugar turístico que representa la zona del Salto del Fraile, acuden numerosas personas, el cual se transportan en vehículos, motos lineales, bicicletas y a pie. Esto representa un peligro latente ante la ocurrencia de caída de rocas que ponen en riesgo la vida humana y la infraestructura vial.



Fotografía 1. Personas que acuden al restaurante Salto del Fraile en el sector del Morro Solar. Vista tomada en el año 2024.



Fotografía 2. Vehículos y personas que acuden al lugar turístico del “Salto del Fraile” y el restaurante del mismo nombre que quedan expuestas a caída de rocas al pie del talud inestable en el sector del Morro Solar. Imagen tomada en enero del año 2025.

1.3.3. Accesibilidad

Para acceder al área de evaluación, desde la sede principal del INGEMMET, ubicada en el distrito de San Borja, Lima, se sigue la ruta que se presenta en la siguiente tabla y figura.

Tabla 1. Ruta y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ciudad de Lima (INGEMMET) – Sector Morro Solar (Chorrillos - Lima)	Asfaltada	13.00	22 a 25 min

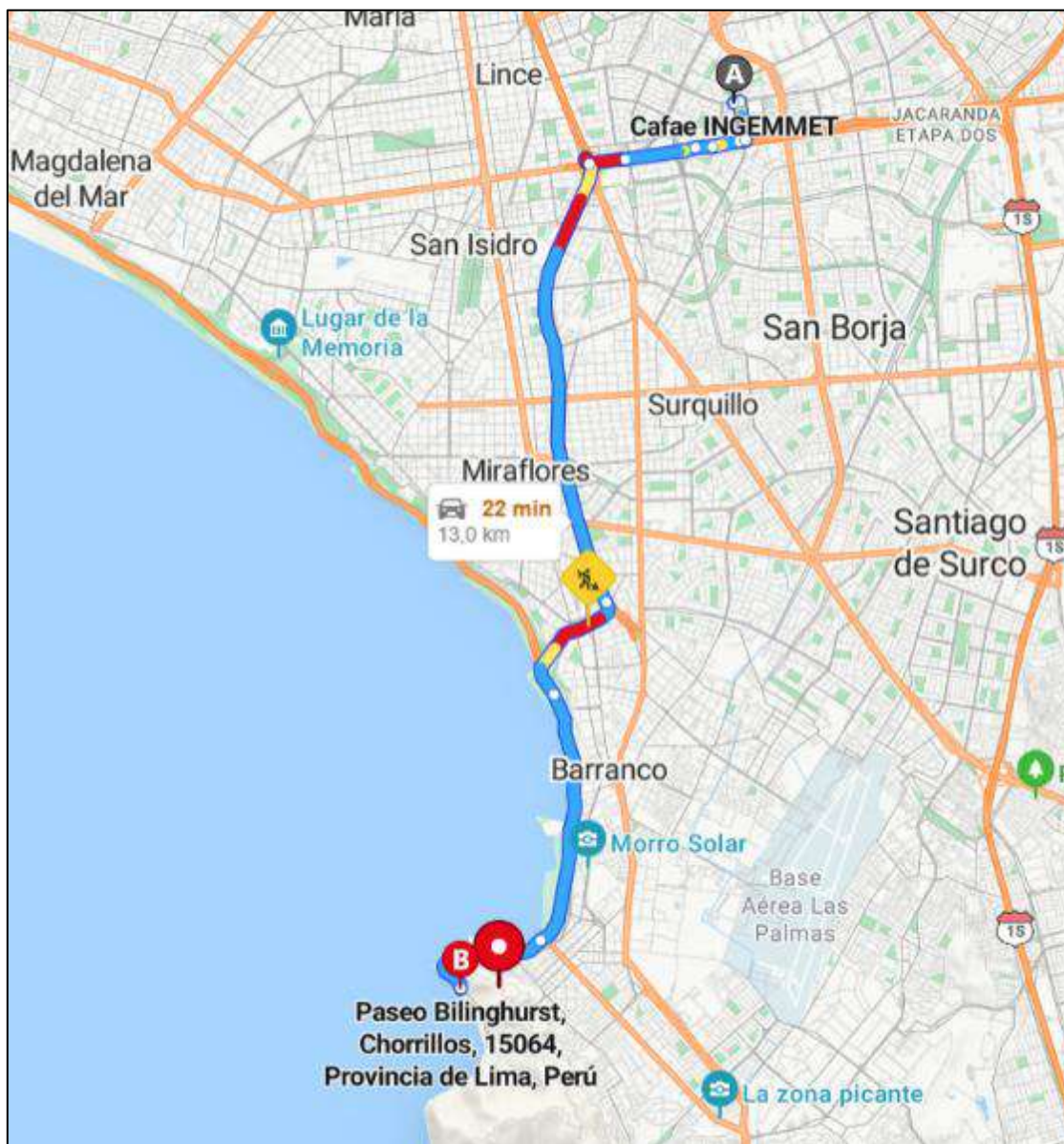


Figura 2. Mapa esquemático de accesibilidad al sector del Morro Solar. Tomado de Bing Maps.

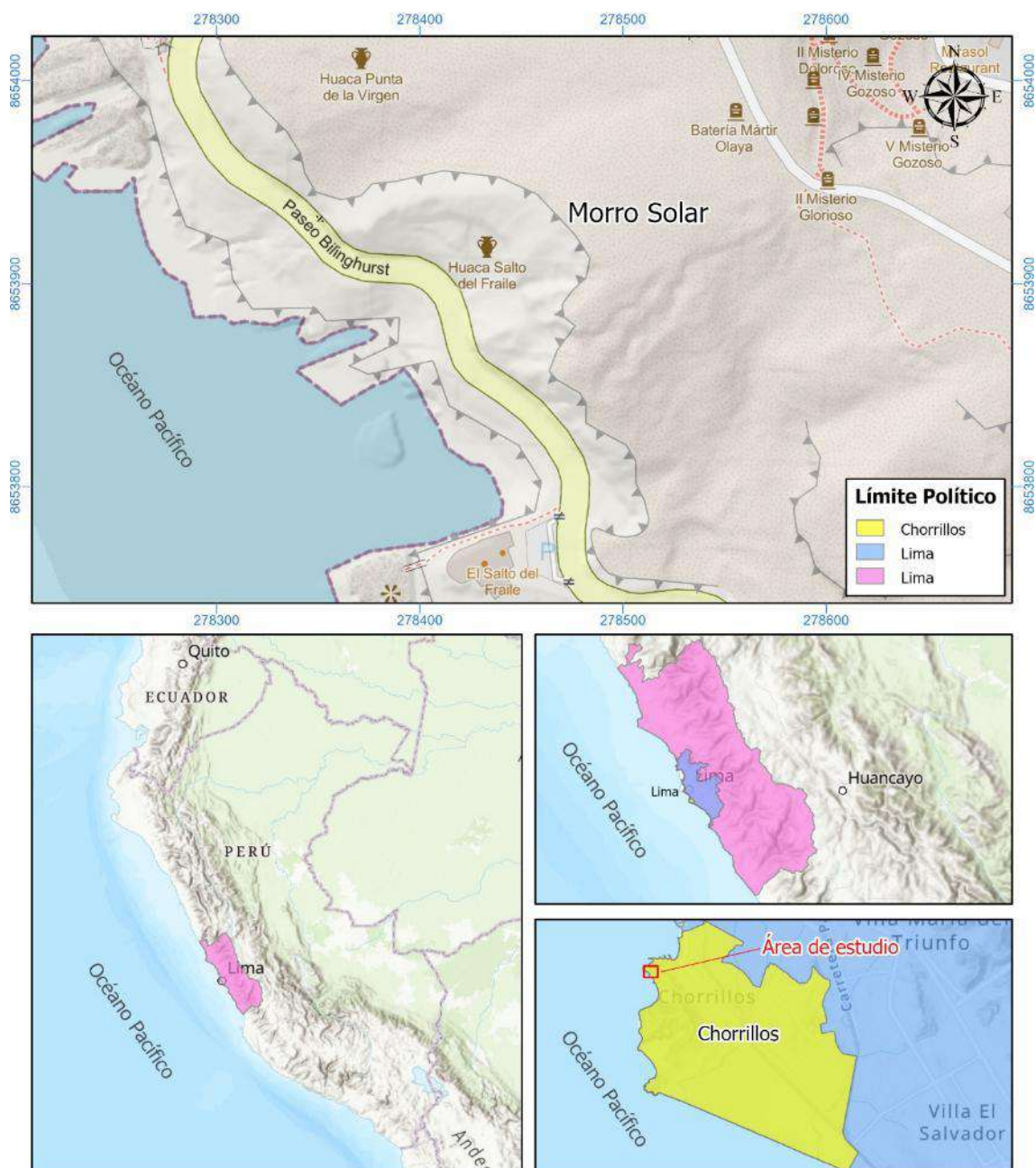


Figura 3. Ubicación de la zona evaluada en el sector Morro Solar, distrito Chorrillos, provincia y departamento Lima.

1.3.4. Clima

Según el mapa climático del Senamhi, el distrito de Chorrillos presenta un clima semicálido (desértico-árido-subtropical) con temperatura media anual de 15° a 19°.

En el litoral costero hay escasa o nula precipitación, por lo que, se le considera como zona árida. En otoño y el invierno amanece nublado o cubierto y hacia el mediodía las nubes rápidamente se disipan permitiendo brillo solar.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la

identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres.

Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

- **Actividad:** La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).
- **Activo:** Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.
- **Buzamiento (Dip):** Angulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.
- **Factor condicionante:** Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.
- **Factor detonante:** Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.
- **Formación geológica:** Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.
- **Ladera:** Superficie natural inclinada de un terreno.
- **Meteorización:** Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.
- **Movimiento en Masa:** Fenómeno de remoción en masa (Colombia, Argentina), proceso de remoción en masa (Argentina), remoción en masa (Chile), Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Remoción en masa y movimientos de ladera.
- **Peligro o amenaza geológica:** Proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la

pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

- **Susceptibilidad:** La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.
- **Zonas críticas:** Son zonas o áreas con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

3. ASPECTOS GEOLÓGICO-ESTRUCTURALES

El sector del Morro Solar es parte del litoral peruano y está conformado por un acantilado costero que fue moldeado en rocas sedimentarias de origen marino, de edad Valanginiano y Hauteriviano (Cretácico inferior), que en la actualidad se encuentran emergidas, producto de la exhumación y levantamiento de bloques relacionado a procesos tectónicos ocurridos en el pasado y a procesos de erosión recientemente.

Estas secuencias sedimentarias, exponen rocas siliciclásticas de ambiente marino del Cretácico inferior. Las unidades fueron agrupadas con el nombre de Grupo Morro Solar, el cual se divide en sus formaciones Salto del Fraile, La Herradura y Marcavilca.

En la zona de estudio, afloran las formaciones Salto del Fraile y La Herradura y sus principales afloramientos se observan en el trayecto de la carretera de Chorrillos a la playa La Herradura, la unidad más antigua corresponde a la Formación Salto del Fraile, el cual, se trata de areniscas cuarzosas en estratos medianos, mientras que, la Formación Herradura se caracteriza por presentar lutitas gris negras intercaladas en capas centimétricas de areniscas grises de grano fino.

La actividad magmática se manifestó a través de emplazamientos de rocas andesíticas en estructuras tipo “*Sills*” a manera de capas potentes subhorizontales que se intercalan con los estratos de la Formación La Herradura. Estos *Sills* se observan en la parte media y superior del talud del acantilado.

Desde el punto de vista estructural, el sector del Morro Solar ha sido afectada por estructuras antiguas que en superficie se manifestaron a través de fallas, fracturas y discontinuidades que generaron un cambio en el comportamiento litológico y geomecánico de los macizos rocosos del acantilado, afectando a las formaciones Salto del Fraile y La Herradura (**Figura 4**).

En conjunto, las diferentes características litológicas de las unidades sedimentarias y magmáticas y de las estructuras, así como fallas, fracturas y diaclasamiento están muy posiblemente relacionadas con la generación de movimientos en masa tipo caída de rocas que involucra el acantilado del Morro Solar (**Figuras 4 y 7**).

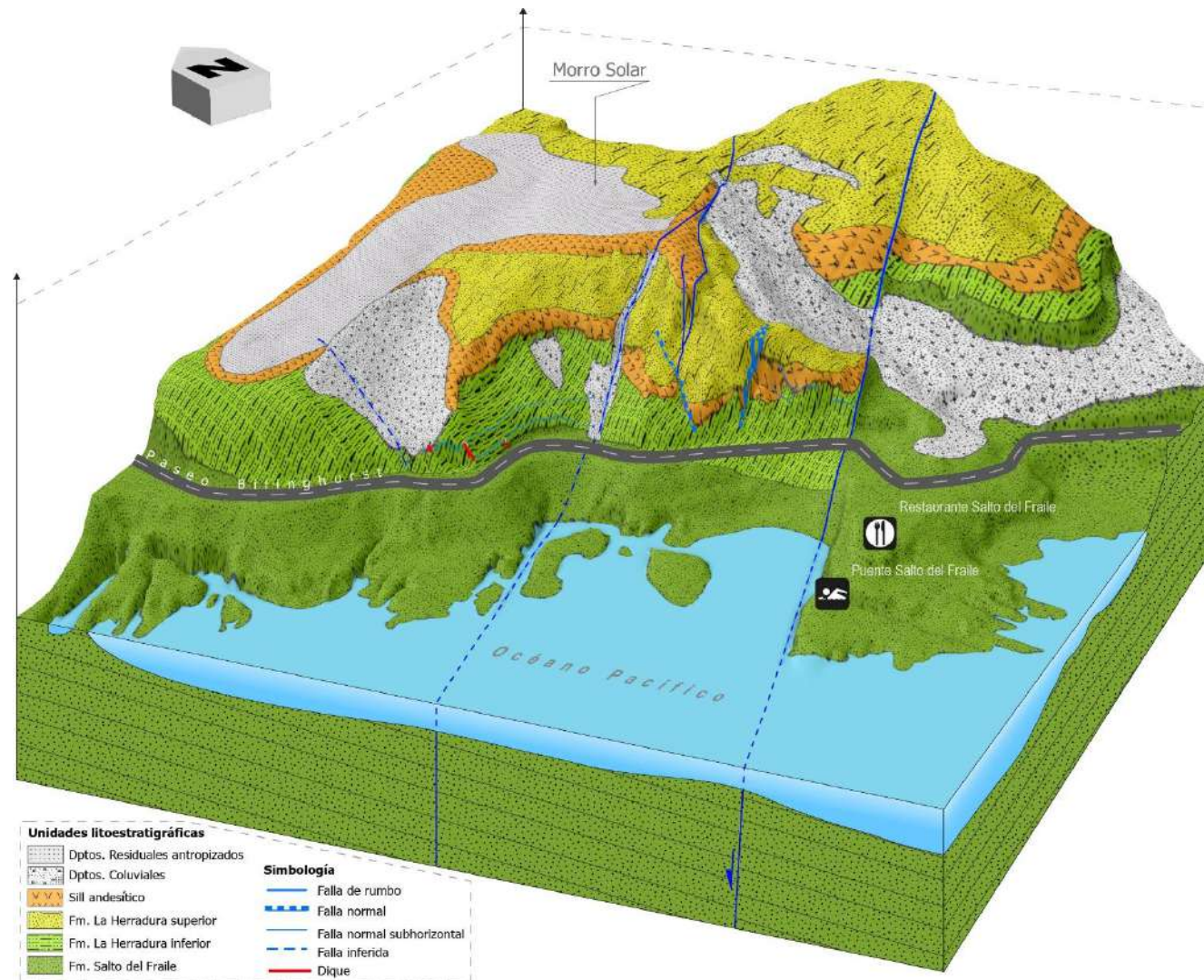


Figura 4. Block diagrama tridimensional donde se muestra las unidades litoestratigráficas y las estructuras principales que afloran en el sector Morro Solar.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio corresponden a las formaciones Salto del Fraile y La Herradura, asimismo, los depósitos cuaternarios que cubren discordantemente a los anteriores.

3.1.1. Formación Salto del Fraile

La Formación Salto del Fraile aflora en la parte sureste del área de estudio, justo al frente del restaurante homónimo a esta unidad. En este sector, se observa areniscas cuarzosas de grano medio a grueso de color gris blanquecino con tonalidades amarillentas en estratos de 15 a 50 cm de espesor. La morfología de sus estratos presenta formas tabulares con trazas rectas ligeramente inclinadas al suroeste.

Esta unidad presenta un nivel de fracturamiento de moderado a fuerte, identificándose cuatro sistemas de discontinuidades con espaciamientos que van de 10 a 60 cm y con aberturas 0.8 a 3 cm. Estas rocas presentan superficialmente una moderada meteorización.

Desde el punto de vista geotécnico, a través de la caracterización de la estación geomecánica nos muestra el valor RMR de 56, donde se cataloga como macizo rocoso regular.



Figura 5. Areniscas en estratos medianos ligeramente inclinados al sureste correspondiente a la Formación Salto del Fraile. Nótese, el macizo rocoso muy fracturado y moderada meteorización. En la esquina superior derecha se observa detalle de las areniscas cuarzosas blanquecinas a amarillentas de grano medio a grueso. Vista mirando al este.

3.1.2. Formación La Herradura

Esta unidad aflora a lo largo del talud que expone el acantilado del Morro Solar. La base empieza con una secuencia de lutitas negras algo abigarradas en bancos centimétricos

formando paquetes de 2 a 3 m de espesor que se intercalan con niveles de 30 cm de areniscas negras de grano medio a fino y limolitas areniscósas. La parte media se caracteriza de pasar de un material fino a un nivel grueso representado por las areniscas y lutitas en paquetes de 2 m intercaladas con areniscas cuarzosas negras de grano medio a fino y lutitas y limolitas gris negras al tope.

Esta unidad se encuentra intruída de manera paralela a sus estratos por un *sill* andesítico de 3.2 m de espesor.

La Formación La Herradura presentan en varios puntos de afloramiento un grado de fracturamiento de medio a alto, identificándose hasta cinco sistemas de discontinuidades con espaciamentos que van de 0.6 a 18 cm y con aberturas de 0.1 a 0.6 cm. Asimismo, estas rocas se encuentran fuertemente meteorizadas.

De acuerdo a la caracterización geomecánica, los macizos de las rocas de la Formación Salto del Fraile, se encuentran en el rango 37 a 45 RMR, donde se catalogan geotécnicamente como macizos de calidad regular a mala.

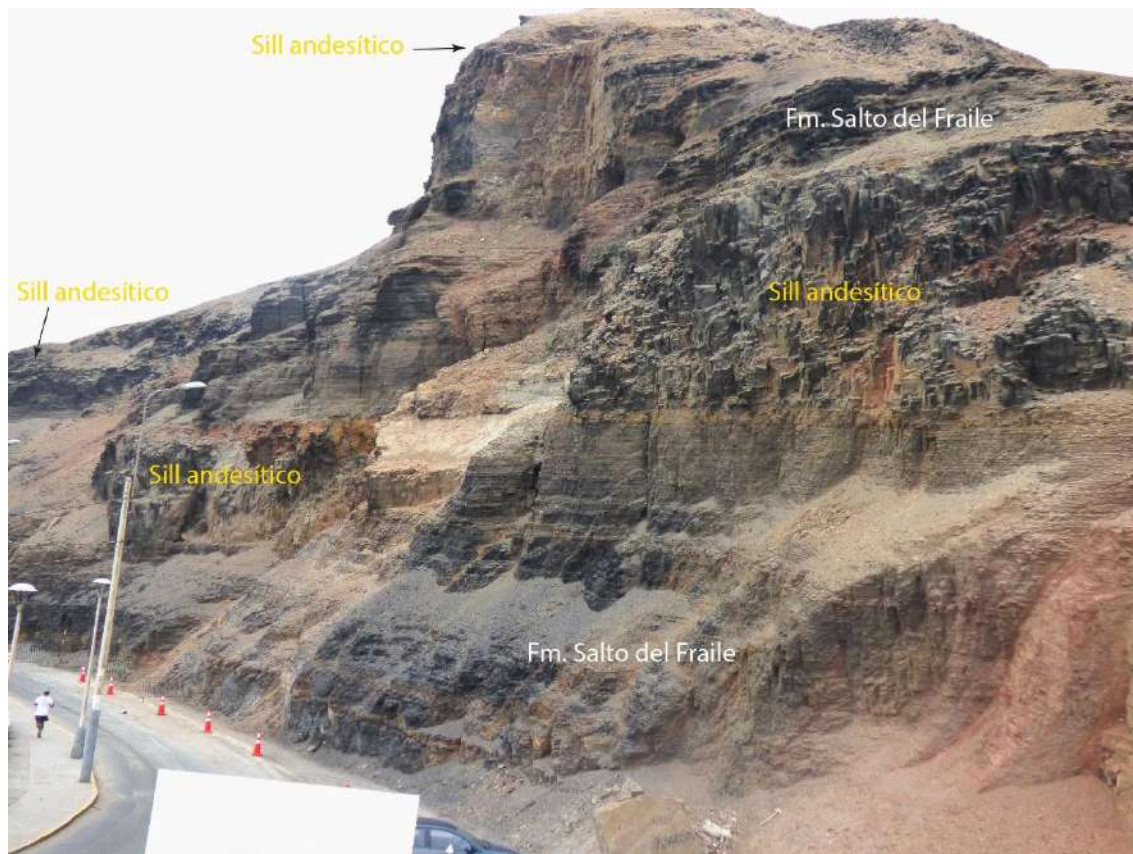


Figura 6. Afloramiento de la Formación La Herradura. Intercalación de lutitas negras algo abigarradas con areniscas negras de grano medio a fino, intruída paralelamente por un *sill* andesítico. Nótese, los macizos rocosos muy fracturados y moderada a fuertemente meteorizados. Vista panorámica mirando al norte.



Fotografía 3. Detalle de la parte inferior (base) de la Formación La Herradura. Lutitas negras en bancos delgados. Se observa características físicas del afloramiento con aspecto fisible típicas de las lutitas. Nótese el macizo rocoso muy fracturado y de moderado a fuertemente meteorizado. Vista mirando al noreste.

3.1.3. Depósitos coluviales

Son depósitos superficiales que cubren discordántemente a las formaciones Saldo del Fraile y La Herradura. Estas secuencias presentan características físicas poco consolidadas dispuestos en el talud del acantilado y en la parte superior. Se caracteriza por presentar fragmentos angulosos a subangulosos heterométricos con diámetro de 5 a 25 cm, inmersos en una matriz areno limosa. Por su naturaleza suelta e inconsolidada, este depósito presenta baja cohesión y ofrecen poca resistencia a la erosión, lo que son susceptibles a removilización y derrumbes de mediana magnitud (**Figura 5 y fotografías 4 y 5**).



Fotografía 4. Depósitos coluviales dispuestos en el talud del acantilado en el sector del Morro Solar. Vista mirando al noreste.



Fotografía 5. Depósitos coluviales dispuesto de manera discordante sobre la parte superior del talud en el sector del Morro Solar. Vista mirando al noreste.

3.2. Aspectos estructurales

El sistema estructural del sector del Morro Solar es complejo, existen estructuras mayores de dirección NO-SE, NEE-SOO (fallas) y estructuras menores de dirección NE-SO, NEE-SSO y E-O (fracturas, diaclasas y discontinuidades) que se extienden en diferentes direcciones que afectan y atraviesan de manera longitudinal y transversalmente las rocas del Grupo Morro Solar.

Las estructuras se desarrollaron tectónicamente en tiempos diferentes a lo largo de su historia geológica, el cual, la interacción tectónica y mecánica de las propias rocas han dado lugar a la formación de un conjunto de estructuras que contribuyeron muy posiblemente en el cambio del comportamiento litológico y geomecánico de los macizos rocosos que en la actualidad se relacionan espacialmente y de manera indirecta con movimientos en masa tipo caída de rocas y bloques en la cara oeste del acantilado en el sector del Morro Solar, el cual se describen a continuación (**Figura 7**).

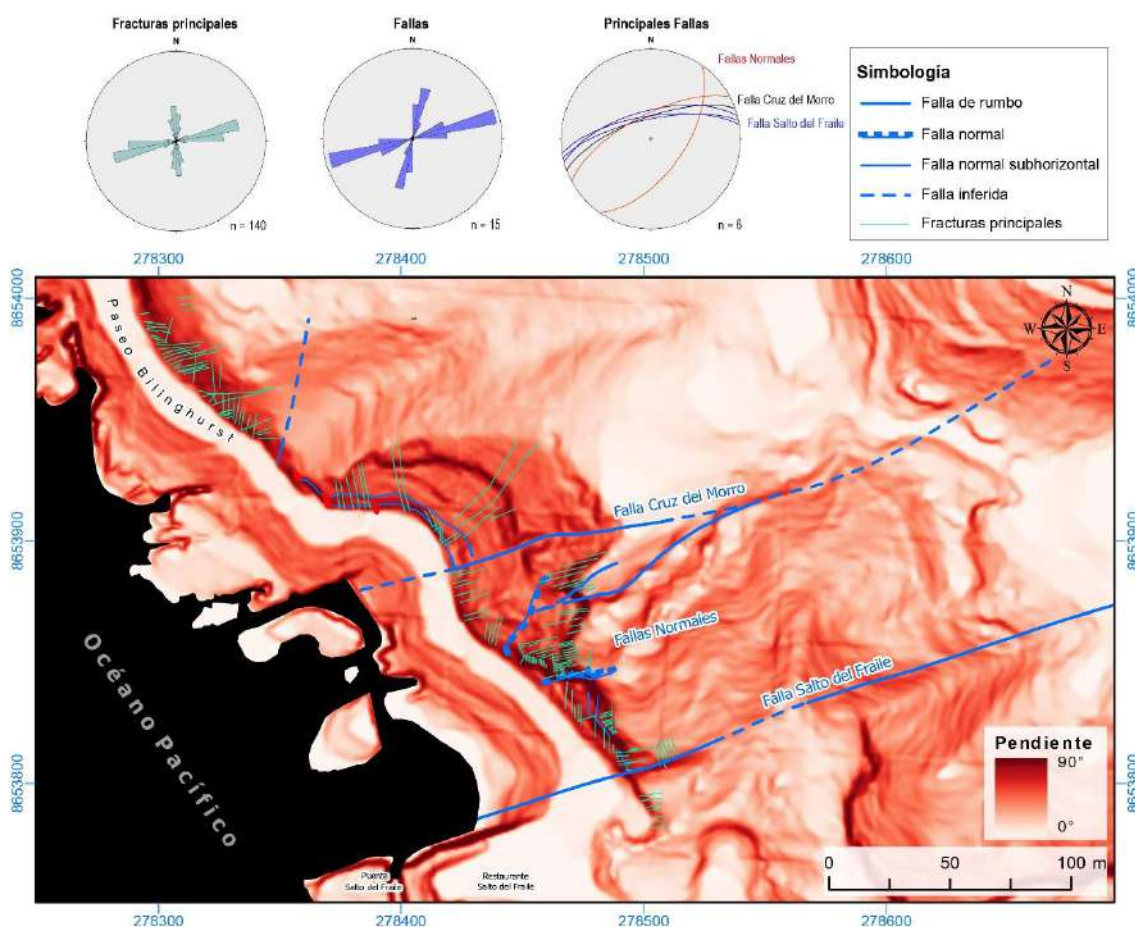


Figura 7. Mapa estructural, donde se muestran las principales estructuras y sus proyecciones estereográficas que afectan los macizos rocosos del acantilado en el sector Morro Solar. Asimismo, se observa cambios bruscos de pendiente (tonalidad roja) relacionado en algunos casos con las fallas y las fracturas principales.

3.2.1. Falla Salto del Fraile

Esta estructura se extiende en promedio con dirección N261° y con fuerte buzamiento de 69° hacia el NO. Se trata de una falla que es la responsable de poner en contacto directo la Formación Salto del Fraile (hanging wall) con La Formación La Herradura (foot wall) (**Figuras 7 y 8A**).

Esta estructura es la expresión superficial de la falla que se prolonga en profundidad, donde se logra observar fracturas asociadas a ella y sistemas de diaclasas y discontinuidades que en conjunto afectan indirectamente la estabilidad del macizo rocoso en la parte sureste del sector Morro Solar (**Figura 7 y 8**).

En la figura 8 se observa al menos dos sistemas principales de fracturas que se cortan entre sí, dando la apariencia a un corte en forma de cruz, el cual se asocia espacialmente a la Falla Salto del Fraile. Las fracturas de color rojo se desprenden de manera oblicua en dirección N-S y NNE-SSO de la falla, mientras que, las fracturas de color amarillo en forma paralela a semiparalela en dirección NE-SE y E-O (**Figuras 8A y 8B**). Por otro lado, las diaclasas (líneas de color naranja) se distribuyen perpendicular a la falla, y está muy relacionado a fracturas generadas por estructuras de enfriamiento tipo disyunción columnar al momento de emplazarse el *sill* andesítico (**Figura 8C**).

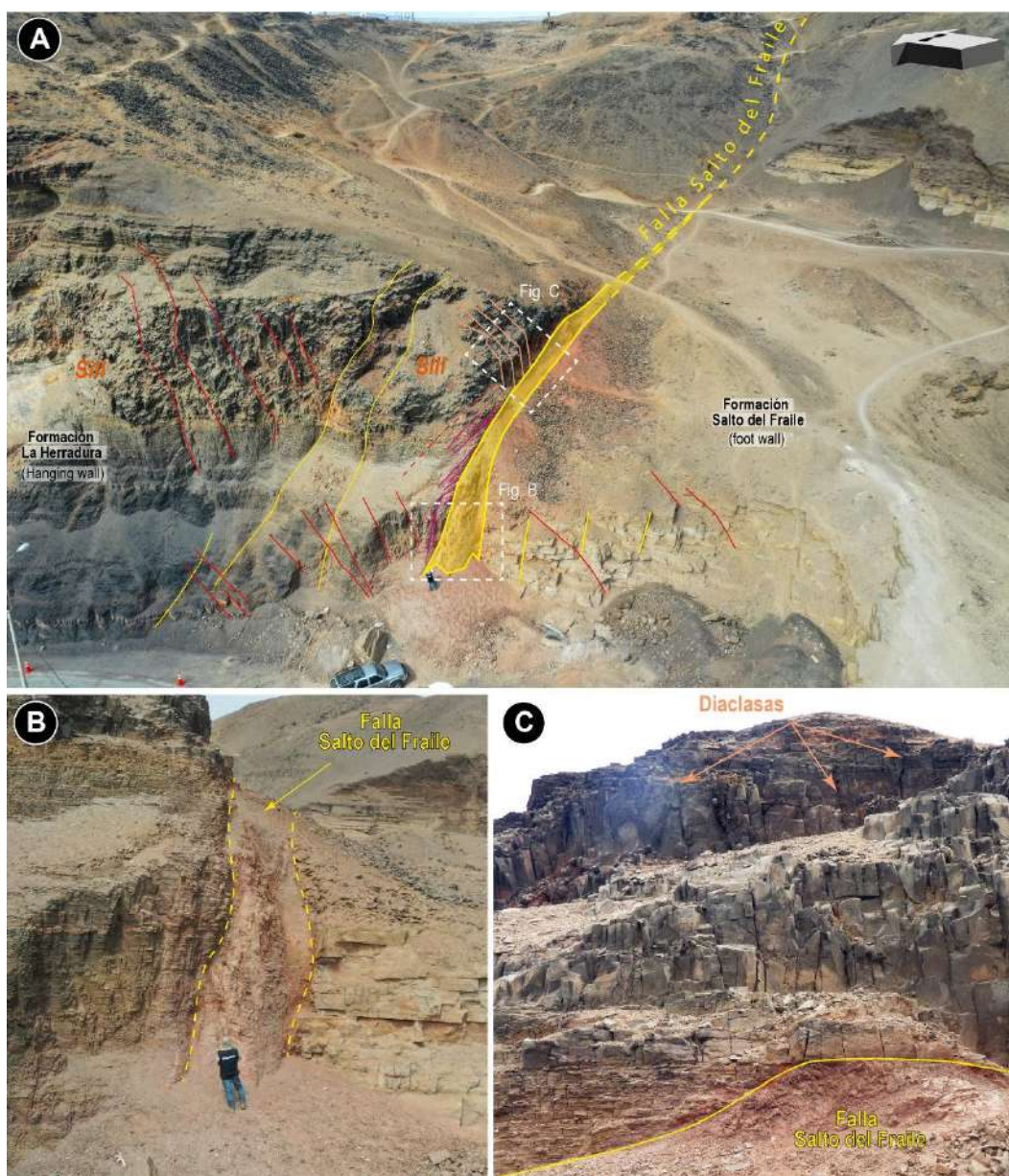


Figura 8. La Falla Salto del Fraile responsable de poner en contacto directo a la Formación Salto de Fraile con la Formación La Herradura. A) Relación espacial de la Falla Salto del Fraile con las fracturas y diaclasas que afectan al macizo rocoso. Vista panorámica mirando al este. B) Detalle

de la Falla Salto de Fraile. C) Sistema de diaclasas que se extienden de manera perpendicular a la dirección de la Falla Salto del Fraile, estas diaclasas están estrechamente relacionadas a la estructura de enfriamiento tipo disyunción columnar del *sill* andesítico.

3.2.2. Fallas normales

En el sector Morro Solar se ha cartografiado dos fallas normales principales que cortan transversalmente al acantilado y se extienden en dirección NE-SO y NEE-SOO, ambas fallas presentan un alto buzamiento en sentido contrario, el cual según su geometría y morfología se emplazan en estructura tipo *graben* (**Figuras 7 y 9**).

Estas fallas afectan a las rocas de la Formación La Herradura y a los *sills* emplazados en la parte inferior y superior del talud del acantilado. En la figura 9 se observa que la zona de fallas normales guarda relación con un intenso fracturamiento que afectan principalmente la parte superior del macizo rocoso, donde las fracturas discontinuidades se extienden espacialmente en dirección paralela y subparalelas a estas fallas. Este fuerte fracturamiento se da en la cara subvertical del talud, el cual tiene relación con zonas de alta susceptibilidad a desprendimiento y caída de rocas (**Figura 9**).

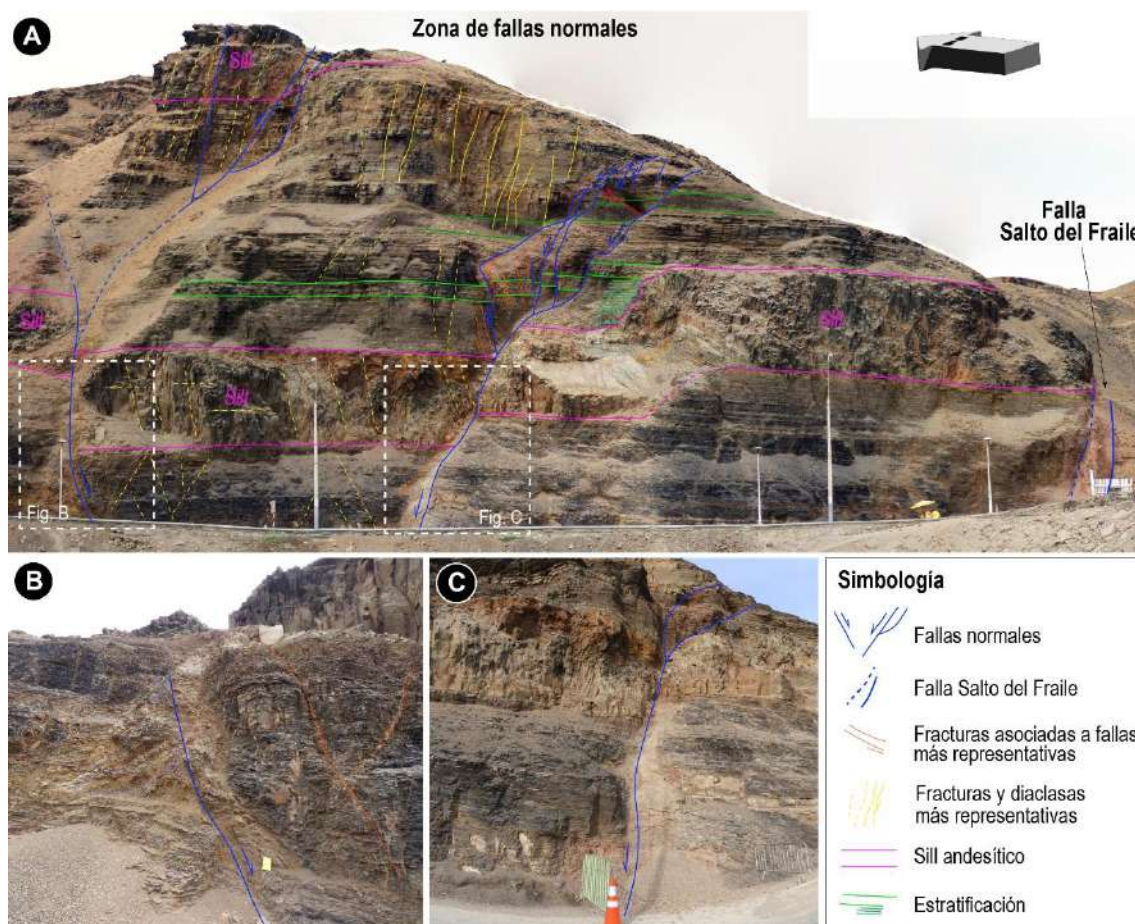


Figura 9. A) Zona de fallas normales relacionadas con las fracturas y diaclasas que afectan el macizo rocoso en el sector Morro Solar. Vista panorámica mirando al noreste. B) y C) Detalle de las fallas normales, donde ambas se inclinan en sentido contrario en aparente estructura tipo *graben*.

3.2.3. Falla Cruz del Morro

Se trata de una estructura que corta transversalmente al acantilado, esta falla se extiende en dirección N250° con buzamiento de 70° al NO. Se observa una fuerte esquistosidad en el que, se alinea paralelamente a la dirección de la estructura principal. La falla Cruz del Morro afecta a las areniscas y lutitas de la Formación La Herradura y al sill andesítico. La interacción de la falla con las fracturas y diaclasas relevan cierta relación espacial, donde se observa principalmente en la parte inferior del talud. Mientras que, en la parte superior se evidencian un fuerte diaclasamiento en dirección NE-SO afectando el sill andesítico, el cual configura una zona susceptible a movimiento en masa tipo caída de rocas (**Figura 10**).



Figura 10. A) Falla Cruz del Morro que afecta a las rocas de la Formación La Herradura y al sill andesítico, se observa un fuerte fracturamiento en la parte inferior del talud. Vista mirando al noreste. B) Detalle de la falla donde se observa una fuerte esquistosidad paralela al trazo de la falla.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendiente del terreno

El análisis de la pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, ya que actúa como factor condicionante y dinámico en la propagación de las mismas.

Se consideraron seis rangos de pendientes que van de 0°-1° considerados terrenos llanos; 1°a 5° terrenos inclinados con pendiente suave; 5°a 15° pendiente moderada; 15°a 25° pendiente fuerte; 25°a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno como muy escarpado.

El sector Morro Solar, caracterizado principalmente por tener geoformas y estructuras de acantilado predominan pendientes muy pronunciadas que van de fuertes, muy fuertes a muy escarpados que oscilan entre 25° a >45°, el cual se relaciona con frentes rocosos abruptos muy fracturados provenientes de la parte superior de la cara oeste del talud del acantilado. Esta interacción entre la pendiente y el intenso fracturamiento constituye uno de los factores condicionantes más relevantes para la detonación de procesos gravitacionales, como caída de rocas (**Figura 11**).

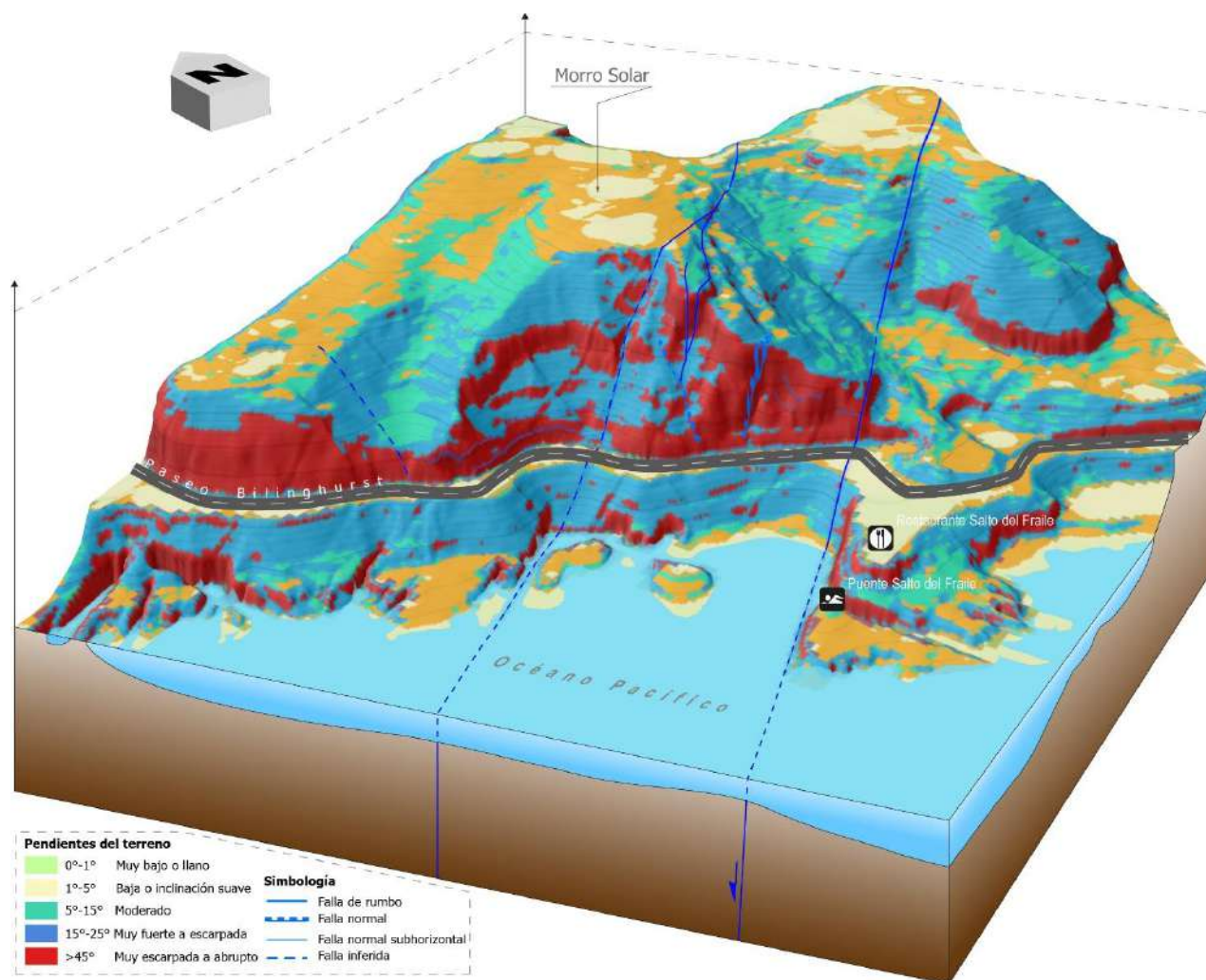


Figura 11. Block diagrama donde se muestra el rango de pendientes en el sector Morro Solar. Los valores de pendiente se generaron a partir de un DEM. Nótese, la estrecha relación del acantilado con pendientes muy pronunciadas.

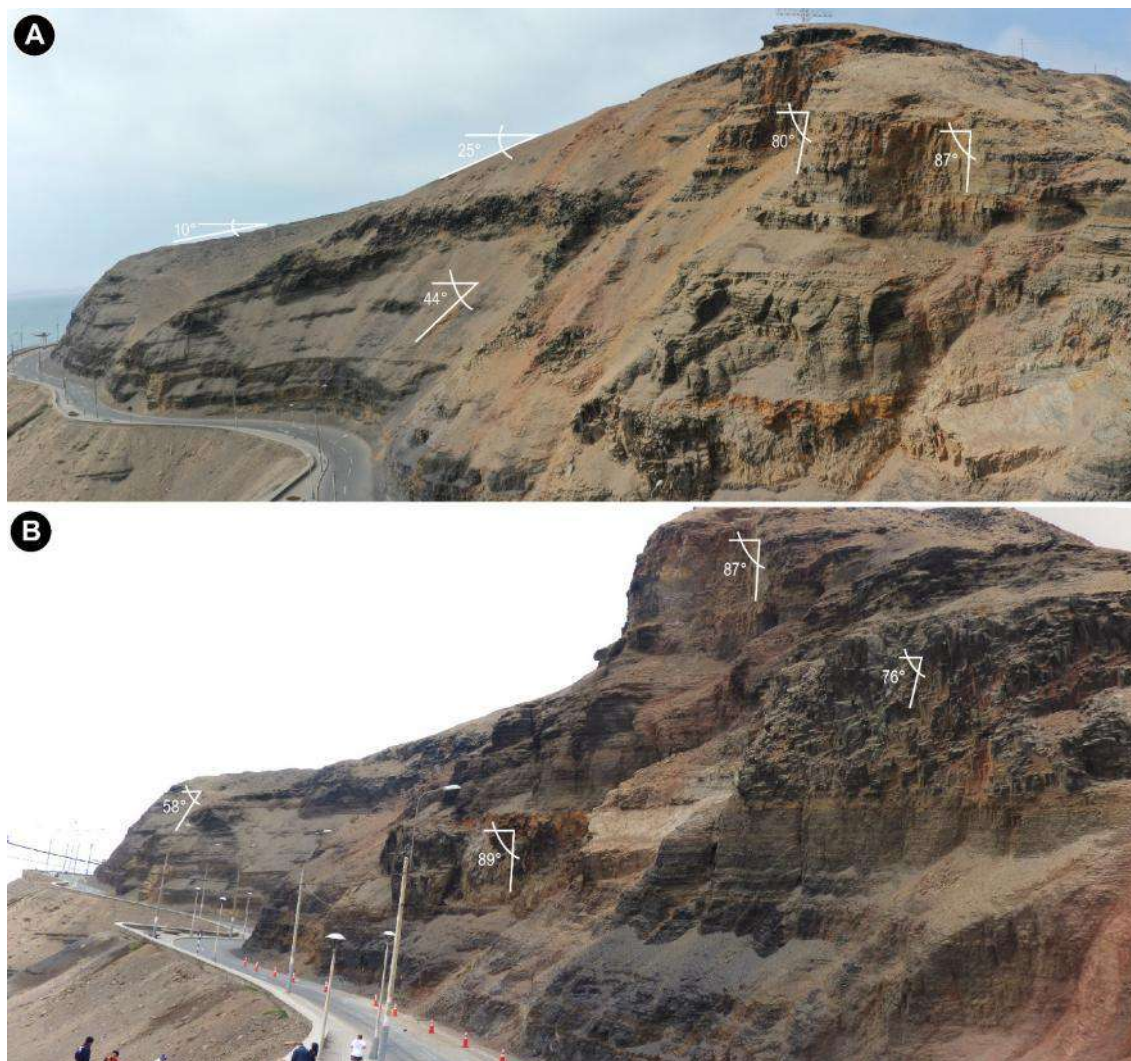


Figura 12. Pendientes muy pronunciadas relacionada a las zonas altamente susceptibles a movimientos gravitacionales en la cara oeste del acantilado en el sector Morro Solar. Vistas panorámicas mirando al norte.

4.2. Unidades y subunidades geomorfológicas

Las geoformas presentes que interactúan indirectamente con la generación de movimientos en masa del tipo de caída de rocas en el sector Morro Solar son la unidad de Lomadas y Colinas en roca sedimentaria y acantilado, el cual se detallan a continuación.

4.2.1. Lomadas y Colinas en roca sedimentaria

Geoforma modelada en rocas sedimentarias que forman las areniscas y lutitas de las formaciones Salto del Fraile y La Herradura del Grupo Morro Solar. Son colinas que empiezan desde el nivel del mar hasta los 82 m s.n.m.

Esta colina, en su extremo oeste ha dado lugar a la formación de un acantilado con paredes subverticales en la que representan zonas susceptibles a caída de rocas que ponen en peligro la vida humana.

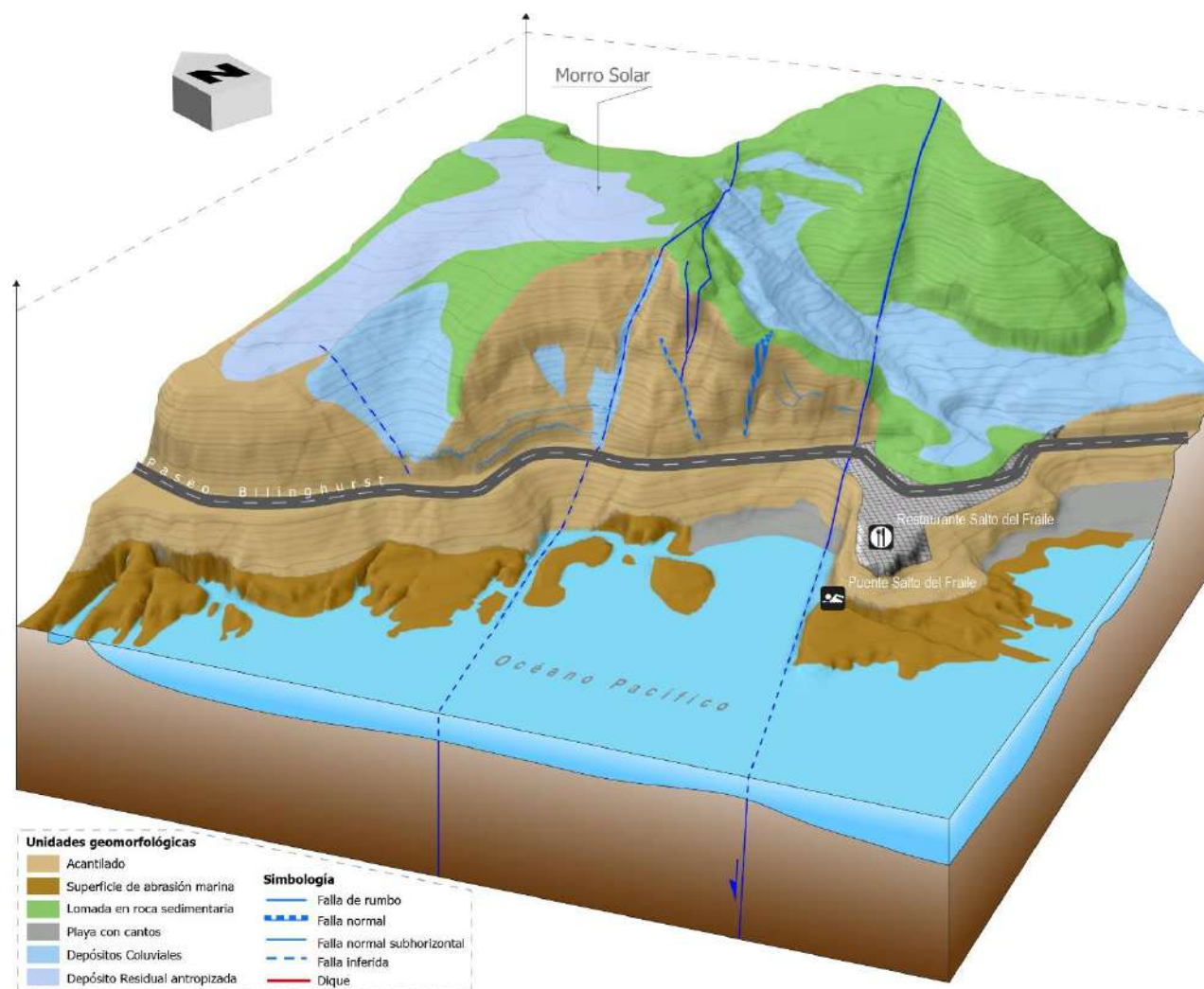


Figura 13. Block diagrama donde se muestra las unidades geomorfológicas en el sector Morro Solar. Nótese, el acantilado ubicado en la ladera oeste de la lomada, donde se asocia principalmente a cambios bruscos de pendiente y movimientos en masa tipo caída de rocas.

4.2.2. Acantilado

Se trata de una geoforma caracterizada por una morfología abrupta con una pendiente casi vertical desarrollada entre el límite del continente y el mar, donde su relieve irregular y escarpado de aspecto rugoso y punteado han dado como resultado producto de la interacción entre los procesos marinos, como la socavación marina y abrasión por oleaje marino y así también derivado de la desintegración de un substrato rocoso previamente deformado y fracturado constituido de macizos incompetentes predominantemente de lutitas y areniscas atribuido al Grupo Morro Solar (**Figuras 14 y 15**).

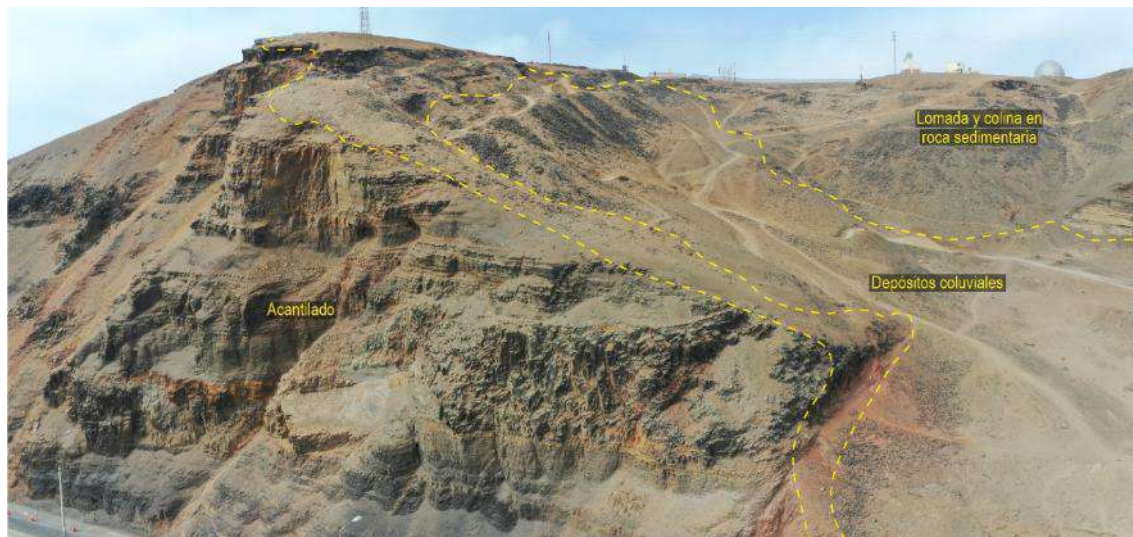


Figura 14. Geoformas de lomada y colina en roca sedimentaria y acantilado en el sector del Morro Solar. Vista panorámica mirando al noreste.



Figura 15. Geoformas de acantilado, superficie de abrasión marina y playa con cantos. Vista panorámica mirando al noreste.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el área estudiada se identificaron y cartografiaron procesos de movimientos en masa, lo que configuran como peligros geológicos según la clasificación sugerida por el “Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007”.

El acantilado del Morro Solar ha sido escenario de múltiples eventos de caída de rocas, el cual, representa uno de los fenómenos más recurrentes y de mayor peligrosidad, debido a la pendiente fuerte a muy del talud, la presencia de estructuras geológicas que generaron el intenso fracturamiento del macizo rocoso.

El evento más reciente se reportó el pasado 01 de noviembre del año 2023, donde un derrumbe y caída de rocas se desprendió desde lo más alto del talud causando daños a la vida y la salud de las personas, según el reporte (COEN-INDECI) hubo una persona fallecida, dos heridos y daños en la carretera en un tramo de 6 m.

En el presente informe, se describen en detalle los principales peligros geológicos localizados en la ladera oeste del acantilado, con especial énfasis en los procesos de caída de rocas (**Figura 16**).

Durante la inspección de campo se identificaron caída de rocas en estado activo e inactivo latente, en donde se resalta siete áreas altamente críticas y susceptibles a caída, que de activarse afectaría el acantilado del Morro Solar, infraestructura vial y la población que transita por vía (**Figura 16**).

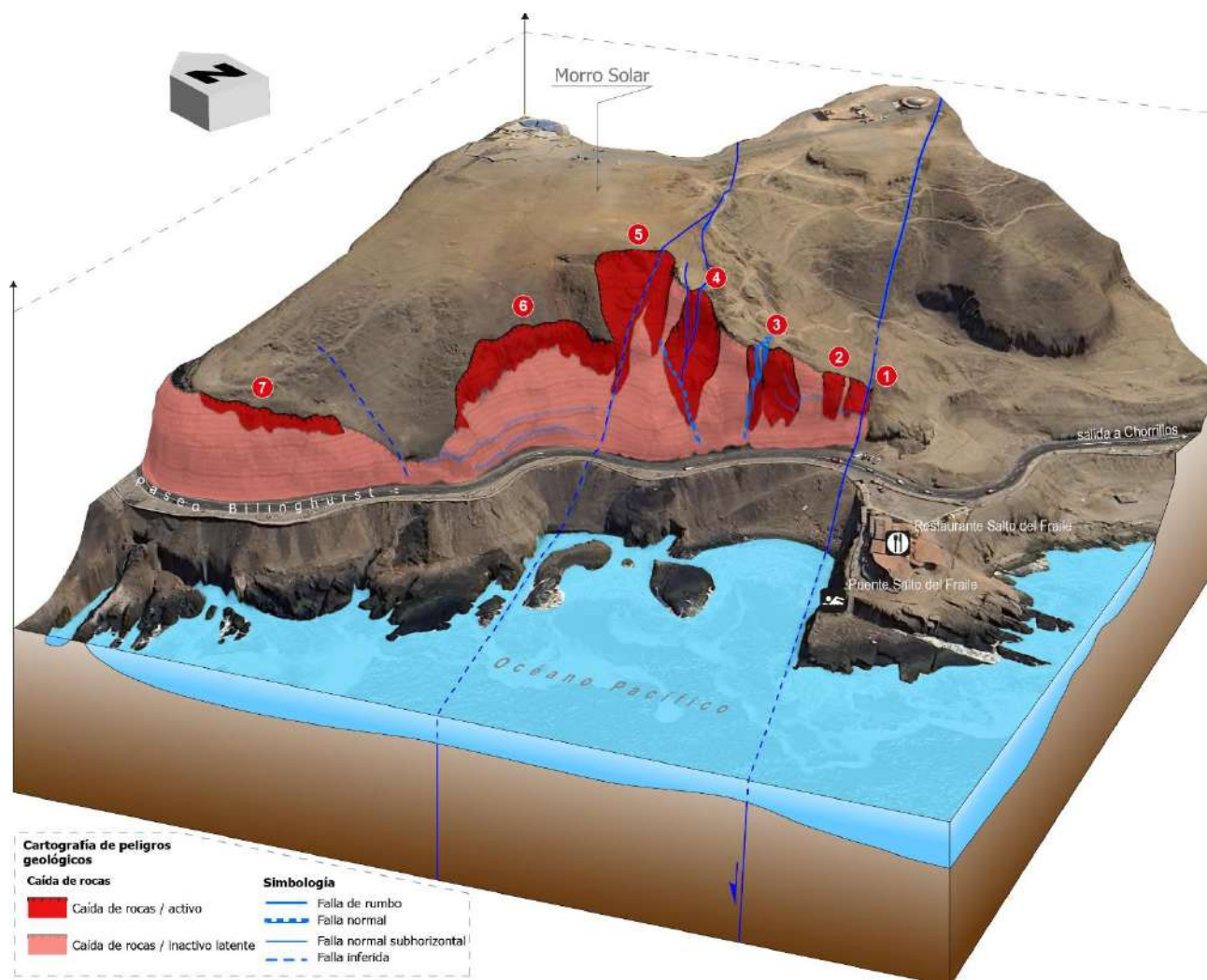


Figura 16. Block diagrama tridimensional donde se muestra los movimientos en masa tipo caída de rocas en el sector del Morro Solar. Sectores más críticos y muy susceptibles a caída de rocas. Imagen satelital de fondo extraída de Google Earth.

5.1. Caída de rocas

Estos eventos se registran en el acantilado ubicado en la ladera oeste del cerro Morro Solar. Este proceso de movimiento en masa asociado a la inestabilidad de taludes consiste en la caída repentina de una masa de rocas, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable, a lo que podrían estar relacionados como desencadenes a la ocurrencia de sismos y actividad antrópica.

En el caso del Morro Solar se identificó siete (07) zonas críticas altamente susceptibles a caída de rocas, estas zonas han sido cartografiados con el apoyo de estaciones geomecánicas que ayudaron a determinar y evaluar la calidad del macizo rocoso y estimar la probabilidad de desprendimiento asociado a diferentes mecanismos de rotura, tales como falla por volcamiento, cuña o planar.

Asimismo, se relacionan estrechamente con estructuras geológicas que se manifestaron en superficie a manera de fallas, fracturas, discontinuidades que ocasionaron muy probablemente un cambio en el comportamiento litológico y geomecánico de las rocas, el cual favorecieron negativamente las condiciones estructurales del talud y están confinadas con los procesos gravitacionales tipo caída de rocas (**Figuras 16**).

Se describen a continuación:

Zona 1. Se ubica al sureste del área de inspección, al frente del restaurante Salto del Fraile. Tiene una superficie de arranque con morfología semicircular continua que llega a recorrer una longitud de 21 m. El área comprometida tiene ~115 m² que afecta la cara libre del talud occidental del acantilado.

Por otro lado, este sector se ubica en el flanco norte de la Falla Salto del Fraile que estaría posiblemente muy relacionada con el cambio en el comportamiento geomecánico del macizo, dando lugar a la inestabilidad estructural del talud (**Figura 16**).

Esta zona compromete principalmente a las rocas andesíticas muy fracturadas del *sill* que emplazó a las rocas incompetentes de la Formación Salto del Fraile. De acuerdo al análisis cinemático de la estación geomecánica relacionada a la E2, el mecanismo de rotura estimada se da por volcadura y cuña.

Zona 2. Se localiza adyacente a la zona 1, tiene una superficie de arranque con longitud de 20 m y compromete un área de 80 m² que afecta a un macizo incompetente conformado de lutitas previamente muy fracturado y *sill* andesítico con aspecto muy fragmentado y triturado situadas en la cara subvertical del talud, el cual configura como zona muy susceptible a procesos de caída.

La zona susceptible proviene de un área constituido litológicamente por un *sill* andesítico muy fracturado, producto de su emplazamiento en estructura de disyunción columnar, el cual generó fracturas ortogonales y bloques prismáticos propensos a caída. Esta zona se relaciona espacialmente con las estaciones geomecánicas E2 y E3, en el que se asocia con mecanismos de rotura tipo volcamiento (toppling) y cuña (**Figuras 16**).

Zona 3. Se localiza al noroeste a 20 m de la zona 2, se trata de una zona altamente susceptible a caída, donde tiene una superficie de ruptura con morfología semicircular cóncava de 45 m de longitud y afecta compromete un área de ~256 m², afectando a la base rocas fisibles de lutitas y areniscas mientras que, en la parte superior areniscas intercaladas con un *sill* andesítico muy fracturado.

Estructuralmente, esta zona se encuentra afectado por un sistema de fallas normales que atraviesan transversalmente al talud del acantilado.

Las fallas han dado lugar a la generación de fracturas subverticales que afectan directamente a *sill* andesítico intercalado con areniscas, formando bloques columnares inestables, que los convierten altamente susceptibles a desprendimiento y caída.

En la parte superior, a 18 m de la carretera se halla un macizo rocoso afectado por un sistema de fracturas cuya inclinación de los sets de discontinuidades dominantes coinciden con la pendiente muy pronunciada.

De acuerdo al análisis cinemático y geomecánico se relaciona con la estación geomecánica E6 y se estima un mecanismo de rotura tipo cuña y planar.

Zona 4. Se ubica a 72 m de la carretera, la superficie de arranque presenta una morfología semicircular con longitud de 55 m y compromete un área de 617 m², el cual engloba una zona afectada por la prolongación de una falla normal. Las fracturas y discontinuidades relacionadas espacialmente con la falla han generado sets de discontinuidades que se alinean con la pendiente, el cual las convierten en zonas propensas a caída (**Figura 16**).

Zona 5. Se ubica en la parte superior del talud, la superficie de arranque nace en la cota ~82 m s.n.m. y tiene una morfología semicircular y cóncava que recorre una longitud de 104 m. Se trata de un macizo rocoso constituido por el emplazamiento de un *sill* andesítico muy fracturado, que a su vez se encuentra afectado por la proyección de una falla normal, manifestándose a través de fracturas subverticales que atraviesan transversalmente el talud del acantilado.

La zona afectada tiene un área de ~1100 m². Este conjunto de fracturas y diaclasas afectan principalmente al *sill* andesítico situado en la parte superior del talud, el cual se encuentra muy fracturado de donde se derivan bloques prismáticos de 40 a 50 cm de diámetro propensos a caída (**Figura 16**).

Zona 6. El área afectada se extiende de manera longitudinal ubicada en la parte media del talud del acantilado. Los bloques más propensos a caída provienen de un *sill* andesítico que se emplaza de manera subhorizontal y que previamente ha sido muy fracturado, características físicas propias de su entorno geológico, el cual configura una zona altamente susceptible a caída. La superficie de arranque nace en la cota ~59 m s.n.m. y tiene una morfología semicircular abierta entre sus flancos con longitud de 104 m e involucra un área de ~678 m².

Zona 7. Esta zona se ubica cerca de la curva del Monumento Miguel Grau, en el trayecto de Chorrillos hacia el Salto del Fraile. Se trata de un área situada en la parte superior del talud del acantilado que involucra rocas muy fracturadas de un *sill* andesítico emplazado de manera subhorizontal. Estas rocas se encuentran sobre una pendiente muy fuerte. La superficie de arranque nace en la cota ~52 m s.n.m. y se extiende de manera longitudinal al talud afectando un área de 275 m².

5.1.1. Análisis cinemático de las estaciones geomecánicas relacionadas con la caída de rocas

Para determinar el comportamiento geotécnico de los macizos rocosos que afloran en el área de estudio, se ha caracterizado geomecánicamente en seis (06) estaciones, a través del cartografiado geotécnico y el análisis lito estructural utilizando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR: Rock Mass Rating, 1989).

Estos trabajos se realizaron con el fin de analizar las diferentes zonas de desprendimientos de rocas que se observaron en la etapa de campo, además, se realiza un análisis cinemático para cada estación, distribuidas a lo largo del talud, con la

finalidad observar las inestabilidades potenciales a través de proyecciones estereográficas.

En todos los análisis se utilizó un ángulo de fricción en función de la litología dominante de cada estación geomecánica y definido por el software RocData, donde el valor obtenido fue de acuerdo a las mediciones realizadas in situ.

Estación geomecánica E1

Se ubica al frente del restaurante Salto del Fraile, y se realizó el mapeo geotécnico sobre el macizo rocoso constituido de areniscas cuarzosas atribuidas a la Formación Salto del Fraile.

Presenta probabilidad de rotura por volcamiento flexural (toppling), la cual se desarrolla a través de las discontinuidades J3 con buzamientos ligeramente opuestos a la cara del talud.

Las principales causas se dan por el sistema de fracturas casi ortogonales a los planos de estratificación. En el sector estudiado, estas condiciones de rotura no representan peligro debido a que la altura del talud apenas llega a 4 m y se encuentra a 6 m de la carretera. Sin embargo, ponen en evidencia el fuerte fracturamiento del macizo rocoso (Figura 17).

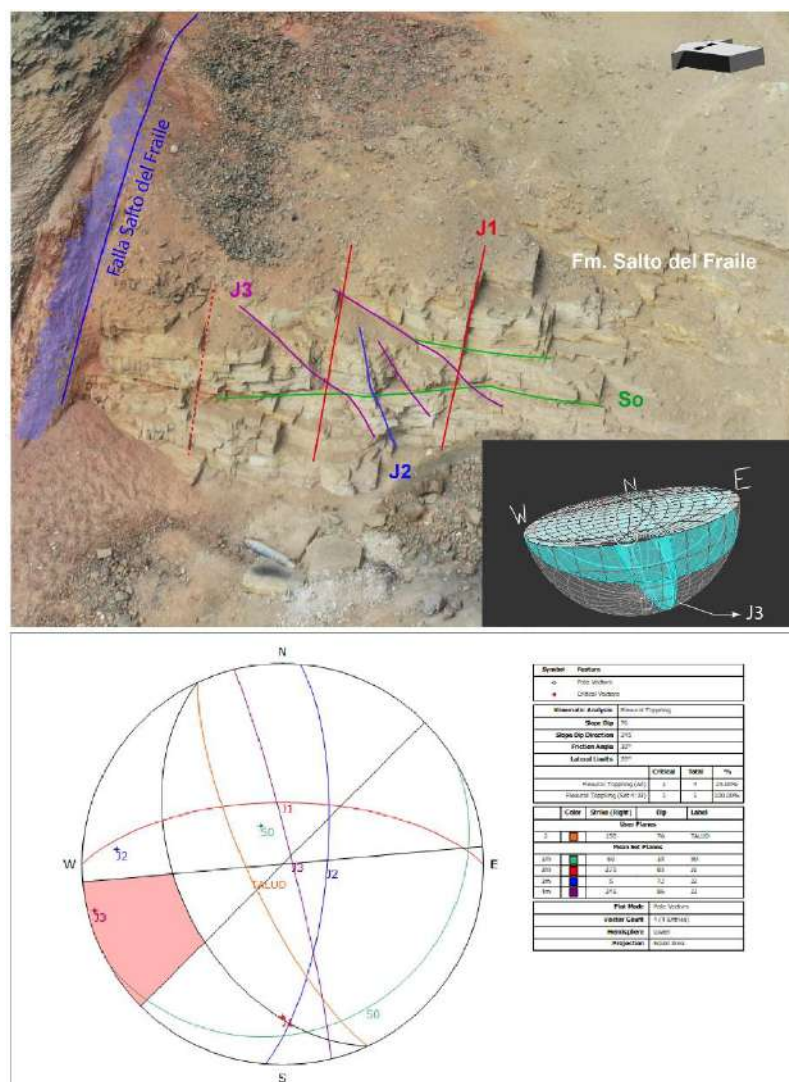


Figura 17. Análisis cinemático rotura tipo volcamiento flexural de la estación geomecánica E1.

Esta estación se ubica en la parte superior del talud sobre el bloque norte de la falla Salto del Fraile, situado al frente del restaurante homónimo. El mapeo geotécnico se realizó en el macizo rocoso previamente muy fracturado atribuido al *sill* andesítico.

De acuerdo al análisis cinemático, nos revela un mecanismo de rotura planar controlado principalmente por las discontinuidades J4 cuyos buzamientos coinciden estrechamente con la dirección de la pendiente del talud (**Figura 18**), mientras que para rotura en cuña está controlado por la intersección de los sistemas J4 y J5 (**Figura 19**). Los bloques generados por el intenso fracturamiento, generan bloques prismáticos que en algunos casos se encuentran ligeramente movidos, lo que les convierte en zonas propensas a caída.

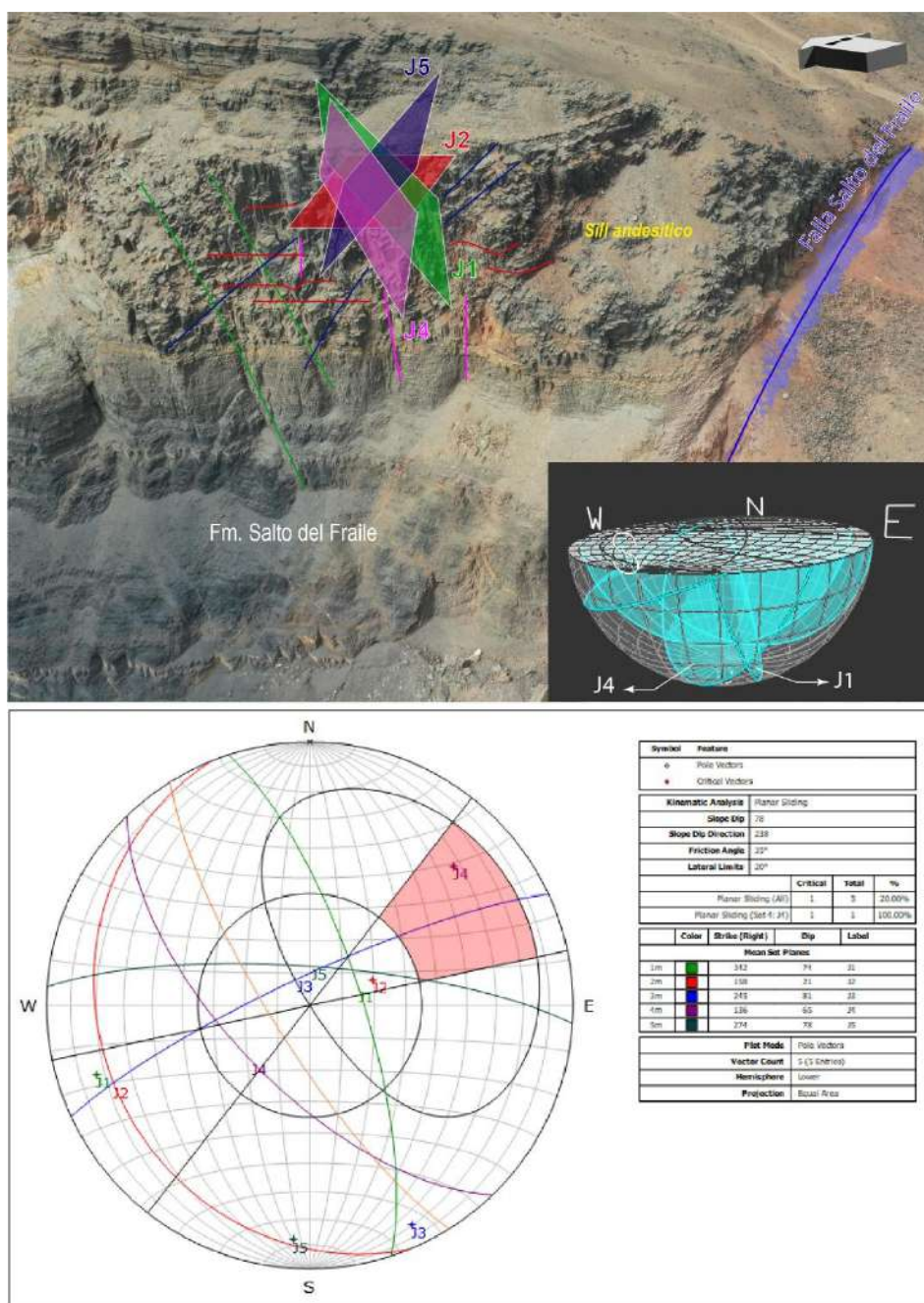


Figura 18. Análisis cinemático por mecanismo de rotura planar de la estación geomecánica E2.

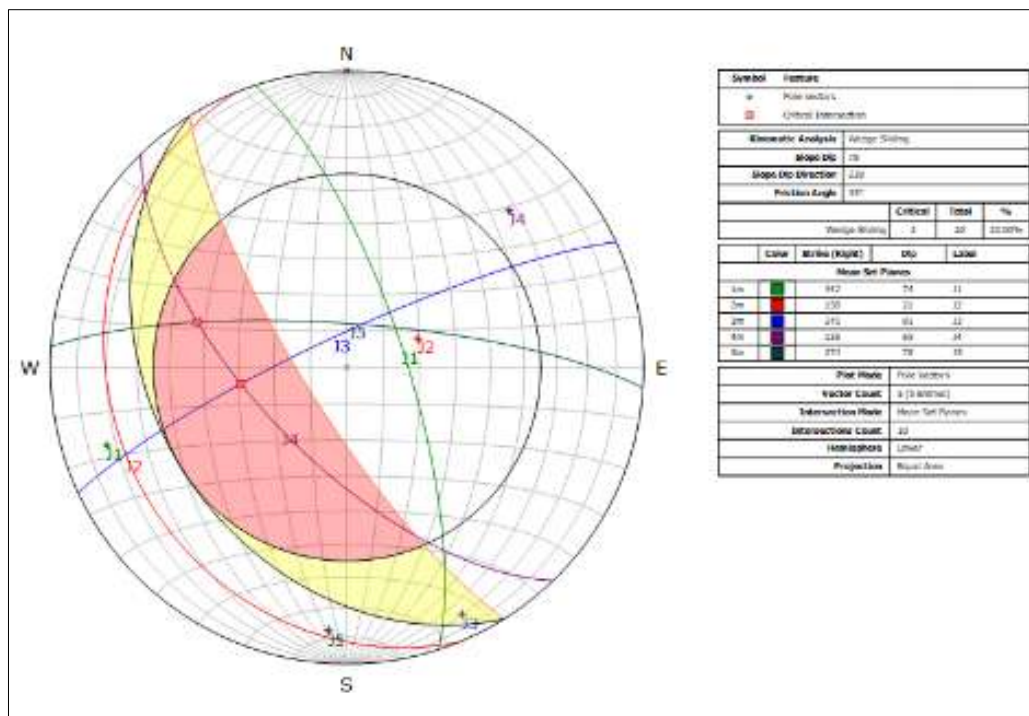


Figura 19. Análisis cinemático por mecanismo de rotura en cuña de la estación geomecánica E2.

Estación geomecánica E3

Se ubica en la parte inferior del talud, constituido por un macizo rocoso muy fracturado representado por las lutitas y areniscas de la Formación Salto del Fraile.

El análisis cinemático pone en evidencia la alta probabilidad de enfrentar mecanismos de rotura tipo volcamiento flexural (toppling) controlado por el sistema de discontinuidades F (fractura) cuya dirección de buzamiento es opuesto a la cara oeste del talud (**Figura 20**).

Por otro lado, este conjunto de discontinuidades se prolonga y proyectan hacia la parte superior del talud, donde logran alcanzar al sill andesítico muy fracturado, el cual representan zonas altamente susceptibles a caída (**Figura 20**).

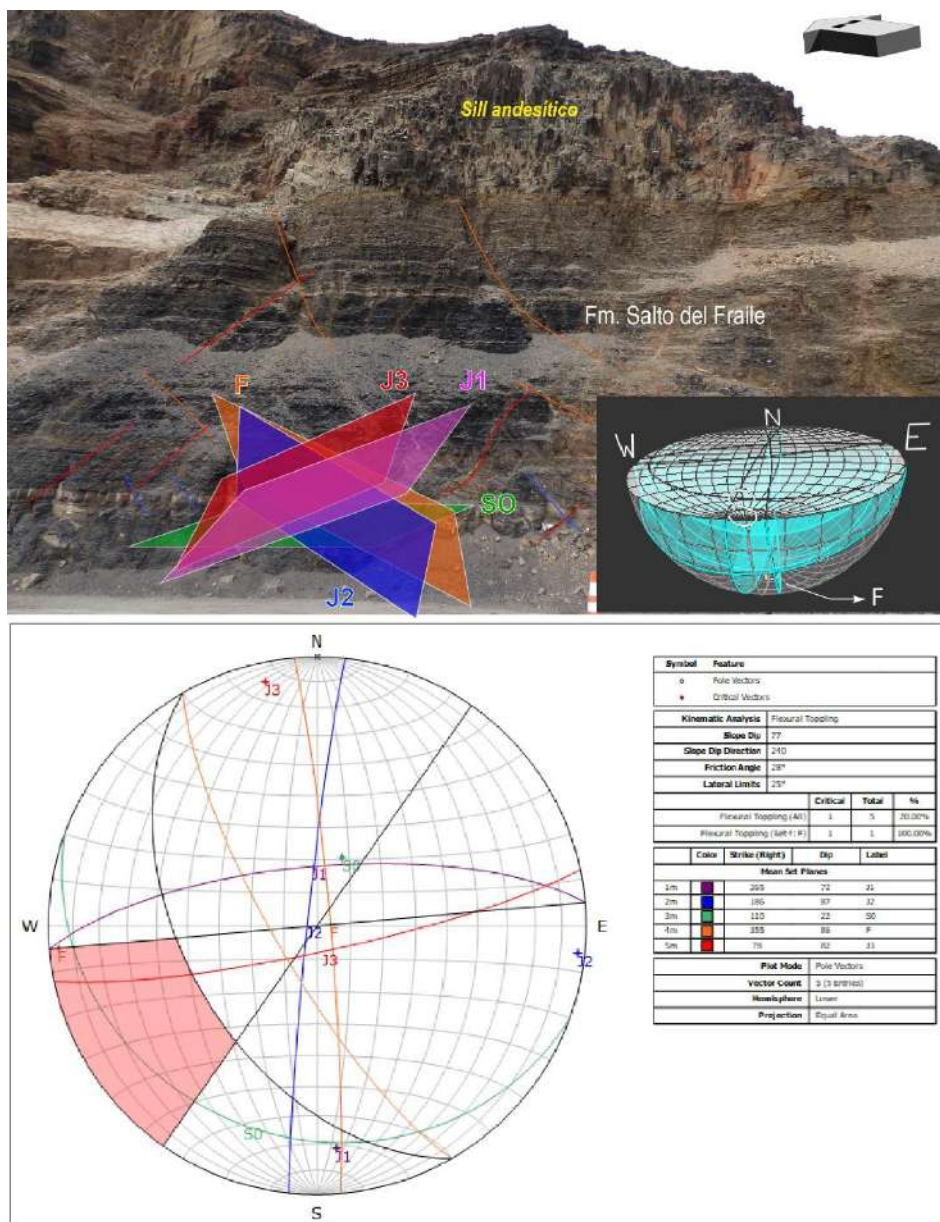


Figura 20. Análisis cinemático por volcamiento flexural de la estación geomecánica E3.

Estación geomecánica E4

La estación E4 se ubica al norte de la zona de estudio. El mapeo geotécnico se realizó en el macizo rocoso muy fracturado atribuido a la Formación Salto del Fraile.

De acuerdo al análisis cinemático, nos muestra una alta probabilidad de mecanismos de falla o rotura tipo cuña controlada por los sistemas de discontinuidades J3 y J1, el cual, cuyos buzamientos se inclinan en sentido opuesto frente a la cara del suroeste del talud (**Figura 21**), mientras que, la probabilidad de presentar un mecanismo de rotura tipo planar controlada por la discontinuidad J3, el cual se inclina estrechamente en el mismo sentido de la pendiente del talud (**Figura 22**).

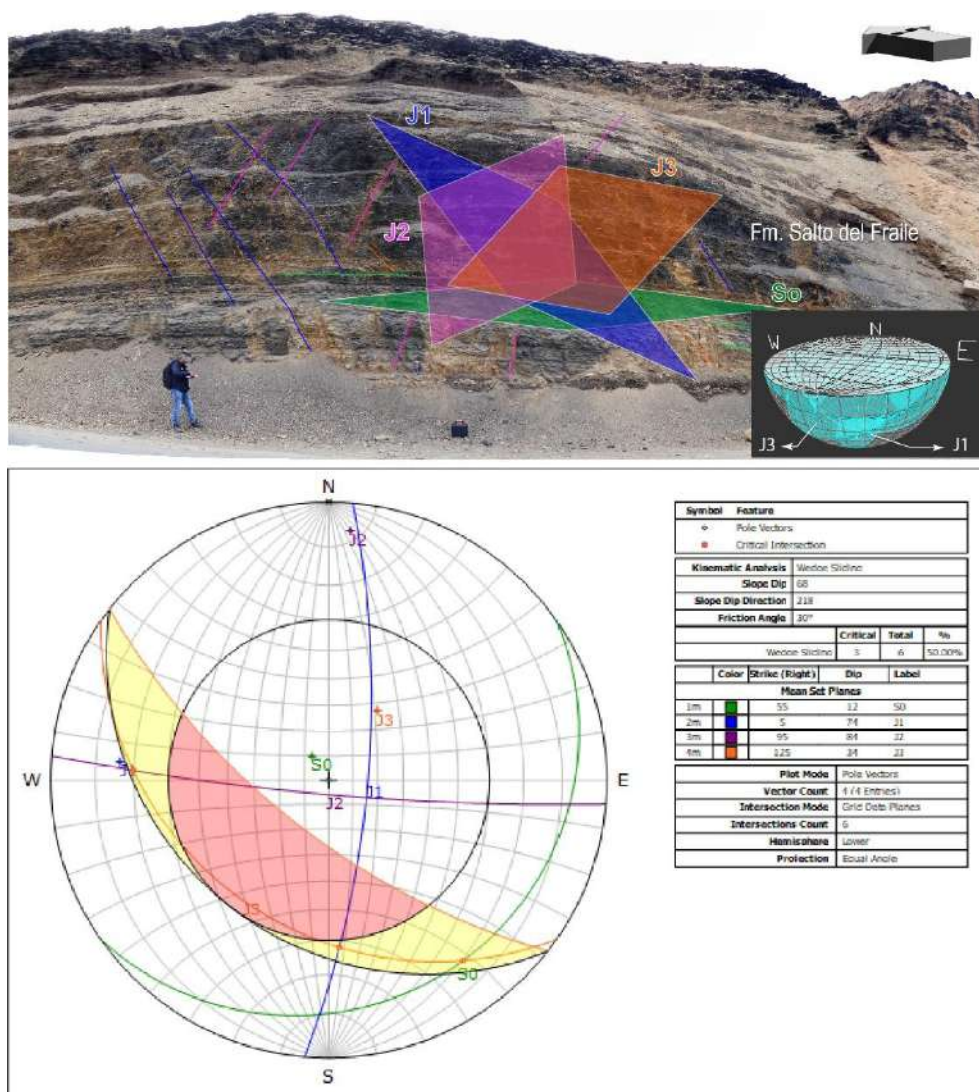


Figura 21. Análisis cinemático por rotura tipo cuña de la estación geomecánica E4.

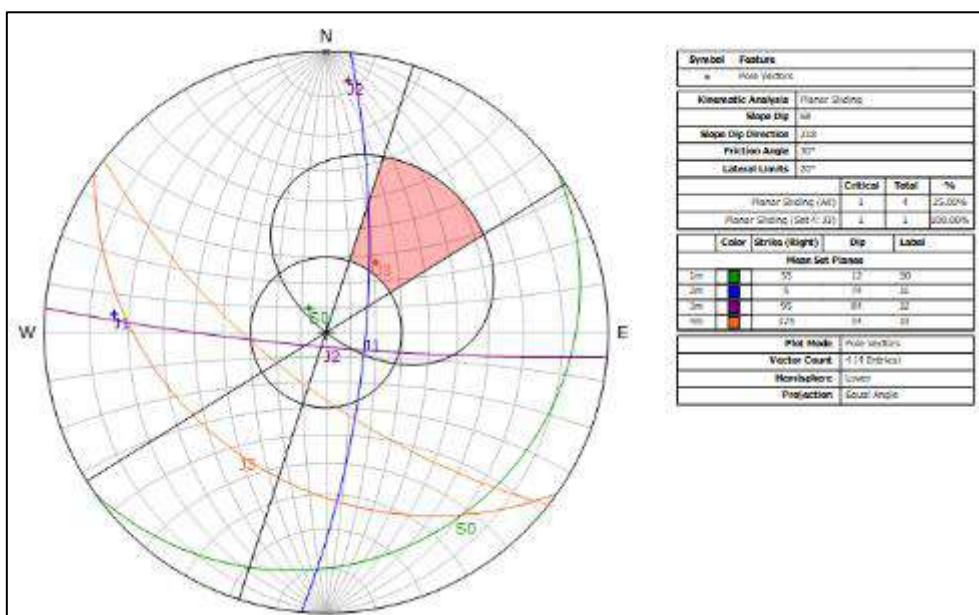


Figura 22. Análisis cinemático por rotura tipo cuña de la estación geomecánica E4.

Estación geomecánica E5

Se localiza en la zona norte del área de estudio, el levantamiento geotécnico se desarrolló sobre un macizo rocoso moderadamente incompetente atribuida a las secuencias de lutitas de la Formación Salto del Fraile.

Según el análisis cinemático del conjunto de plano de discontinuidades nos revela una alta probabilidad de mecanismos de falla o rotura tipo cuña controlado por la intersección de los planos del sistema de fracturas J2 y J3, cuyas inclinaciones de sus planos buzan en sentido opuesto con relación a la cara suroeste del talud (**Figura 23**).

En este sector se observa desprendimientos de rocas, los fragmentos llegan hasta 25 cm de diámetro, sin embargo, la prolongación de las discontinuidades se proyecta hacia la parte superior del talud y afectan al *sill* andesítico previamente muy fracturado, lo que le convierte en una zona muy susceptible a caída (**Figura 23**).

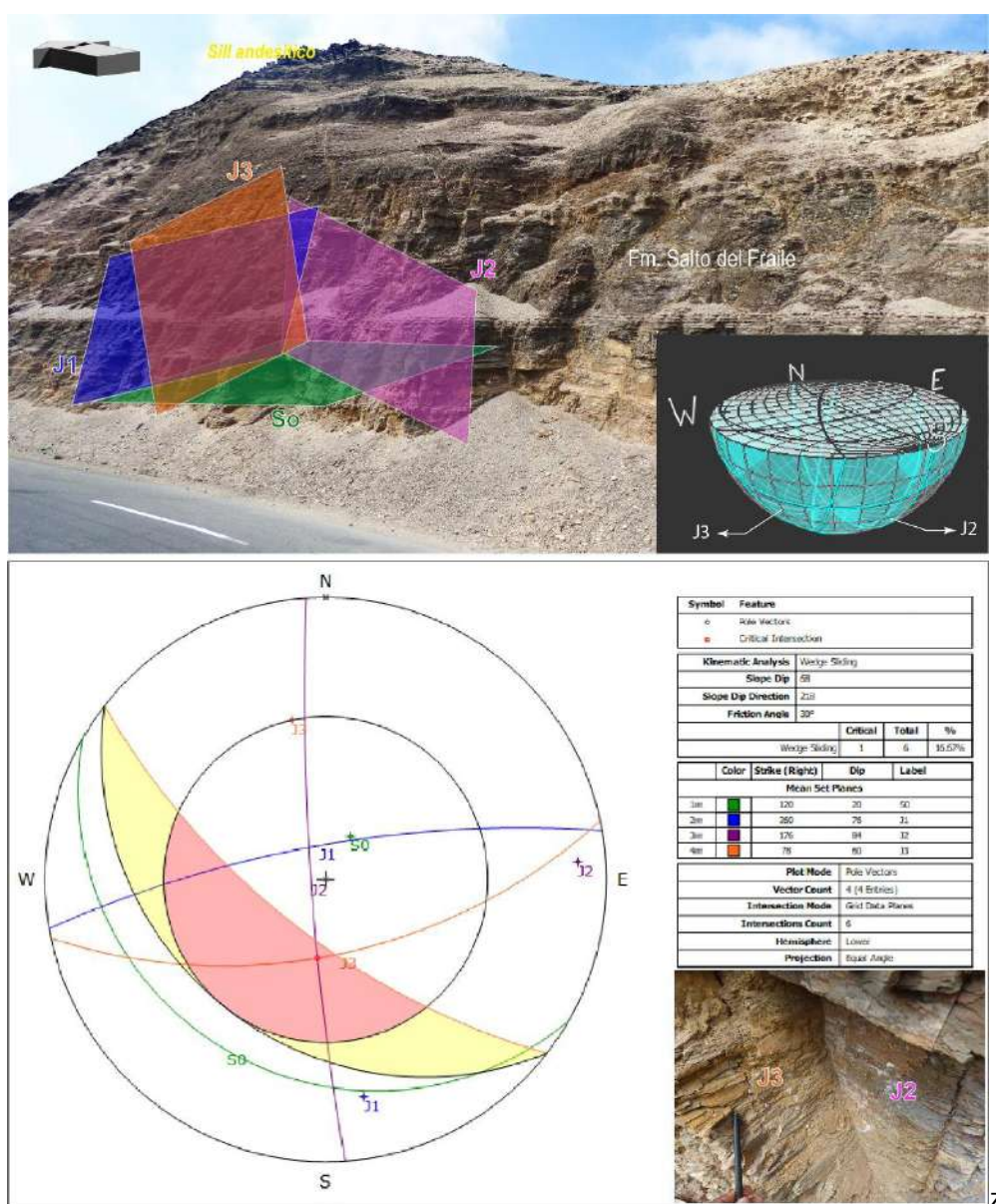


Figura 23. Análisis cinemático por rotura tipo cuña de la estación geomecánica E5.

Estación geomecánica E6

Se ubica en la zona central del área de estudio y en la parte superior del talud. Este sector es uno de los más críticos y propensos a caída, está relacionada con los últimos eventos de desprendimientos suscitados en el Morro Solar. Debido a su difícil acceso, no ha sido posible realizar el levantamiento geotécnico in situ, sin embargo, se proyectaron los sistemas de discontinuidades en la parte inferior del talud, el cual nos muestra los siguientes resultados (**Figura 24**).

De acuerdo al análisis cinemático, revela una alta probabilidad de enfrentar mecanismos de rotura tipo cuña controlado por la intersección de las discontinuidades J1 y J4, cuyos buzamientos se inclinan en sentido contrario (**Figura 24**).

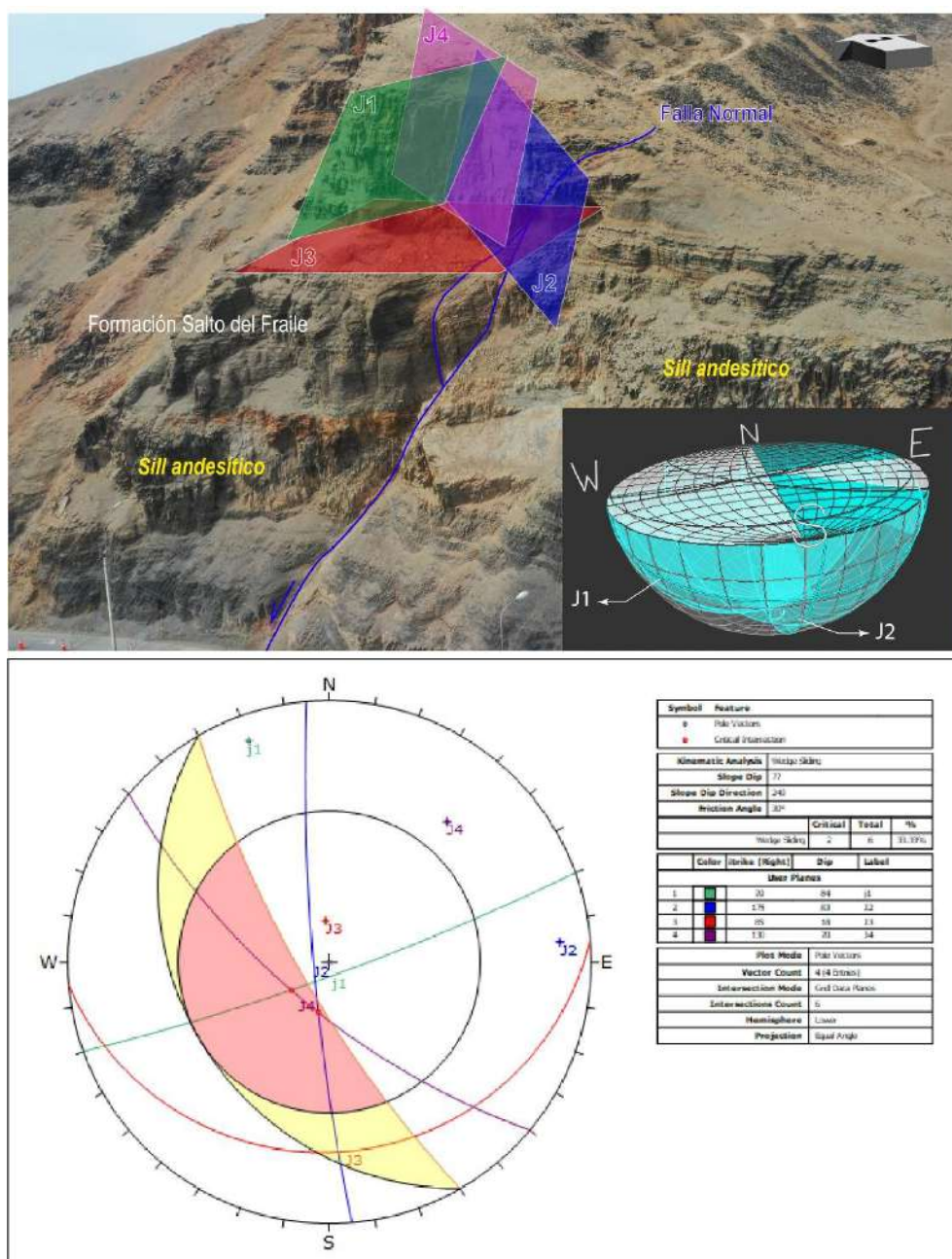


Figura 24. Análisis cinemático por rotura tipo cuña de la estación geomecánica E6.

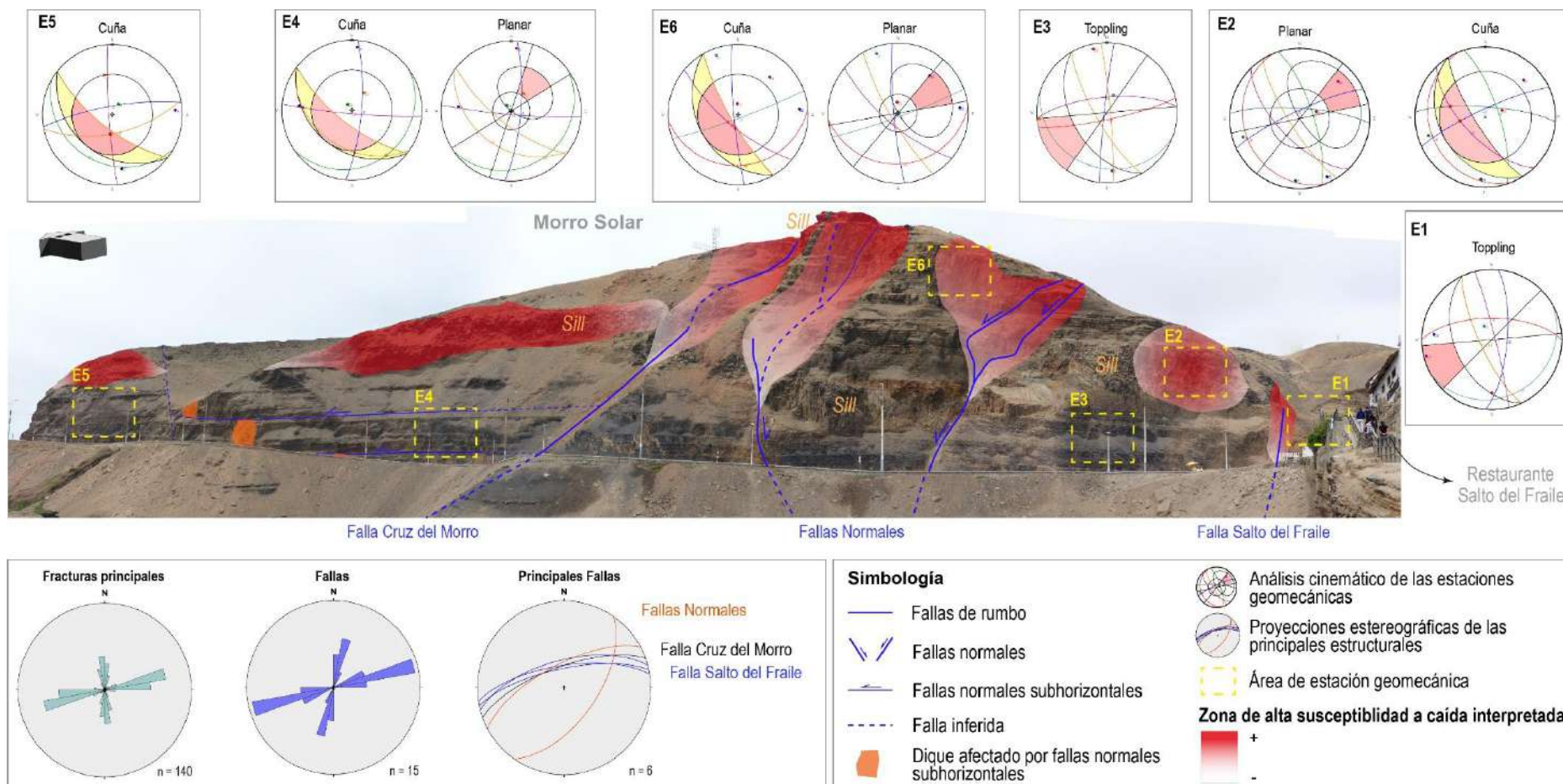
5.1.2. Relación de las estructuras con las estaciones geomecánicas en la caída de rocas

El sistema estructural del sector Morro Solar es muy compleja, producto de la interacción de procesos tectónicos a lo largo de su historia geológica. Se caracteriza por presentar estructuras mayores (fallas) de dirección preferencial NO-SE y NEE-SOO acompañadas de un denso sistema de estructuras menores, como fracturas, diaclasas y discontinuidades de múltiples direcciones, los cuales preferentemente se distribuyen en NE-SO, NEE-SSO, E-O y NNE-SSO que en conjunto afectan a las rocas incompetentes de lutitas negras y areniscas finas de la Formación Salto del Fraile, así también, a un *sill* andesítico emplazado de manera subparalelas a los estratos (**Figura 25**).

La interacción de estas estructuras con los procesos geodinámicos externos ha dado como resultado un modelado del relieve, el cual expone geoformas tipo acantilado con pendientes muy pronunciadas que compromete negativamente la estabilidad del talud.

Los macizos rocosos han sufrido cambios en el comportamiento litológico y geomecánico relacionado con la pérdida progresiva de las propiedades de resistencia y calidad de roca, manifestándose físicamente con planos de debilidad, a través de fracturas y discontinuidades relacionado predominantemente con fallas y zonas de cizalla.

De acuerdo a los resultados de las cinco estaciones geomecánicas, nos revelan valores de 21 a 60 de MRM, el cual se clasifican geotécnicamente como calidad de roca mala a regular. Estos valores ponen en evidencia la predisposición del substrato a generar procesos gravitacionales, y la alta probabilidad de mecanismos de rotura tipo planar, cuña y volcamiento (toppling), lo que las convierte en zonas altamente propensas a caída de rocas que ponen en peligro la seguridad física de las personas e infraestructura vial (**Figura 25**).



5.2. Factores condicionantes

Factores	Características asociadas
Litológico	• La roca fuente en capas subhorizontales en favor de la pendiente, constituido de areniscas cuarzosas y lutitas gris negras muy fracturadas y moderadamente meteorizadas. • Estructuralmente afectadas por fallas normales y fallas de rumbo y fracturas persistentes. • Las lutitas conforman macizos rocosos geotécnicamente catalogadas como de mala calidad, por su fisibilidad, ofrecen poca resistencia a la erosión. • Bloques inestables por fracturamiento columnar debido al rápido enfriamiento al momento de emplazarse el <i>sill</i> andesítico.
Geomorfológicos	• La roca fuente forma paredes subverticales en el acantilado que forma a su vez una colina y lomada labrada en roca sedimentaria, con pendientes muy fuertes a escarpados mayores a 45° de inclinación. • Vertiente coluvial constituida por material incompetente poco cohesivos de suelos gravosos y arenosos, adosados en el talud del acantilado.

5.3. Factores desencadenantes

Sismos

El departamento de Lima y específicamente el sector del Morro Solar muestra un índice alto de pérdidas asociadas a sismos en el periodo reciente, registrado desde el siglo XVI (IGP, 2005). Debido a la cercanía de las costas del Perú a la zona de subducción, es decir a causa de la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana, Lima ha soportado a lo largo de su historia eventos desastrosos como terremotos y tsunamis. Los más importantes fueron los terremotos de 1586, 1609, 1655, 1687, 1746, 1940, 1966 y 1974, que causaron destrucción de viviendas e infraestructura, especialmente en zonas donde las condiciones geológicas son menos favorables y donde viven las poblaciones más pobres.

En este contexto, es necesario indicar el mapa de intensidades máximas (INDECI-DIPRE, 2017) elaborado para sismos de 8.8 Mw similares a las del terremoto de 1746, donde se muestra que gran parte de las provincias y distritos ubicados en la zona occidental del departamento de Lima se verían sometidas a intensidades mayores a VIII (MM). En particular el distrito de Chorrillos y específicamente el sector del Morro Solar se sería expuesta a las más altas intensidades debido a su cercanía a la zona de ruptura (**Figura 26**).

Así mismo, para conocer el nivel de aceleración sísmica o sacudimiento del suelo (PGA) para Lima y Callao, se usa el mapa de aceleraciones propuesta por Pulido et al. (2015) para un sismo de magnitud 8.8Mw - 8.9Mw. Este estudio indica que el sector del Morro Solar se encuentra dentro de la zona aceleraciones máximas ante un eventual sismo de tal magnitud (**Figura 27**).

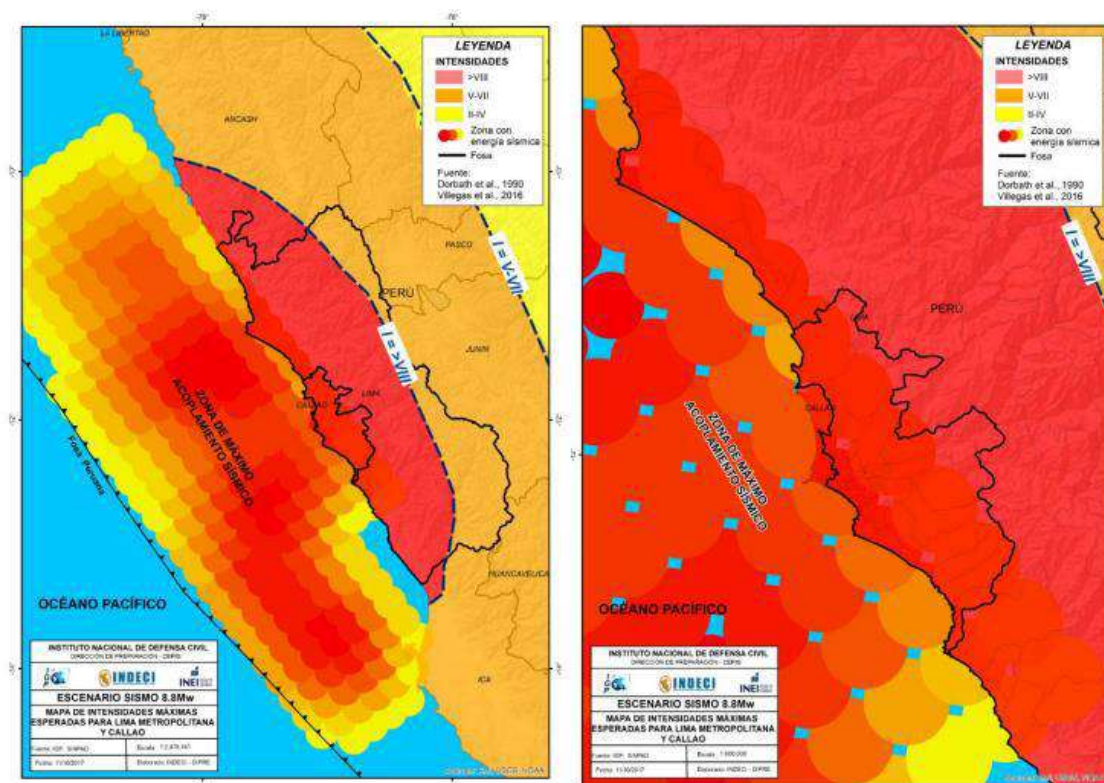


Figura 26. Departamentos y distritos que se verían sometidos a intensidad > VIII (MM), el cual nos muestra que el sector Morro Solar cae dentro de ellas. Fuente: INDECI-DIPRE (2017).

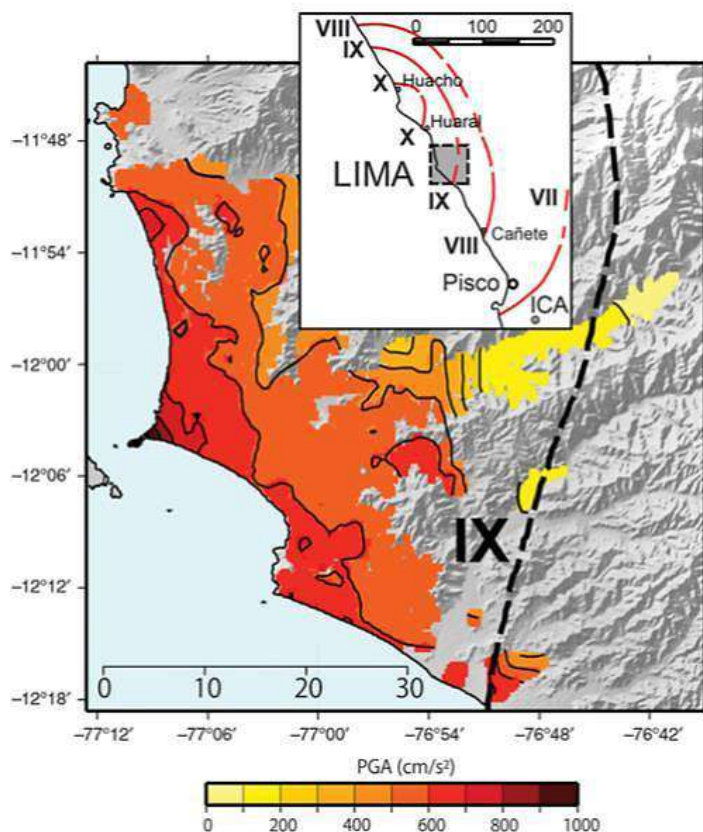


Figura 27. Aceleración máxima para Lima Metropolitana y Callao, tomando en cuenta el acoplamiento sísmico existente en la costa central de Perú (Pulido et al., 2015).

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica, geomorfológica y geodinámica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

- a) En el sector Morro Solar afloran rocas sedimentarias donde se exponen, en la parte más basal del acantilado secuencias atribuidas a la Formación Salto del Fraile, constituidas por areniscas cuarzosas gris blanquecinas en estratos de 15 a 50 cm de espesor, sus macizos rocosos presentan características físicas de muy fracturados y superficialmente una moderada meteorización. Mientras que, en la parte superior aflora la Formación La Herradura, cuya litología se compone de lutitas negras en bancos centimétricos formando paquetes de 2 a 3 m de espesor, intercaladas con niveles de 30 cm de areniscas negras, sus macizos rocosos se encuentran muy fracturados y se hallan fuertemente meteorizadas.
- b) Estructuralmente, la zona de estudio es compleja, existen estructuras mayores de dirección NO-SE, NEE-SOO (fallas) y estructuras menores de dirección NE-SO, NEE-SSO y E-O (fracturas y discontinuidades) orientadas en diferentes direcciones que atraviesan longitudinal y transversalmente las rocas del Grupo Morro Solar. La interacción tectónica de estas estructuras y la respuesta geomecánica de las rocas han dado lugar a la formación de un conjunto de fracturas que contribuyeron en el cambio del comportamiento litológico y geomecánico de los macizos rocosos, donde se relacionan espacialmente y de manera indirecta con movimientos en masa tipo caída de rocas y bloques en la cara oeste del acantilado.
- c) Desde el punto de vista geomorfológico, los procesos de caída de rocas se emplazan en la ladera oeste de una lomada moldeada en roca sedimentaria, donde expone un acantilado de morfología abrupta y de pendiente muy pronunciada favoreciendo los procesos gravitacionales en el talud.
- d) Los resultados de las seis estaciones geomecánicas, nos revelan valores de MRM que varían de 21 a 60, el cual se clasifican geotécnicamente como calidad de roca mala a regular. Estos valores ponen en evidencia la predisposición del substrato a generar procesos gravitacionales, y la alta probabilidad de mecanismos de rotura tipo planar, cuña y volcamiento (toppling), donde se identificaron siete zonas altamente críticas y susceptibles a caída de rocas que ponen en peligro la seguridad física de las personas y de la infraestructura vial en el sector Morro Solar.
- e) De acuerdo a las características y condiciones geológico-estructurales, geomorfológicas y geodinámicas, se considera al sector Morro Solar como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** frente a la ocurrencia de caída de rocas.

7. RECOMENDACIONES

A continuación, se brindan recomendaciones con la finalidad de mitigar el impacto de los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el sector del Morro Solar.

Transversales a autoridades y población

- 1) Incluir los peligros geológicos identificados por el Ingemmet en los planes específicos de la Gestión del Riesgo de Desastres de la Municipalidad distrital de Chorrillos.
- 2) Identificar rutas de evacuación y zonas seguras ante la ocurrencia de peligros geológicos o sísmicos. Posteriormente, implementar simulacros de evacuación y simulaciones, con la finalidad de contar con una respuesta rápida y adecuada en situaciones de emergencia.
- 3) Implementar Sistemas de Alerta Temprana-SAT en coordinación con el INDECI, para la inmediata información de ocurrencia de peligros geológicos en caso enfrentara la población.
- 4) Implementar simulacros por sismo y tsunami en el acantilado del Morro Solar.
- 5) Elaborar evaluaciones de riesgo (EVAR) con el fin de determinar las medidas de control de riesgo definitivas frente a los peligros. Es necesario esta medida en sectores o poblados donde estos peligros puedan ocurrir y causar daños a la infraestructura, así como vías de acceso, entre otros.

Ante caída de rocas

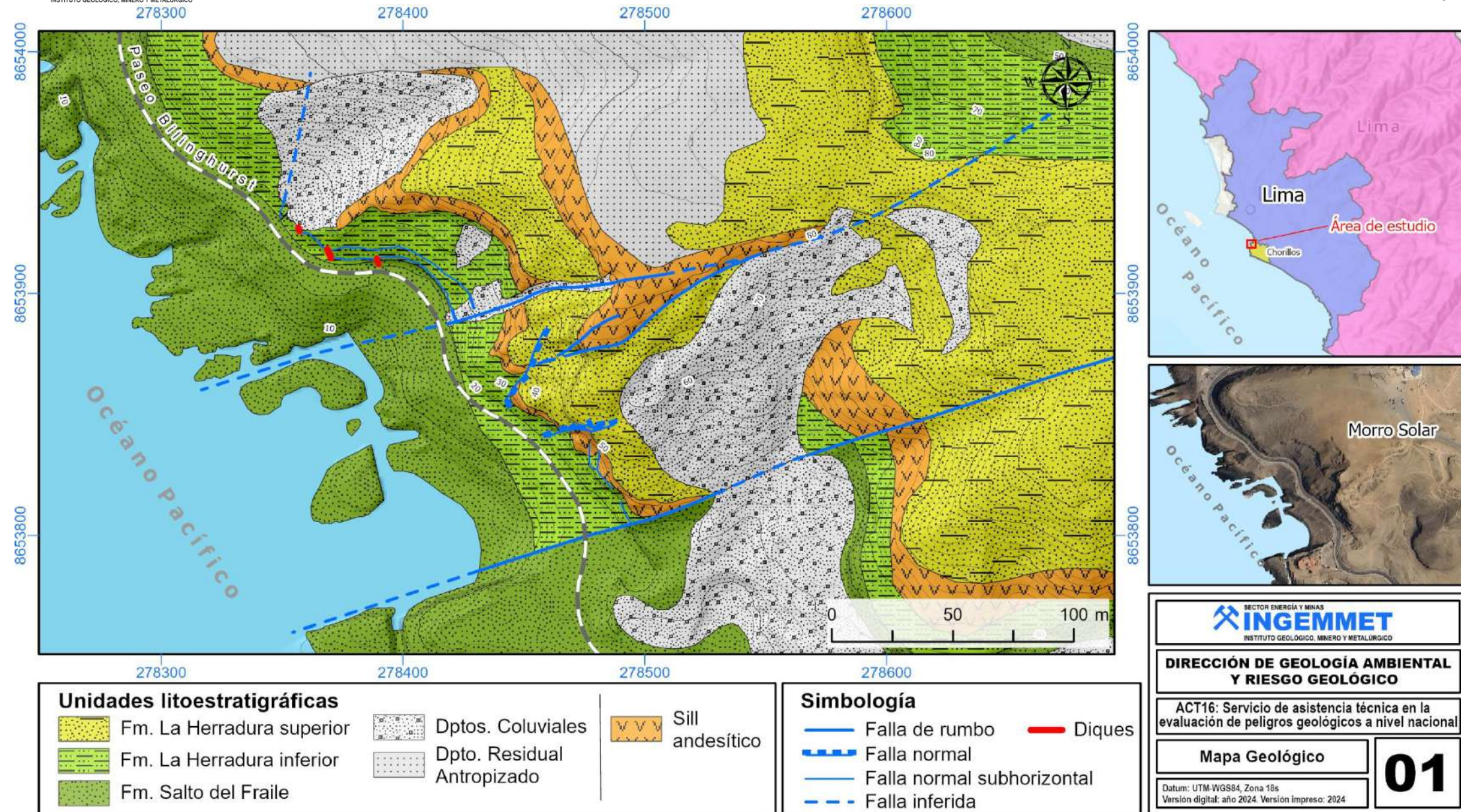
- 1) Implementar trabajos de instalación de geomallas ancladas, barreras dinámicas, red de anillos, entre otros; utilizados en forma independiente o combinada, con el fin de mitigar el peligro frente a la caída de rocas (**ver anexo 3**). Estas medidas estructurales deben ser realizadas por profesionales especializados en geología y geotecnia.
- 2) Construir muros de contención de concreto armado para mitigar los efectos de las caídas de rocas y derrumbes, previo estudio de mecánica de rocas para determinar la capacidad portante.
- 3) Shotcreteo de zonas inestables y bloques movidos expuestos en la cara oeste del talud del acantilado.
- 4) Implementar trabajos de desquinchado de los bloques sueltos de forma controlada.
- 5) Los trabajos estructurales, deben ser realizados y dirigidos por profesionales especializados en la materia.

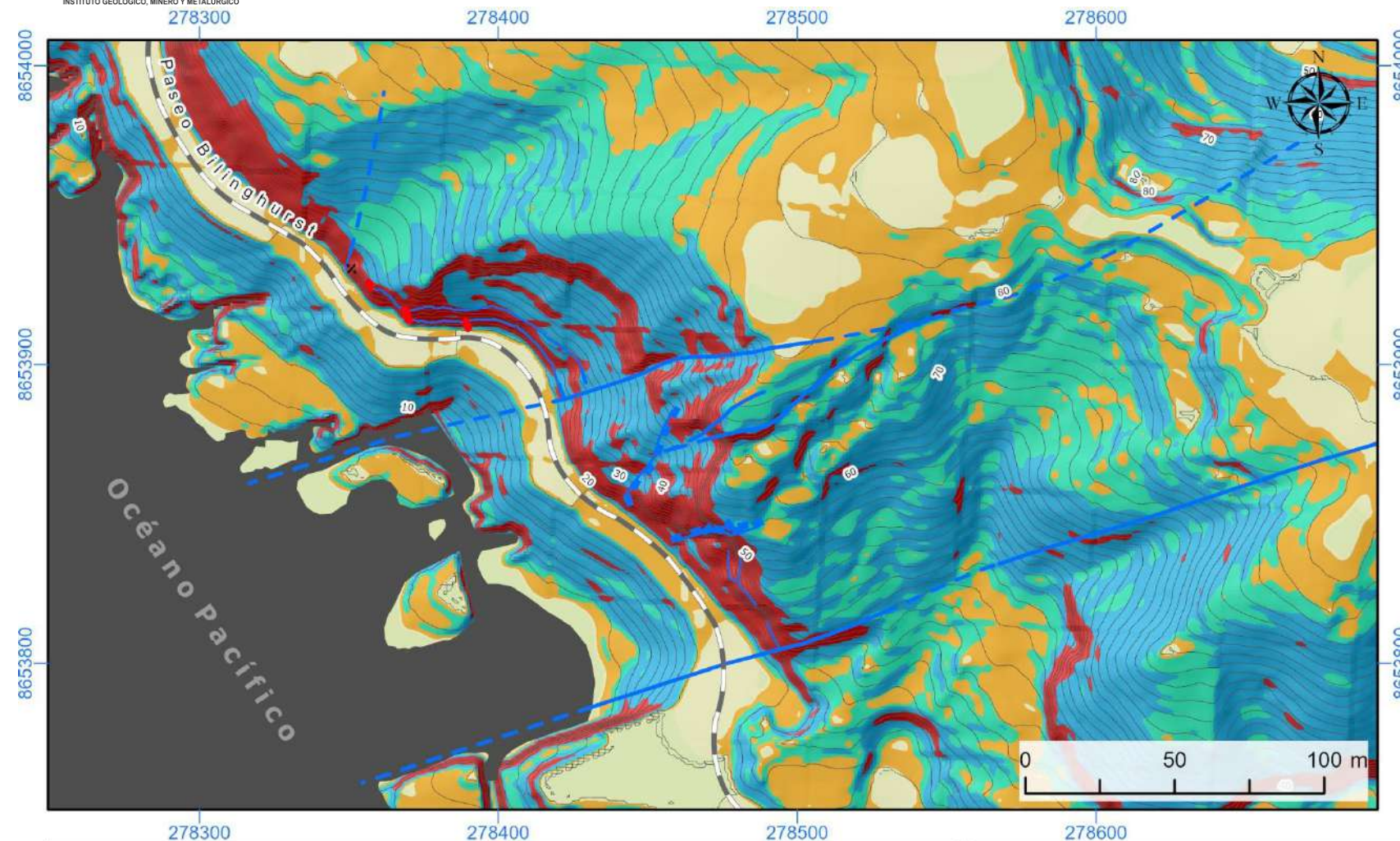
8. BIBLIOGRAFÍA

- Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The analysis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú. Franja N° 3. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; 28, 373 p.
- Instituto Metropolitano de Planificación (2008). Atlas Ambiental de Lima. Lima: IMP e ITC, 160 p.
- Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, Dirección de Preparación (2017). Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw.
- ISRM (1981). Suggest method for the quantitative description of discontinuities in rock masses: International Journal of Rock Mechanics, Min. Sci. & Geomech. Abstr. V. 18, p. 85-110.
- León, W y De La Cruz, O. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26j), Lurín (25j) y (Lima 26i). Ingemet, 18p.
- Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Lima. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica, 76, 298 p., 9 mapas.
- Palacios, O.; Caldas, J. & Vela, Ch. (1992). Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Hojas 25-i, 25-j. 24-i, 24-j INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 43, 163 p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- Pulido et al. (2015). Scenario source model and strong motion for future mega-earthquakes: Application to Lima, Central Perú. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 105, N° 1, 368-386 p.
- Senamhi. (2020). Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Villacorta, S.; Núñez, S.; Tatard, L.; Pari, W. & Fidel, L. (2015). Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 59, 156p., 07 mapas.
- WP/WLI, (1993). A suggest method for describing the activity of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, N°47. p. 53-57.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176.

ANEXO 1: MAPAS

MAPAS DEL SECTOR MORRO SOLAR



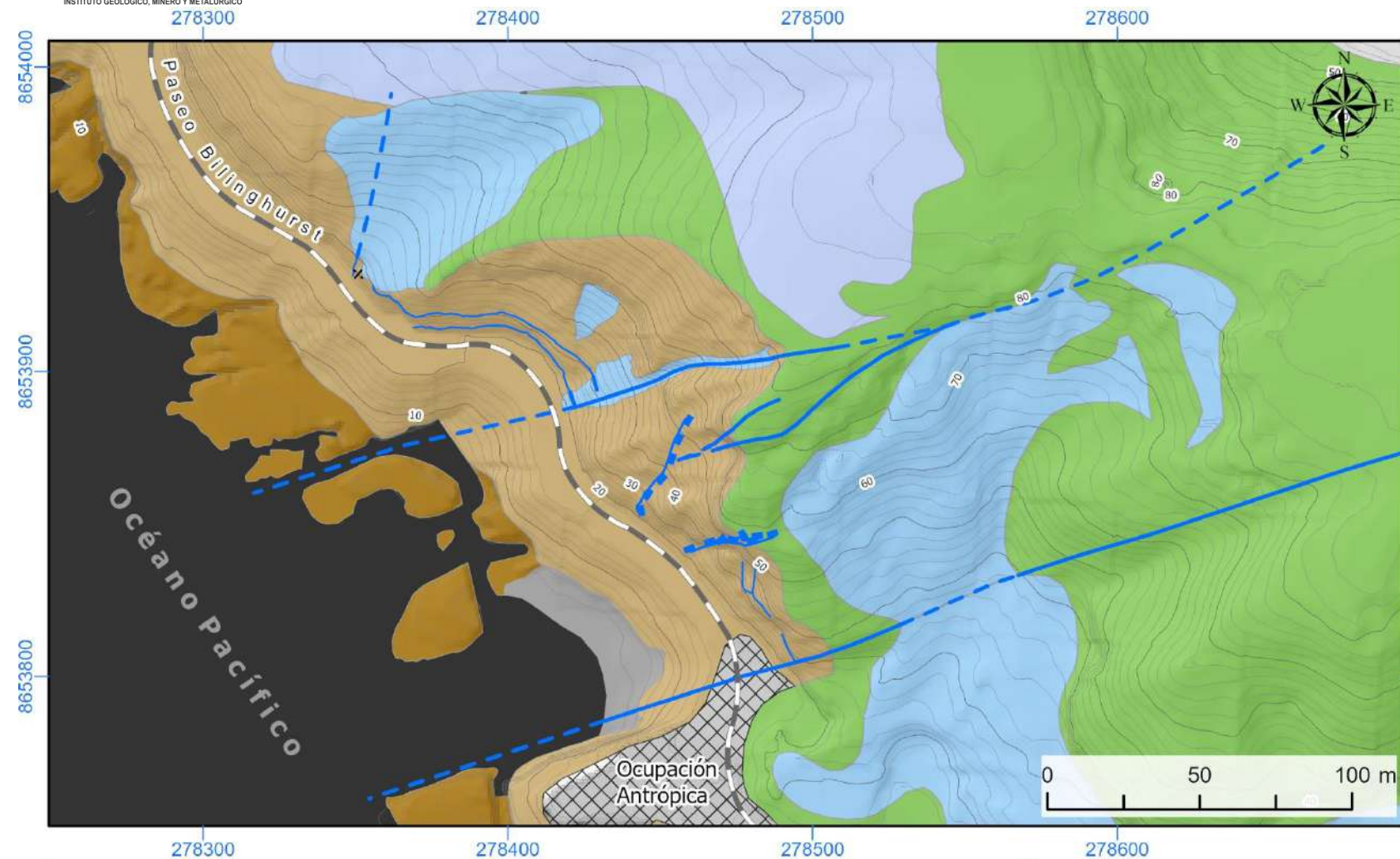


Pendientes

0° - 1°	Muy bajo o llano	15° - 25°	Fuerte
1° - 5°	Baja o inclinación suave	25° - 45°	Muy fuerte a escarpada
5° - 15°	Moderada	45° - 82°	Muy escarpada o abrupto

Simbología

—	Falla de rumbo	—	Diques
—	Falla normal		
—	Falla normal subhorizontal		
- - -	Falla inferida		

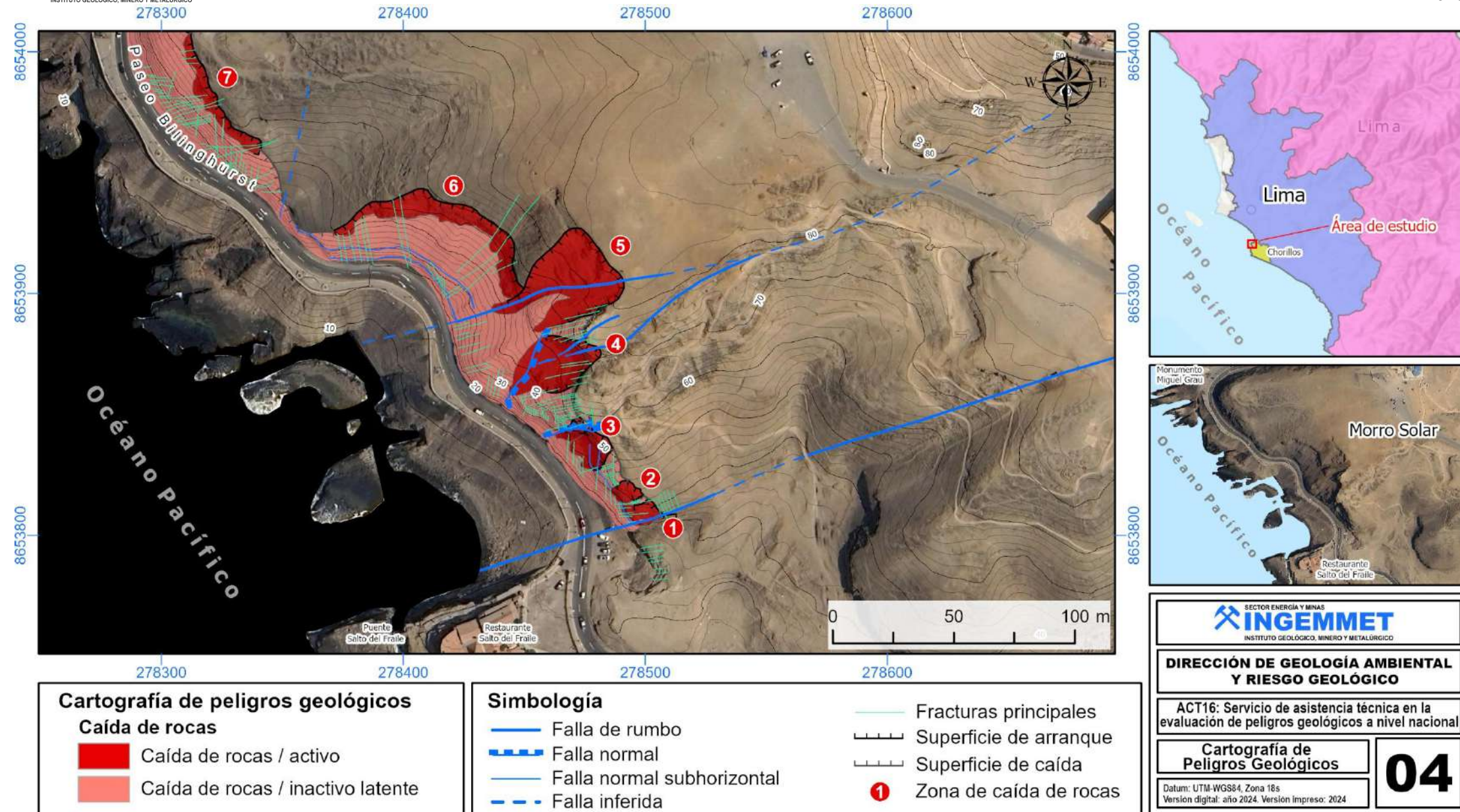


Unidades geomorfológicas

	Acantilado		Lomada en roca sedimentaria		Depósitos Coluviales
	Superficie de abrasión marina		Playa con cantos		Depósitos Residuales Antropizada

Simbología

	Falla de rumbo
	Falla normal
	Falla normal subhorizontal
	Falla inferida



ANEXO 2: FICHAS DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

	FORMATO		Código : M2.1-F-079
	CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA		Versión : 00
			Fecha aprob. : 22/11/2021
			Página : 1 de 1

Sector: Salto El Fraile Ubicación: WGS-84, Zona 18S POR: M. NUÑEZ / W. GOMEZ
 Distrito: Chorrillos E: 276499; N: 8653811; 33 m s.n.m. FECHA: 28/10/2024
 HOJA: 1/5

N° ESTACIÓN		ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO				VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)															
		STRIKE		DIP		DESDE		HASTA																	
E-01		155		76																					
TIPO DE ROCA								FRECUENCIA FRACTURA				RANGO DE VALORES												VALOR	
A				%		B		%		N° Fract. / m.															
Ar				100						51/3															
TIPO ESTRU.	ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO	PERSISTENCIA (m.)	ABERTURA (mm.)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERA.	FLUJO DE AGUA															
	STRIKE	DIP					TIPO	CONDICIÓN																	
S0	060	18	0.20-0.60	3-10	> 5	Rugosa	C	Suave	IV	Seco															
J1	270	65	0.20-0.60	1-3	1 - 5	Rugosa	C	Suave	IV	Seco															
J2	005	72	0.06-0.20	1-3	1 - 5	Rugosa	C	Suave	IV	Seco															
J3	346	86	0.06-0.20	1-3	1 - 5	Rugosa	C	Suave	IV	Seco															
													R. COMPRESION UNIAXIAL (MPa)												12
													>250 (15) X 100-250 (12) 50-100 (7) 25-50 (4) <25(2) <5(1) <1(0) 1												
													RQD %												8
													90-100 (20) 75-90 (17) 50-75 (13) X 25-50 (8) <25 (3) 2												
													ESPACIAMIENTO (m)												3
													>2 (20) 0.6-2 (15) 0.2-0.6 (10) X 0.06-0.2 (8) < 0.06 (5) 3												
													CONDICION DE JUNTAS												4
													PERSISTENCIA (1) <1m long. (6) X 1-3 m Long. (4) 3-10m (2) 10-20 m (1) > 20 m (0) 4A												
													ABERTURA (2) Cerrada (6) <0.1mm apert. (5) 0.1-1.0mm (4) X 1 - 5 mm (1) > 5 mm (0) 4B												
													RUGOSIDAD (3) Muy rugosa (6) X Rugosa (5) Lig rugosa (4) Lisa (1) Espejo de falla (0) 4C												
													RELLENO (4) Limpia (6) Duro < 5mm (5) Duro- 5mm (2) X Suave < 5 mm (1) Suave > 5 mm (0) 4D												
													ALTERACION (5) Sana (6) Lig. Alterada. (5) Mod.Alterada. (3) X Muy Alterada. (2) Descompuesta (0) 4E												
													AGUA SUBTERRANEA X Seco (15) Humedo (10) Mojado (7) Goteo (4) Flujo (0) 5												
													VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												56
													CLASE DE MACIZO ROCOSO												
													RMR 100 - 81 80 - 61 60 - 41 40 - 21 20 - 0												III
													DESCRIPCION I MUY BUENA II BUENA III REGULAR IV MALA V MUY MALA												

	FORMATO		Código : M2.1-F-079 Versión : 00 Fecha aprob. : 22/11/2021 Página : 1 de 1
	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA		

Sector: Salto El Fraile Ubicación: WGS-84, Zona 18S POR: M. NUÑEZ / W. GOMEZ
 Distrito: Chorillos E: 278503; N: 8653793; 36 m s.n.m. FECHA: 28/10/2024
 HOJA: 2/5

Nº ESTACIÓN		ORIENTACION DE LA CARA			TRAMO		VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)										VALOR									
		STRIKE		DIP	DESDE		HASTA		PARÁMETRO		RANGO DE VALORES															
E-02		060		65																						
TIPO DE ROCA							FRECUENCIA FRACTURA																			
A		%		B		%		Nº Fract. / m.																		
An		100						58/2.5																		
TIPO ESTRU.	ORIENTACIÓN	ESPACIAMIENTO	PERSISTENCIA (m.)	ABERTURA (mm.)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERA.	FLUJO DE AGUA																	
		STRIKE	DIP				TIPO	CONDICIÓN																		
J1	342	74	0.06-0.2	3-10	> 5	Lisa	--	--	IV	Seco									12							
J2	158	21	0.06-0.2	1-3	1-5	Lig. Rugosa	--	--	IV	Seco									8							
J3	245	81	0.06-0.2	1-3	1-5	Lig. Rugosa	--	--	IV	Seco									8							
J4	136	65	< 0.06	1-3	1-5	Lig. Rugosa	--	--	IV	Seco									8							
J5	274	78	0.06-0.2	3-10	1-5	Lisa	--	--	IV	Seco									8							
										R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)	>250	(15)	X	100-250	(12)	50-100	(7)	25-50	(4)	<25(2)	<5(1)	<1(0)	1	12		
										RQD %	90-100	(20)		75-90	(17)	50-75	(13)	X	25-50	(8)	<25	(3)	2	8		
										ESPACIAMIENTO (m)	>2	(20)		0.6-2	(15)	0.2-0.6	(10)	X	0.06-0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	8		
										CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA (1)	<1m long.	(6)		1-3 m Long.	(4)	X	3-10m	(2)	10-20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	2	
											ABERTURA (2)	Cerrada	(6)		+0.1mm apert.	(5)		0.1-1.0mm	(4)	X	1-5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	1
											RUGOSIDAD (3)	Muy rugosa	(6)		Rugosa	(5)	X	Lig. rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo de falla	(0)	4C	3	
											RELLENO (4)	X	Limpia	(6)		Duro- < 5mm	(4)		Duro- 5mm	(2)	Suave < 5 mm	(1)	Suave > 5 mm	(0)	4D	6
											ALTERACION (5)	Sana	(6)		Lig. Alterada.	(5)		Mod. Alterada.	(3)	X	Muy Alterada.	(2)	Descompuesta	(0)	4E	2
										AGUA SUBTERRANEA	X	Seco	(15)		Humedo	(10)		Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	15	
										VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												57				
										CLASE DE MACIZO ROCOSO												III				
										RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0							
										DESCRIPCION	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA							

GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

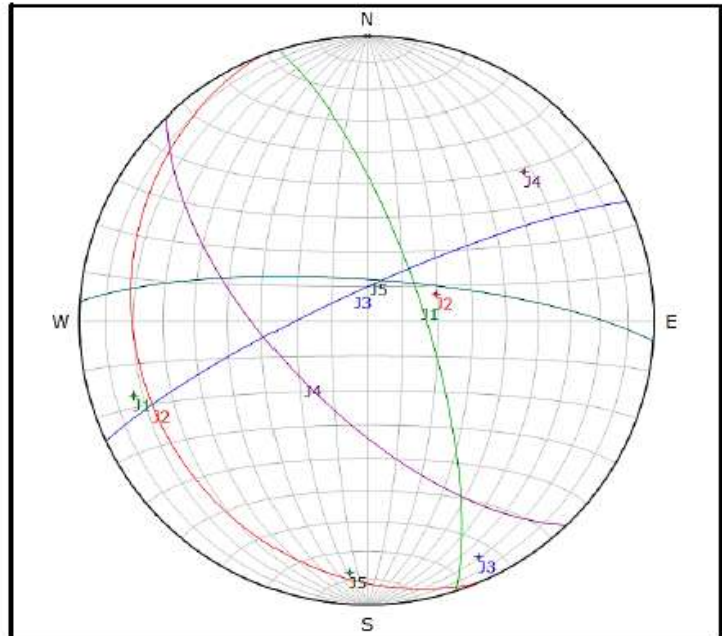
ABREVIACIÓN DE TIPO DE ROCA	
An	Andesita

ABREVIACIÓN DE TIPO DE ESTRUCTURAS	
J	Juntas
F	Falla
S	Esquistosidad
E	Estratificación

ABREVIACIÓN DE TIPO DE RELLENO			
A	Arcilla	S	Arena
G	Grava	B	Brecha
Q	Cuarzo	C	Calcita
Y	Yeso	O	Óxido

ESPACIAMIENTO (m)	
Muy próximas	< 0.06
Próximas	0.20 - 0.06
Medianamente separadas	0.60 - 0.20
Separadas	2.00 - 0.60
Muy separadas	> 2.00

GRADO (ISRM)	ÍNDICE DE ALTERACIÓN DESCRIPCIÓN
I SANA	No aparecen signos de meteorización
II ALGO METEOR.	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III METEORIZADA	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV MUY METEOR.	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V COMPLETAM. METEOR.	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.
VI SUELO RESID.	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.



	FORMATO		Código : M2.1-F-079
	CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA		Versión : 00
			Fecha aprob. : 22/11/2021
			Página : 1 de 1

Sector:	Salto El Fraile	Ubicación:	WGS-84, Zona 18S	POR:	M. NUÑEZ / W. GOMEZ
	Districto: Chorrillos		E: 278476; N: 8653816; 54 m s.n.m.	FECHA:	28/10/2024
				HOJA:	3/5

N° ESTACIÓN		ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO				VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)																								
		STRIKE		DIP		DESDE		HASTA																										
E-03		150		77																														
TIPO DE ROCA								FRECUENCIA FRACTURA		PARÁMETRO		RANGO DE VALORES											VALOR											
A		%		B		%		N° Fract. / m.		R. COMPRESION UNIAxIAL (MPa)		~250		(15)	100-250		(12)	50-100		(7)	X	25-50		(4)	<25(2) <5(1) <1(0)		1	4						
Ar		50		La		50		70/1		RQD %		90-100		(20)	75-90		(17)	50-75		(13)	25-50		(8)	X	<25		(3)	2						
TIPO ESTRUc.		ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		PERSISTENCIA (m.)		ABERTURA (mm.)		RUGOSIDAD		RELLENO		ESPACIAMIENTO (m)		>2		(20)	0,6-2		(15)	0,2-0,6		(10)	X	0,06-0,2		(8)	< 0,06	(5)	3			
														CONDICION DE JUNTAS		PERSISTENCIA (1)		<1m long.		(6)	1-3 m Long.		(4)	X	3-10m		(2)	10-20 m		(1)	> 20 m	(0)	4A	
																ABERTURA (2)		Cerrada		(6)	<0.1mm apert.		(5)	0.1-1.0mm		(4)	X	1- 5 mm		(1)	> 5 mm	(0)	4B	
																RUGOSIDAD (3)		Muy rugosa		(6)	0,6-2		(5)	X	Lig.rugosa		(3)	U	Espejo de falla		(0)	4C		
																RELLENO (4)		Limpia		(6)	Duro < 5mm		(4)	Duro> 5mm		(2)	X	Suave < 5 mm		(1)	Suave > 5 mm	(0)	4D	
																ALTERACION (5)		Sana		(6)	Lig. Alterada.		(5)	Mod.Alterada.		(3)	X	Muy Alterada.		(2)	Descompuesta	(0)	4E	
																AGUA SUBTERRANEA		X		Seco		(15)	Humedo		(10)	Mojado		(7)	Goteo		(4)	Flujo	(0)	5
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =																												39						
CLASE DE MACIZO ROCOSO																																		
RMR																												100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	IV	
DESCRIPCION																												I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

	FORMATO		Código : M2.1-F-079 Versión : 00
	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA		Fecha aprob.: 22/11/2021 Página : 1 de 1
Sector: Salto El Fraile Distrito: Chomillos	Ubicación: WGS-84, Zona 18S E: 278405; N: 8653906; 32 m s.n.m.	POR: M. NÚÑEZ / W. GÓMEZ FECHA: 28/10/2024 HOJA: 4/5	

Nº ESTACIÓN		ORIENTACION DE LA CARA				TRAMO				
		STRIKE		DIP		DESDE		HASTA		
E-04		128		68						
TIPO DE ROCA										
A		%		B		%		FRECUENCIA FRACTURA		
Ca		100						Nº Fract. / ml.		
								68/3		
TIPO ESTRU.	ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO	PERSISTENCIA (m.)	ABERTURA (mm.)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERA.	FLUJO DE AGUA
	STRIKE	DIP					TIPO	CONDICIÓN		
S0	55	12	0.06-0.2	10-20	1 - 5	Rugosa	Y/C	Suave	IV	Seco
J1	5	74	0.06-0.2	3-10	1 - 5	Lisa	C	Suave	IV	Seco
J2	85	84	0.06-0.2	3-10	1 - 5	Lisa	C	Suave	IV	Seco
J3	125	34	0.06-0.2	1-3	1 - 5	Lig. Rugosa	--	--	IV	Seco

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)															VALOR		
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES															
R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)		>250	(15)	100-250	(12)	X	50-100	(7)	25-50	(4)	<25(2) <5(1)	<1(0)	1		7		
RQD %		90-100	(20)	75-90	(17)		50-75	(13)	X	25-50	(8)	<25	(3)	2	8		
ESPACIAMIENTO (m)		>2	(20)	0.6-2	(15)		0.2-0.6	(10)	X	0.06-0.2	(8)	< 0.06	(5)	3	8		
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA (1)	<1m long.	(6)	1-3 m Long.	(4)	X	3-10m	(2)		10-20 m	(1)	> 20 m	(0)	4A	2		
	ABERTURA (2)	Cerrada	(6)	<0.1mm apert.	(5)		0.1-1.0mm	(4)	X	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4B	1		
	RUGOSIDAD (3)	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)		Lig. rugosa	(3)	X	Lisa	(1)	Espejo de falla	(0)	4C	1		
	RELLENO (4)	Limpia	(6)	Duro < 5mm	(4)		Duro< 5mm	(2)	X	Suave < 5 mm	(1)	Suave > 5 mm	(0)	4D	1		
	ALTERACION (5)	Sana	(6)	Lig. Alterada.	(5)		Mod.Alterada.	(3)	X	Muy Alterada.	(2)	Descompuesta	(0)	4E	2		
AGUA SUBTERRANEA		X	Seco	(15)	Humedo	(10)	Mojado	(7)		Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	15		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =															45		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
RMR		100 - 81			80 - 61			60 - 41			40 - 21			20 - 0			III
DESCRIPCION		I MUY BUENA			II BUENA			III REGULAR			IV MALA			V MUY MALA			

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

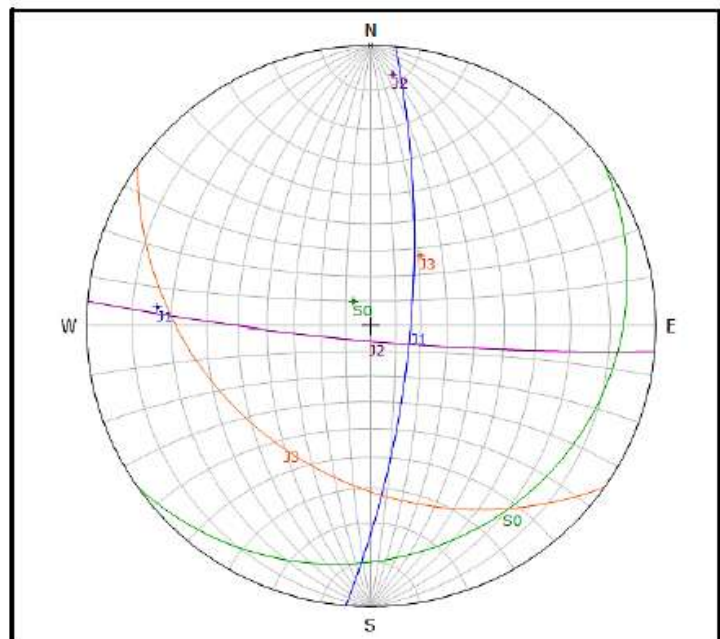
GRADO (ISRM)	INDICE DE ALTERACIÓN DESCRIPCIÓN
I SANA	No aparecen signos de meteorización
II ALGO METEOR.	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III METEORIZADA	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV MUY METEOR.	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V COMPLETAM. METEOR.	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.
VI SUELO RESID.	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA		
Ar	Arenisca	

ABREVIACION DE TIPO DE ESTRUCTURAS			
J	Juntas		
F	Falla		
S	Esquistosidad		
E	Estratificación		

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
A	Arcilla	S	Arena
G	Grava	B	Brecha
Q	Cuarzo	C	Calcita
Y	Yeso	O	Óxido

ESPACIAMIENTO (m)	
Muy próximas	< 0.06
Próximas	0.20 - 0.06
Medianamente separadas	0.60 - 0.20
Separadas	2.00 - 0.60
Muy separadas	> 2.00



	FORMATO		Código : M2.1-F-079
	CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA		Versión : 00
			Fecha aprob.: 22/11/2021
			Página : 1 de 1

Sector: Salto El Fraile Ubicación: WGS-84, Zona 18S POR: M. NUÑEZ / W. GOMEZ
 Distrito: Chorrillos E: 278340; N: 8653943; 31 m s.n.m. FECHA: 28/10/2024
 HOJA: 5/5

Nº ESTACIÓN		ORIENTACIÓN DE LA CARA				TRAMO		VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R. 1989)												VALOR						
		STRIKE		DIP		DESDE		HASTA		PARÁMETRO		RANGO DE VALORES														
E-05		130		65																						
TIPO DE ROCA								FRECUENCIA FRACTURA																		
A		%		B		%		Nº Fract. / m.																		
La		100						160/2																		
TIPO ESTRU.	ORIENTACIÓN		ESPACIAMIENTO	PERSISTENCIA (m.)	ABERTURA (mm.)	RUGOSIDAD	RELLENO		ALTERA.	FLUJO DE AGUA																
	STRIKE	DIP					TIPO	CONDICIÓN																		
S0	120	20	0.06-0.2	10-20	> 5	Rugosa	Y	Suave	IV	Seco													4			
J1	260	76	0.06-0.2	3-10	> 5	Lisa	Y	Suave	IV	Seco													3			
J2	176	84	0.06-0.2	3-10	> 5	Lisa	Y	Suave	IV	Seco													0			
J3	78	60	0.06-0.2	1-3	> 5	Lig. Rugosa	Y	Suave	IV	Seco													2			
														AGUA SUBTERRÁNEA												15
														VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =												37
														CLASE DE MACIZO ROCOSO												IV
RMR		100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0																
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA																

ANEXO 3: PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTIVAS

Mallas ancladas

Es un sistema de protección frente a desprendimientos rocosos o que cubre la superficie afectada del talud/ladera por medio de una malla de alambre de acero galvanizado de triple torsión, reforzada con anclajes cortos dispuestos en una grilla, que además se vinculan diagonal y perimetralmente por los extremos con cables de acero (**Figura 28**). Debe tenerse en cuenta que los anclajes de mallas protegen de la caída de bloques superficiales, pero no representan estabilidad para el caso de fallas de bloques grandes o movimientos de grandes masas de suelo o roca.

Todos estos elementos poseen recubrimiento anticorrosivo salvo los elementos de anclaje (bulones intermedios, los anclajes superiores, tuerca y placas de anclaje).

Las mantas de malla ancladas pueden utilizarse para impedir el movimiento de bloques pequeños (menos de 0.6 a 1 m de diámetro) o masas o bloques subsuperficiales de roca. Sin embargo, en ocasiones las mallas ayudan a atenuar el movimiento de grandes bloques. En principio la malla anclada actúa como una membrana alrededor de la masa o bloque inestable; a su vez pueden ser reforzadas con cables, los cuales se amarran a los anclajes.



Figura 28. Ejemplo de implementación de mallas ancladas para el control de caída de rocas o bloques rocosos.

Red de anillos

Es un sistema de protección utilizado en taludes con riesgo de caída grande rocas, el que, actuando directamente sobre la zona afectada, permita fijar in situ los bloques rocosos inestables, conteniendo los mismos y por tanto eliminando el riesgo de desprendimientos.

Está constituida por anillos de acero entrelazados entre sí, sin solución de continuidad y de elevada resistencia. Su configuración permite gran adaptabilidad a la morfología del talud en laderas irregulares. Los anillos trabajan en conjunto en la red, y por ello son ideales para soportar altas cargas e impactos de alta energía ya sea de forma concentrada y distribuida. La red es colocada con anclajes al terreno, conteniendo el macizo fracturado o con riesgo de desprendimiento, la resistencia de la red de anillos es muy elevada (**Figura 29**).



Figura 29. Ejemplo de estabilización de rocas o bloques rocosos con red de anillos.

Barreras dinámicas

Es un sistema de protección utilizado en taludes con riesgo de caída de rocas, diseñado específicamente para interceptar y retener las rocas en un punto de su trayectoria de caída, disipando la energía cinética del movimiento a través de la deformación plástica de determinados elementos del sistema diseñados a tal efecto, y de la actuación elástica de elementos diseñados con determinados grados de libertad respecto del impacto recibido.

En ciertas situaciones de riesgo de caída de roca, puede que no sea práctico instalar una malla de protección contra cortinas o estabilización de la superficie debido a problemas técnicos, topográficos, de acceso o económicos. En estos casos a menudo se proporciona una solución rentable mediante la instalación de barreras dinámicas de caída de rocas en la cara de la pendiente. Las barreras dinámicas de protección contra desprendimientos se caracterizan por su capacidad de absorción de impactos.

Por ello conforman un sistema muy eficaz y seguro para detener la caída de rocas y otras masas. Su configuración varía de acuerdo con la energía requerida en el impacto previsto (**Figura 30**).



Figura 30. Ejemplo de barreras dinámicas.