

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7195

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL ASENTAMIENTO HUMANO BUENOS AIRES DE VILLA

Departamento Lima
Provincia Lima
Distrito Chorrillos



NOVIEMBRE
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL ASENTAMIENTO HUMANO BUENOS AIRES DE VILLA

(Distrito de Chorrillos, provincia de Lima, departamento Lima)

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

Equipo de investigación:

Cristhian Chiroque Herrera

Guisela Choquenaira Garate

Norma Sosa Senticala

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos y estabilidad de taludes en el asentamiento humano Buenos Aires de Villa. Distrito de Chorrillos, provincia de Lima, departamento Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7195, 49 p.

ÍNDICE

RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Objetivos del estudio	7
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	7
1.3. Aspectos generales	8
1.3.1. Ubicación	8
1.3.2. Accesibilidad.....	8
1.3.3. Clima.....	9
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
2.1. Unidades litoestratigráficas	10
2.1.1. Formación Marcavilca (Ki-mar)	10
2.1.2. Depósito aluvial (Q-al)	11
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
3.1. Modelo Digital de Elevaciones	12
3.2. Pendientes del terreno	12
3.3. Unidades geomorfológicas	13
3.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	13
3.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	14
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	16
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	16
4.1.1. Vuelco en la parte alta del A.H. Buenos Aires de Villa	16
4.1.2. Rotura planar con tendencia a deslizamiento traslacional.....	16
5. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DEL TALUD	20
5.1. Factores condicionantes	20
5.1.1. Factor litológico.....	20
5.1.2. Factor pendiente.....	21
5.2. Clasificación geomecánica	21
5.2.2. SMR para taludes.....	24
6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD	25
6.1. Análisis cinemático con DIPS	25
6.2. Estabilidad de talud con Slide	32
6.2.1. Criterio de Análisis.....	32
6.2.2. Parámetros geotécnicos.....	32
6.2.3. Condición de análisis	33
6.2.4. Resultados	36

7. CONCLUSIONES	39
8. RECOMENDACIONES	41
9. BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXO 1: MAPAS	43
ANEXO 2: GLOSARIO	45
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	48

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos y estabilidad de taludes, realizado en el A.H. Buenos Aires de Villa, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Chorrillos, provincia de Lima, departamento de Lima. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Los peligros geológicos identificados, corresponden a movimientos en masa tipo vuelco y rotura planar (con tendencia a deslizamientos de roca), el primero se produjo en areniscas y limolitas altamente meteorizadas y muy fracturadas, abarca la parte alta del talud donde se localizan las viviendas lotizadas como 22-B, 22-C, 22-D, 23, 23-A y 23-B. El segundo evento, se originó sobre limolitas arenosas, condicionado por la estratificación y buzamiento a favor de la pendiente.

En la inspección realizada en el interior de las viviendas ubicadas en los lotes 22-B y 21-A, se registraron daños en las paredes, columnas, vigas y pisos. En este último se observó agrietamientos paralelos al escarpe principal del bloque volcado, ello evidencia procesos retrogresivos que pueden formar nuevos planos de falla

El contexto geomorfológico está conformado por geoformas de origen tectónico-degradacional (lomada modelada en rocas sedimentarias) y geoformas de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por procesos geodinámicos antiguos, que configuran geoformas de planicie aluvial. Los relieves presentan pendientes moderados (15°), sin embargo, la intervención antrópica ha modificado las laderas con la finalidad de construir viviendas, originando taludes con pendientes subverticales (65°).

Para estimar la calidad de roca, se realizaron 04 estaciones geomecánicas en la base y zona media del talud. Los valores obtenidos del índice de calidad SMR (clasificación geomecánica para taludes) fluctúan entre 21 a 24, considerados como rocas de mala calidad e inestables, estos requieren trabajos de corrección y protección.

Según el análisis cinemático realizado, las estaciones 01 y 02 presentan falla del talud tipo planar y cuña. Para las estaciones geomecánicas 03 y 04, se tiene volcamientos tipo flexural, directo y oblicuo, habiéndose observado este tipo de procesos locales en la zona media y alta del talud.

En el análisis de estabilidad de taludes, se calculó un factor de seguridad estático y pseudoestático, tomando en cuenta las propiedades del suelo y roca (cohesión y ángulo de fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes del deslizamiento. Los resultados obtenidos muestran valores inferiores a 1, considerados muy inestables y con probabilidad alta de generarse nuevos deslizamientos en las condiciones actuales y ante la ocurrencia de sismos.

Por lo tanto, las viviendas ubicadas entre la calle José Olaya y Av. Los Próceres son consideradas como **zona crítica y Peligro Muy Alto** a movimientos en masa, además de peligro inminente a la ocurrencia de nuevos eventos que podrían reactivarse ante la ocurrencia de sismos.

Finalmente, se recomienda reubicar a las viviendas ubicadas en los lotes 21-A, 22-B, 22-C, 22-D, 23, 23-A y 23-B de la calle José Olaya. Además, las viviendas con código de lote 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 ubicadas en la avenida Los Próceres, deben conservar una distancia de 10 a 12 m del talud.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad de Chorrillos, según Oficio N° 073-2021-SGRD-GDE-MDCH, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos y estabilidad de taludes, ocurridos en abril del 2021, que afectó 8 viviendas y dejó 18 personas damnificadas.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los geólogos Cristhian Chiroque y Norma Sosa Senticala, para realizar la evaluación de peligros geológicos en situ, la cual se desarrolló el 23 de setiembre de 2021.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías), el cartografiado geológico, geodinámico y análisis de estabilidad de taludes, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Chorrillos y entidades competentes de la gestión del riesgo de desastre, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que afectan a las viviendas del A.H. Buenos Aires de Villa.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en el distrito de Chorrillos, se tienen:

- A) Boletín N° 76, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligro geológico en la región Lima” (Luque et al., 2020). Este trabajo indica que, parte de los suelos en la zona urbana del A.H. Buenos Aires de Villa se encuentra conformado por depósitos aluviales inconsolidados, acumulados por procesos aluvionales y fluviales, de igual modo se presentan como abanicos antiguos de gran dimensión. De acuerdo al mapa de inventario de peligros geológicos, en los alrededores del área evaluada se han identificado procesos de tipo caída (derrumbe).

B) En la “Memoria descriptiva y actualización del cuadrángulo de Lima hoja 25i, León, et al., 2003; describe la geología a escala 1: 100 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía (formaciones Marcavilca, Herradura y Salto de Frayle). Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas (lomadas modeladas en rocas sedimentarias).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El A.H. Buenos Aires de Villa se localiza al sureste del Centro de Lima, entre la Av. Los Proceres y calle José Olaya; distrito de Chorrillos, provincia de Lima, departamento de Lima (figura 1); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) (cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas del A.H. Buenos Aires de Villa

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	281580	8652182	-12.184	-77.007
2	281819	8652117	-12.185	-77.005
3	281685	8651913	-12.187	-77.006
4	281512	8651950	-12.187	-77.008
<i>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</i>				
C	281653	8652053	-12.18	-77.00

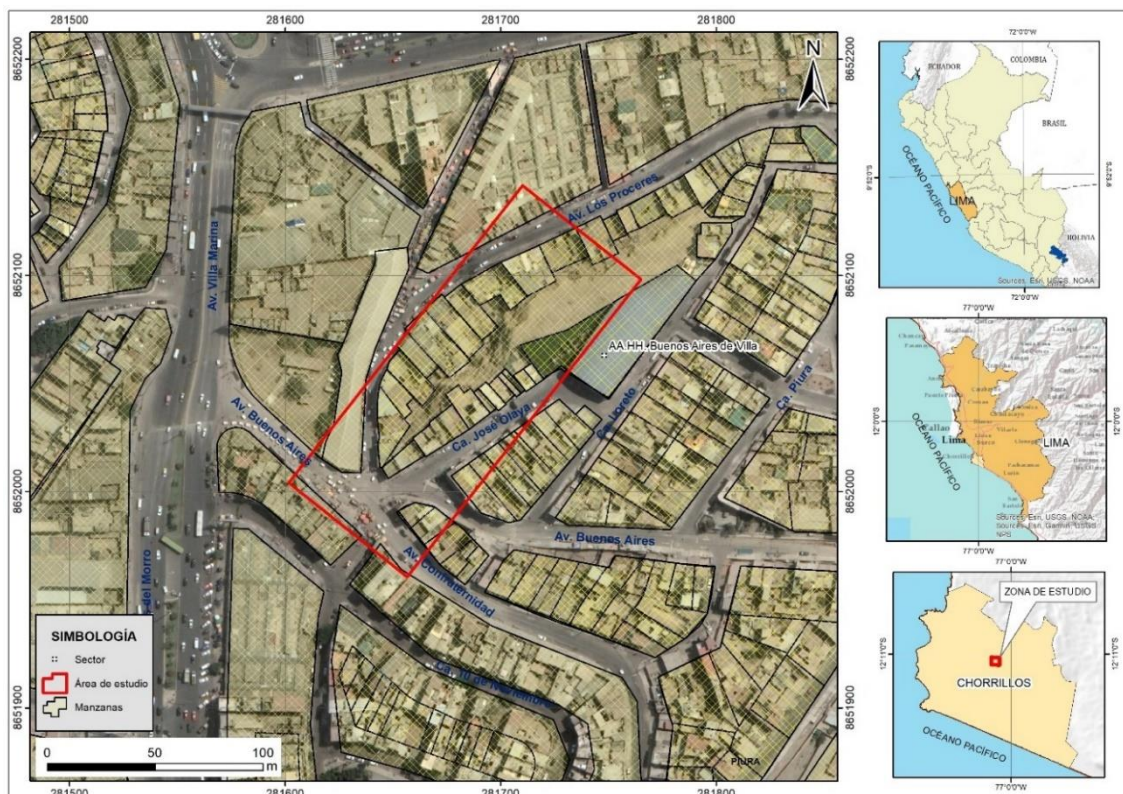


Figura 1. Mapa de ubicación del A.H. Buenos Aires de Villa, distrito de Chorrillos, provincia de Lima, departamento Lima.

1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde Ingemmet, mediante la siguiente ruta (cuadro 2):

Cuadro 2. Rutas y accesos al A.H. Buenos Aires de Villa

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ingemmet-Javier Prado-Panamericana Sur	Avenida asfaltada	10.5	12 minutos
Álamos – Próceres de Chorrillos	Avenida asfaltada	5	11 minutos

1.3.3. Clima

Según el mapa climático nacional elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi), el distrito de Chorrillos presenta un clima semi cálido (desértico-árido-subtropical), con temperatura media anual de 18° a 19°.

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

En la mayor parte del año, las lluvias son muy escasas, excepto ante la presencia de Fenómenos de El Niño, que ocasionan lluvias de moderada a fuerte intensidad, desencadenando procesos por movimientos en masa.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico en la zona evaluada se desarrolló en base a la carta geológica de Lima – hoja 25i (León, et al., 2003), a escala 1/100 000, donde se presentan principalmente depósitos Cuaternarios (aluviales) y rocas sedimentarias del Cretácico inferior; estas unidades a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo se presenta en el mapa geológico (mapa 1: Anexo 1).

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada y alrededores son de origen sedimentario, correspondiente a las formaciones Marcavilca (areniscas y limolitas), Salto de Frayle (areniscas Cuarzosas) y Herradura (lutitas grises). Parte de estas unidades se encuentran parcialmente coberturas por depósitos aluviales y antropogénicos

2.1.1. Formación Marcavilca (Ki-mar)

Aflora entre la calle José Olaya y Av. Los Próceres, está compuesto por areniscas grises intercaladas con limolitas arenosas altamente meteorizadas y muy fracturadas (fotografía 1). Además, presenta estratificación paralela delgada, con espesores que varían de 2 a 10 cm. Asimismo, se observó que las limolitas al meteorizarse originan coberturas arcillosas y en contacto con el agua incrementan su plasticidad, constituyendo rocas de mala calidad.



Fotografía 1. Vista de areniscas grises intercaladas con limolitas arenosas altamente meteorizadas y muy fracturadas Coordenadas UTM (WGS 84): 677031 E, 8509451 N a 3087 m s.n.m

2.1.2. Depósito aluvial (Q-al)

Son depósitos inconsolidados que han sido acumulados por la combinación de procesos aluvionales y fluviales; formando terrazas a diferentes niveles. Estos depósitos están constituidos por capas de grava gruesa y fina, bien clasificada, con clastos redondeados a subredondeados e intercalaciones de capas de arena, limo y arena arcillosa en proporciones variables. Sobre estos depósitos aluviales que alcanzan espesores considerables, se asienta parte de las viviendas del A.H. Buenos Aires de Villa.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis de las geoformas y caracterización morfométrica en el A.H. Buenos Aires de Villa se elaboró un modelo digital de elevación y un mapa de pendientes, en base a la información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS).

3.1. Modelo Digital de Elevaciones

El área evaluada, forma parte del talud superior (calle José Olaya), con elevaciones que varían entre 65 y 75 m s.n.m. Se localizan los lotes 21, 21-A, 22-B, 22-C, 22-D, 23, 23-A, 23-B, 23-C y 23-D.

La parte baja o talud inferior, abarca la Av. Los Próceres con elevaciones entre 57 y 61 m s.n.m., donde se distribuyen más de 11 viviendas (lotes 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10-A).

El talud afectado tiene una altura de 12 a 15 m, con relaciones de aspecto mayores a 0.1 (H):1 (V), y pendientes fuertes mayores a 25° (figura 2A).

3.2. Pendientes del terreno

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

De acuerdo al modelamiento de la pendiente del terreno (figura 2B), se determinó que el talud afectado posee pendientes mayores a 25°, caracterizado como fuertes a muy escarpadas (tabla 1), condicionante que favoreció la ocurrencia de vuelco y deslizamiento en el A.H. Buenos Aires de Villa.

Tabla 1: Rangos de pendientes del terreno

PENDIENTE EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte a escarpado
>45	Muy escarpado

Fuente: Gómez et al. (2020)

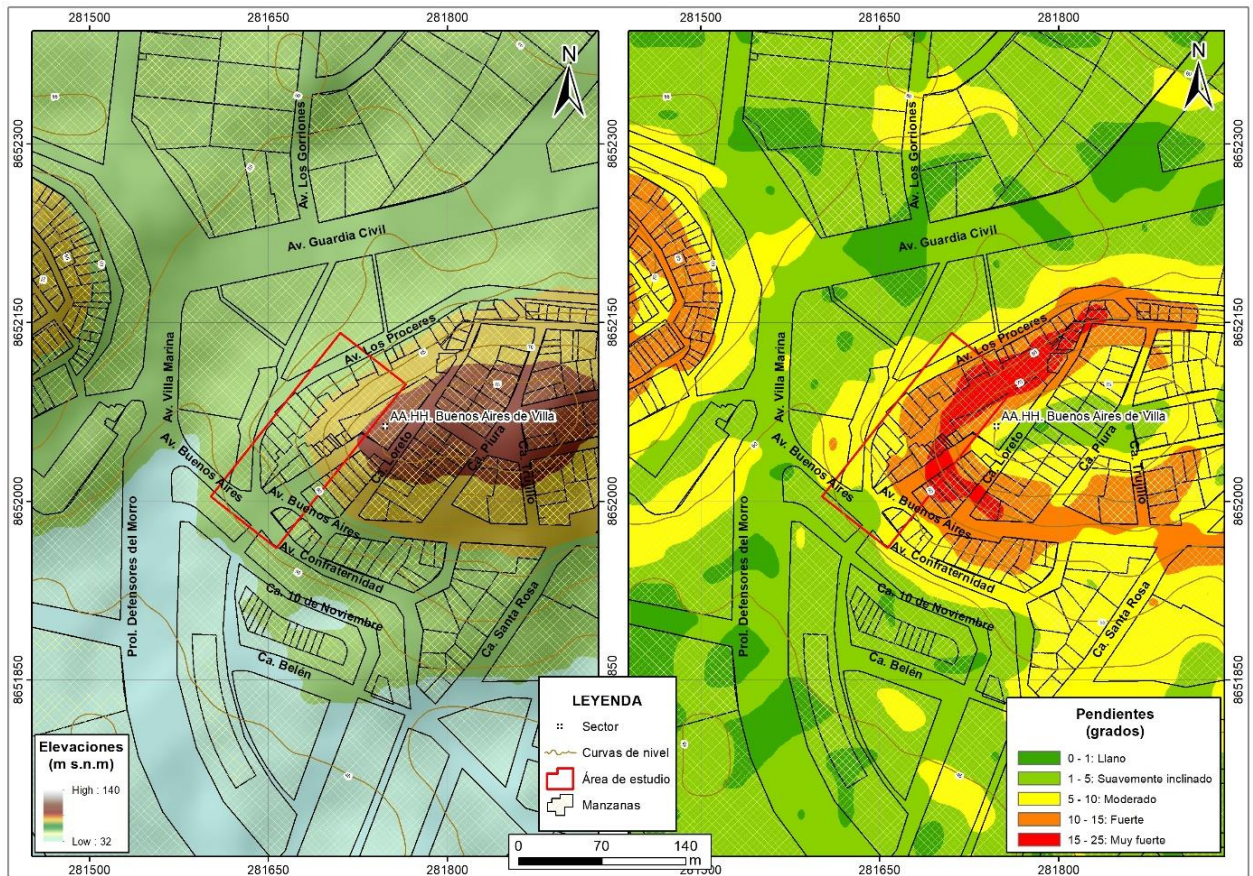


Figura 2. A). Modelo digital de elevaciones (MDE). B) Pendientes del área de evaluación.

3.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas (Anexo 1: Mapa 2), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vilchez et al., 2020).

A continuación, se mencionan las principales unidades y subunidades geomorfológicas que conforman el relieve en la zona de estudio.

3.3.1. Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno, resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

3.3.1.1. Unidad de lomadas

Subunidad de lomadas en rocas sedimentarias (RCL-rs): Relieve modelado en afloramientos de la Formación Marcavilca, se distribuye de este a oeste como remanentes de las primeras estribaciones Andinas que alcanzaron poca elevación y formas onduladas. Actualmente, las viviendas localizadas entre la calle José Olaya y

Av. Los Próceres del A.H. Buenos Aires de Villa se encuentran sobre esta unidad, con elevaciones máximas de hasta 71 m s.n.m. y pendientes moderadas a fuertes (figura 3).

La actividad antrópica modificó el relieve de lomadas, alterando la pendiente de las laderas con la finalidad de construir viviendas e infraestructuras. Actualmente, el talud posee pendientes subverticales que varían de 45° a 65°



Figura 3. Vista de lomada modelada en rocas sedimentarias (RL-rs), donde ocurrió el vuelco y deslizamiento. Coordenadas UTM (WGS 84): 281688 E, 8652045 N a 27 m s.n.m.

3.3.2. Geofomas de carácter depositacional y agradacional

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geofomas anteriores, aquí se tienen:

3.3.2.1. Unidad de planicie

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores Cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales.

Subunidad de planicie aluvial (PI-al): Están conformadas por relieves con pendientes llanas a moderadas, sobre las cuales se muestran zonas con coberturas aluviales por influencia de antiguos sistemas fluviales.

Actualmente, las viviendas ubicadas en la parte baja del A.H. Buenos Aires de Villa se encuentran asentadas sobre esta subunidad, cuyo relieve plano a semi ondulado limita con la calle José Olaya y la Av. Los Próceres. El evento proveniente de la parte alta del talud, llegó a depositarse sobre esta área. (fotografía 2).



Fotografía 2. Vista desde la parte alta de la calle José Olaya hacia la planicie aluvial.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos, corresponden a movimientos en masa de tipo vuelco y deslizamientos (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno y la intervención antrópica (mano del hombre), que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa. Un claro ejemplo de ello es el cambio de topografía del terreno producido por los cortes del talud para emplazar viviendas, inestabilizando las laderas rocosas. Esta actividad, generó la ocurrencia del deslizamiento del 23 de setiembre del presente año.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

En este ítem se describen los procesos de movimientos en masa desde el punto de vista geológico, geomorfológico, geomecánico; así como la caracterización geométrica de los movimientos en masa.

Los trabajos de campo permitieron identificar dos tipos de eventos: el primero, en la parte alta del talud, con vuelcos de rocas; mientras que, en la parte media de la ladera, rotura planar y cuñas rocosas con tendencia a deslizamientos en rocas de muy mala calidad geomecánica y buzamientos (de los estratos rocosos) a favor de la pendiente, favoreciendo de esta manera la inestabilidad de la ladera.

4.1.1. Vuelco en la parte alta del A.H. Buenos Aires de Villa

Las viviendas ubicadas en la calle José Olaya, forman parte del talud superior, cuyos límites fueron afectados por vuelco debido al fracturamiento de la roca (figuras 4 y 5).

El tipo de vuelco fue determinado como flexural, desarrollado en rocas frágiles e intensamente diaclasadas. Estas condiciones favorecen la presencia de agrietamientos y subsidencias de todas las estructuras ubicadas por encima del talud.

En la inspección realizada en el interior de las viviendas ubicadas en los lotes 22-B y 21-A, se registraron daños en los pisos, paredes, columnas y vigas. En los pisos se observó agrietamientos paralelos al escarpe principal del bloque volcado, esto evidencia procesos retrogresivos que pueden formar nuevos planos de falla (figuras 6a y b).

En las paredes se han identificado grietas paralelas, diagonales y longitudinales con desprendimiento de concreto y separaciones de hasta 3 cm, estas aperturas se proyectan en la misma dirección de los pisos (figuras 7, 8 y 9).

4.1.2. Rotura planar con tendencia a deslizamiento traslacional

En la zona media del talud se originó el desplazamiento de masa a lo largo de una superficie de falla plana. Este tipo de movimientos son superficiales y ocurren a lo largo de discontinuidades como planos de estratificación, fallas, diaclasas o en contacto entre roca y suelo residual.



Figura 4. Vista hacia el talud en estado crítico, con pendientes subverticales expuesto a volcamientos.



Figura 5. Vista hacia el área afectada, en la parte superior se observan rocas muy fracturadas.

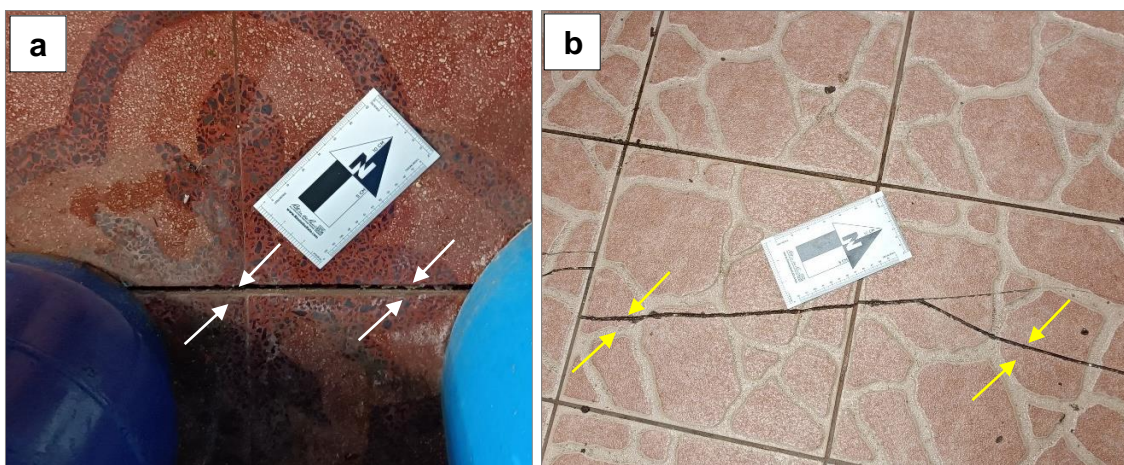


Figura 6. a) Agrietamientos paralelos con direcciones suroeste a noreste y este a oeste en el lote 22-B. b). Agrietamientos presentes en la vivienda 21-A, con los mismos vectores de desplazamiento.



Figura 7. Grietas diagonales en la pared de la vivienda 22-B, con 2 a 5 cm de ancho y 2.5 m de longitud de piso a techo.

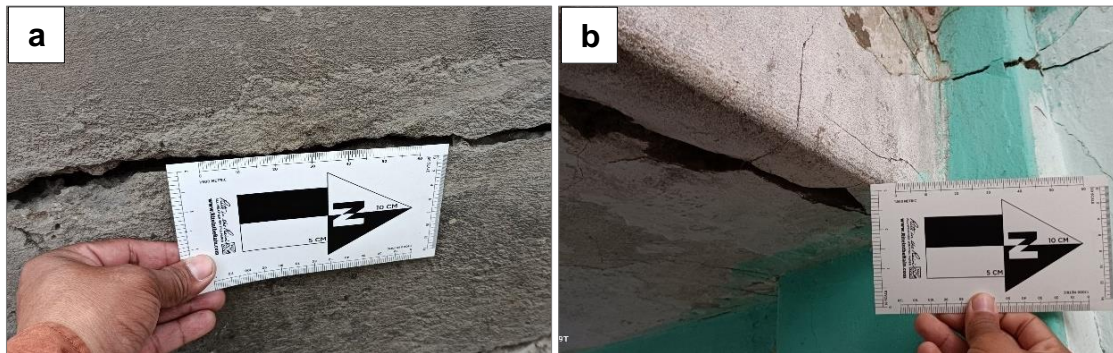


Figura 8. a y b) Daños estructurales en vigas y columnas con aperturas de hasta 3 cm y desplazamientos de 2 cm.

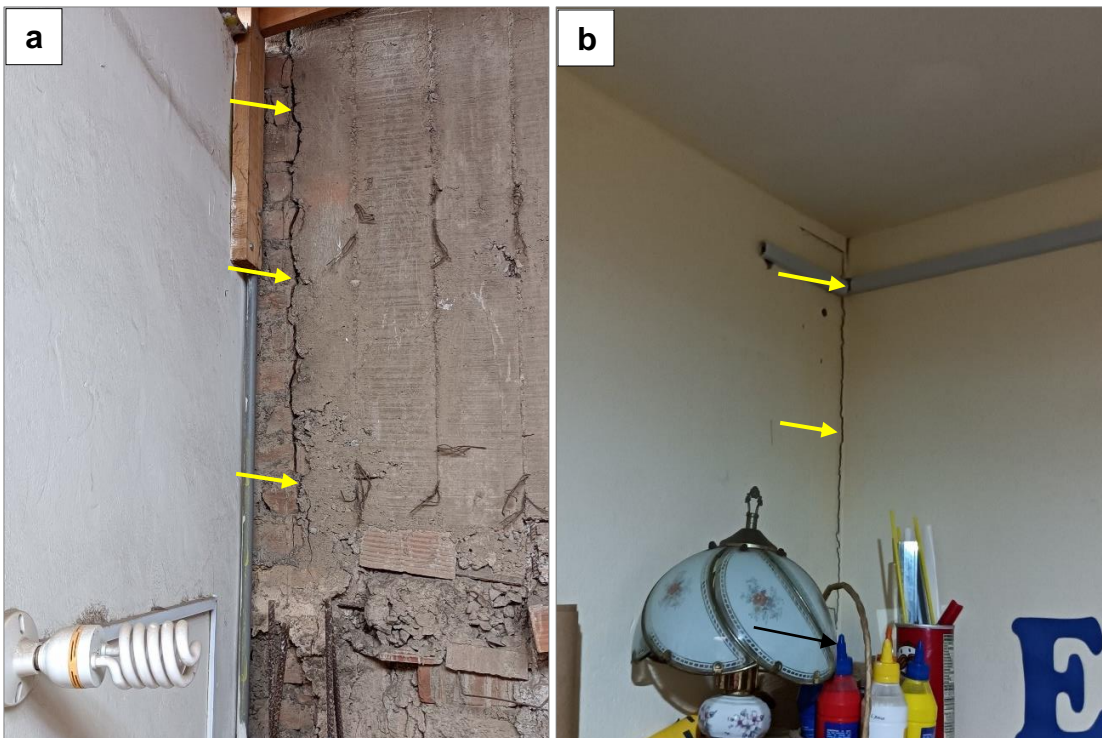


Figura 9. a y b) Grietas en columnas con separaciones de hasta 2 cm.

El talud afectado está conformado por areniscas grises intercaladas con limolitas arenosas y estratificación paralela delgada, poseen espesores de 2 a 10 cm (figuras 10 y 11). El material desplazado se desintegró al ingresar a las viviendas, los bloques conservados contienen mayor cantidad de arenisca y fueron los que causaron mayor daño en paredes y columnas junto al peso del material depositado (figura 12).



Figura 10. Vista desde la parte superior del deslizamiento donde fueron afectadas 7 viviendas.



Figura 11. Estratos delgados de limolitas arenosas con buzamientos a favor de la pendiente.



Figura 12. Los materiales desplazados entraron hacia las viviendas desde los patios traseros hacia la parte frontal con dirección a la Av. Los Próceres.

5. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DEL TALUD

5.1. Factores condicionantes

A continuación, se describen los factores que intervienen en la ocurrencia de los deslizamientos en la zona evaluada:

5.1.1. Factor litológico

Los afloramientos identificados en los taludes del A.H. Buenos Aires de Villa, entre la Av. Los Próceres y calle José Olaya, están conformados por areniscas y limolitas (fotografía 3) de mala calidad geomecánica, con estratificación delgada, muy fracturadas, y de baja resistencia a la compresión.

Es importante mencionar que las limolitas son rocas conformadas por arcillas, óxidos de hierro y cuarzo, que al meteorizarse originan coberturas algo arcillosas, cuyas propiedades resistentes varían con el grado de humedad y la rapidez con la que se aplican los esfuerzos. Son suelos problemáticos, si están muy húmedos no son capaces de soportar esfuerzos (fotografía 4).



Fotografía 3. Afloramiento de areniscas y lutitas en el flanco derecho del deslizamiento.



Fotografía 4. Limolitas de textura laminar, frágiles y muy fracturadas.

5.1.2. Factor pendiente

El talud ubicado entre la calle José Olaya y la Av. Los Próceres tiene pendientes fuertes a muy escarpadas, este factor condicionó la ocurrencia de volcamientos de roca en el talud superior. Es decir, los bloques se desprendieron a partir de los planos de falla debido al intenso fracturamiento de la roca, cuyas superficies vasculadas siguieron la misma orientación de los planos de buzamiento (figura 13).

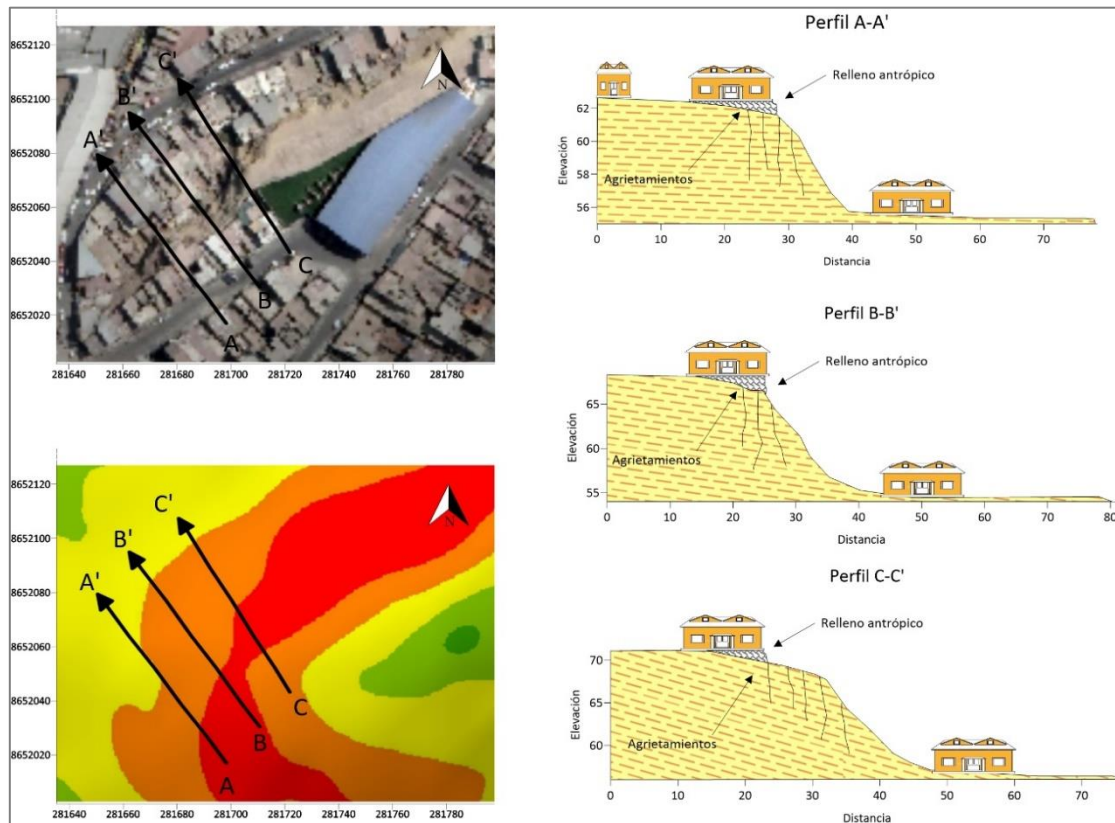


Figura 13. Perfiles transversales esquemáticos del talud superior de la calle José Olaya hasta la Av. Próceres.

5.2. Clasificación geomecánica

Para evaluar la estabilidad del talud, se utilizan las clasificaciones geomecánicas. Para ello, a partir del RMR (Bieniawski, 1989) se obtiene la clasificación SMR (Romana, 1977) aplica a taludes rocosos.

5.2.1. RMR de Bieniawski

La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, consiste en la clasificación de macizos rocosos en base a parámetros geotécnicos del afloramiento.

Mediante las características del afloramiento se evaluaron las diaclasas, discontinuidades (longitud, abertura, rugosidad, relleno y alteraciones), presencia de agua y resistencia de la roca; esta información fue ingresada a fichas técnicas para obtener la clasificación geomecánica.

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron determinados con el método indirecto (usando el martillo de geólogo, ISRM 1981), el índice de calidad (RQD)

fue determinado para cada estación, mediante el registro lineal (Ramírez Oyanguren et al, 1984), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro línea (fotografía 5).

Para estimar la calidad de roca del talud, se realizaron 04 estaciones geomecánicas en el talud inferior y zona donde ocurrió el vuelco, separadas de 1 a 5.

A continuación, se describen los resultados obtenidos de la evaluación realizada en campo (cuadro 3, 4, 5 y 6).



Fotografía 5. Vista de los afloramientos en el talud crítico, en dirección oeste a este.

Cuadro 3. Estación geomecánica 01: Macizo rocoso de mala calidad con un RMR de 23.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACI.		
	VALOR ESTIMADO								
R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	X	<25(2) <5(1) <1(0)	1	2	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	X	<25 (3)	2	3	
ESPACIAMIENTO(m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	X	<0,06 (5)	3	5	
PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	X	3-10m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2	
CONDICION ABERTURA	Cerrada (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	1-5 mm (1)	X	>5mm (0)	4B	0	
DE RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	1	
JUNTAS RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	X	Suave >5mm (0)	4D	0	
ALTERACION	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	X	Descompuesta (0)	4E	0	
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1a 5) =								23	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								IV	
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Cuadro 4. Estación geomecánica 02: Macizo rocoso de mala calidad con un RMR de 24.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACI.		
	VALOR ESTIMADO								
R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	X	<25(2) <5(1) <1(0)	1	2	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	X	<25 (3)	2	3	
ESPACIAMIENTO(m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	X	<0,06 (5)	3	5	
CONDICION	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	1
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	X	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	0
DE	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	1
	JUNTAS	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	X	Suave >5mm (0)	4D
	ALTERACION	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	X	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	2
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1a 5) =								24	
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				

Cuadro 5. Estación geomecánica 03: Macizo rocoso de mala calidad, con un RMR de 28.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACI.		
	VALOR ESTIMADO								
R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	X	<25(2) <5(1) <1(0)	1	2	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	X	<25 (3)	2	3	
ESPACIAMIENTO(m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	X	<0,06 (5)	3	5	
CONDICION	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	1
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	X	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	1
DE	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	JUNTAS	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	X	Suave <5mm (1)	Suave >5mm (0)	4D
	ALTERACION	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	X	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	2
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1a 5) =								28	
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				

Cuadro 6. Estación geomecánica 04: Macizo rocoso de mala calidad con un RMR de 24.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACI.		
	VALOR ESTIMADO								
R. COMPRES. UNIAxIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	X	<25(2) <5(1) <1(0)	1	2	
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	X	<25 (3)	2	3	
ESPACIAMIENTO(m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	X	<0,06 (5)	3	5	
CONDICION	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	1
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0,1mm apert. (5)	0,1-1,0mm (4)	X	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	0
DE	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	X	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	1
	JUNTAS	RELLENO	Limpia (6)	Duro <5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave <5mm (1)	X	Suave >5mm (0)	4D
	ALTERACION	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterada. (3)	X	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	2
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1a 5) =								24	
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				

Estos valores obtenidos en base a RMR, fueron tomados para realizar la corrección de los parámetros de tipo y calidad de roca basado en el SMR aplicado a la caracterización de taludes.

5.2.2. SMR para taludes

La clasificación SMR es un método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR de BIENIAWSKI a los taludes. Cualquier clasificación debe considerar, en primer lugar, que la rotura de un talud rocoso puede ocurrir según formas muy diferentes. En la mayoría de los casos la rotura de la masa rocosa está gobernada por las discontinuidades y se produce según superficies formadas por una o varias juntas. Las formas básicas son bien conocidas (Hoek & Bray, 1974) y se resumen a continuación: roturas planas, roturas en cuña, roturas por vuelco y roturas globales.

A continuación, se muestra el SMR realizado en las 04 estaciones evaluadas en el talud afectado (cuadro 7). Además, se muestran los ajustes en base a los datos de RMR, obtenidos para cada estación geomecánica (cuadro 8).

Cuadro 7. SMR calculados en función de los factores de ajuste de las juntas.

N°	RMR		F1	F2	F3	F4	CORRECCION	SMR
1	23		0.15	1.00	-6	0	-0.9	22
2	24		0.70	1.00	0	0	0.0	24
3	28		0.40	1.00	-6	-2	-4.4	24
4	24		0.15	1.00	-6	-2	-2.9	21

Cuadro 8. Cuadro comparativo de RMR versus SMR.

Estación N°	RMR	Tipo	SMR	Tipo
EST-01	23	IV Mala	22	IV Mala
EST-02	24	IV Mala	24	IV Mala
EST-03	28	IV Mala	24	IV Mala
EST-04	24	IV Mala	21	IV Mala

Según el valor del índice SMR se obtienen 5 clases de estabilidad, definidas simplifícadamente en la tabla 2.

Tabla 2. Cuadro comparativo de RMR versus SMR.

CLASES DE ESTABILIDAD SEGÚN EL SMR (Romana, 1985)					
Clase tipo	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-40	61-80	81-100
Descripción	Muy Mala	Mala	Normal	Buena	Muy Buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas y grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Re-excavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Los valores obtenidos mediante RMR fluctuaron entre 23 a 28 calificados como rocas de mala calidad, la nueva evaluación en base a SMR, muestran valores de 21 a 24, estos valores se ajustan de mejor forma a las observaciones realizadas en campo. Los taludes se clasifican como rocas de mala calidad e inestables, estos requieren trabajos de corrección y protección.

6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD

Se realizó el análisis para la estabilidad de taludes en 2D con el programa Slide, utilizando el método de equilibrio límite para estimar el factor de seguridad; además se realizó el análisis cinemático del talud por falla planar o volteo en base a los datos recolectados en la etapa de campo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos, que deben ser considerados para emplear las medidas correctivas, de esa manera evitar daños mayores a viviendas e infraestructura.

6.1. Análisis cinemático con DIPS

Para trabajar en el programa DIPS de Rocscience (cuadro 9), se realizó la interpretación de los rumbos y buzamientos promediando todas las familias de discontinuidades y realizando la conversión a Dips y Dips direction.

6.1.1. Estación geomecánica EST-01

Datos tomados en campo y convertidos a dips y dipdirection en etapa de gabinete (cuadro 8, fotografía 6 y figura 14).

Cuadro 8. Datos convertidos a dips y dipdirection para la estación 01:

Datos	RUMBO	BUZAMIENTO	CONVERSIÓN	
			DIP	DIP DIRECTION
T	N55°E	70°NW		
E	N45°E	35°NW		
D1	N55°E	87°NW		
D2	N25°E	80°NW		
Talud			70	325
Familia de discontinuidad 1			35	315
Familia de discontinuidad 2			87	325
Familia de discontinuidad 3			80	295



Fotografía 6. Vista del talud donde se ubica la estación geomecánica 01.

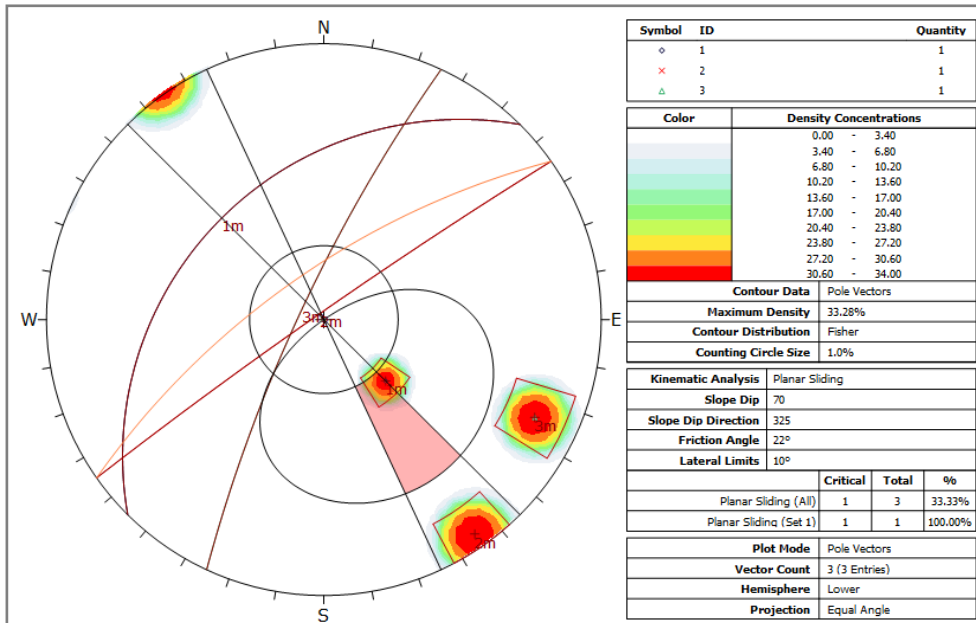


Figura 14. Estereograma ploteado con los familias de juntas observadas en campo, análisis por falla planar.

Según los datos observados, existe un 33.3% de posibilidad de que ocurran roturas planares a través de la estratificación (familia 1), que corresponden a discontinuidades con buzamientos a favor de la pendientes; así como las familias 2 y 3 que interceptan a los estratos y sirven como “estructuras de corte”, favoreciendo la ruptura e inestabilidad del talud. (figura 15).

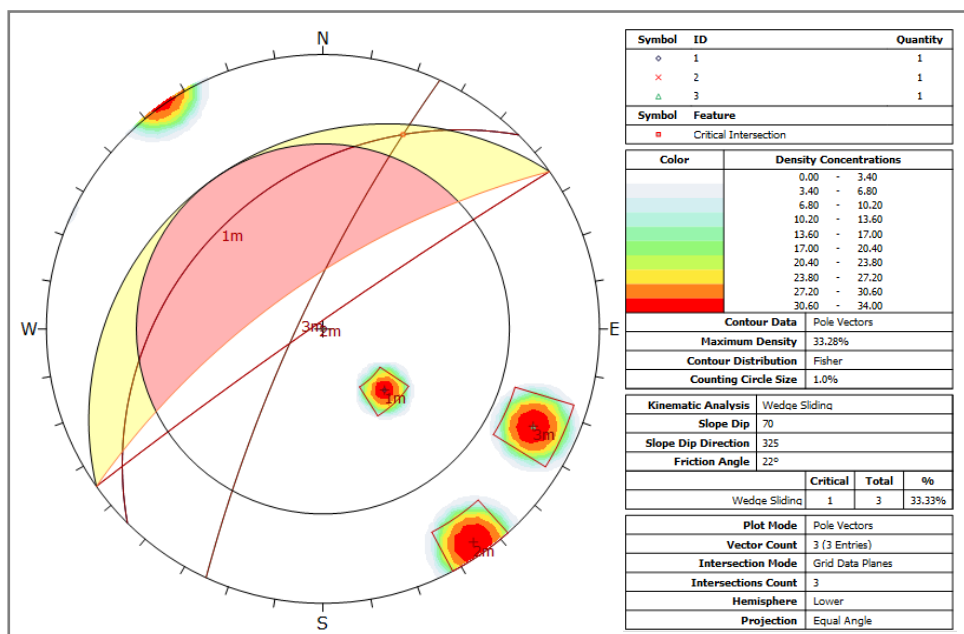


Figura 15. Estereograma ploteado con los familias de juntas observadas en el campo.

Del análisis de falla por cuña, existe una probabilidad de 33% de ocurrencia, debido a la intersección de las familias 2 y 3, esto ocasionaría caídas de bajo volumen pero podrían desencadenar procesos de mayor tamaño al desestabilizarse el talud.

6.1.2. Estación geomecánica 02

Datos tomados en campo y convertidos a dips y dipdirection en etapa de gabinete (cuadro 9, figura 16).

Cuadro 9. Datos convertidos a dips y dipdirection para la estación 02:

Datos	RUMBO	BUZAMIENTO
T	S55°W	70°NW
E	S44°E	14°NE
D1	S39°E	77°NE
D2	N81°E	83°NW
D3	N56°E	85°NW

Datos para análisis	CONVERSIÓN	
Tipo de familia	DIP	DIP DIRECTION
Talud	70	340
Familia de discontinuidad 1	14	46
Familia de discontinuidad 2	77	53
Familia de discontinuidad 3	83	351
Familia de discontinuidad 4	85	326

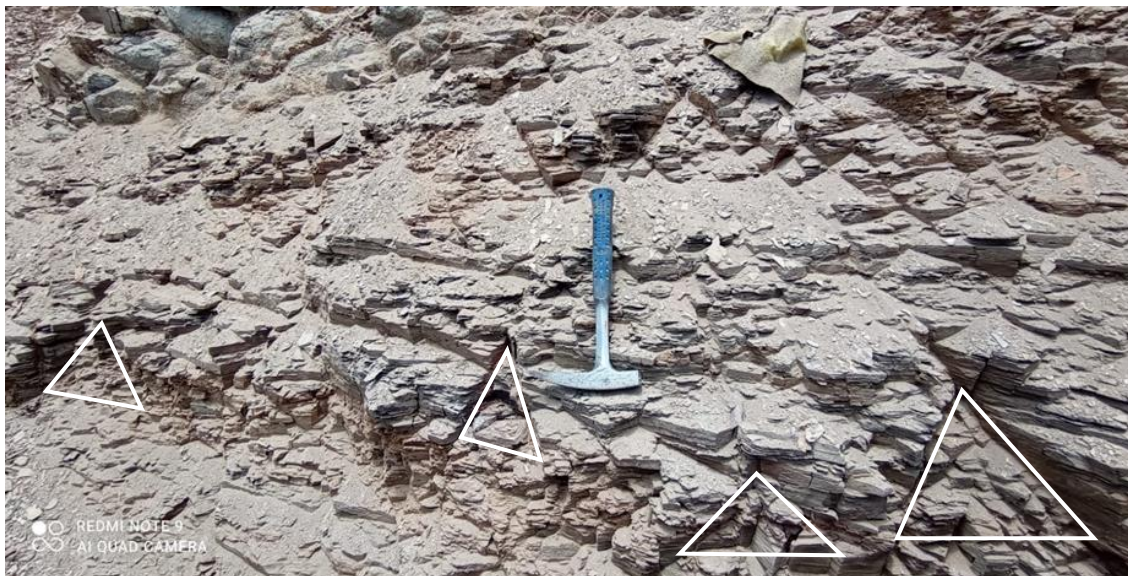


Figura 16. Vista del talud donde se ubica la estación geomecánica 02.

Los datos observados indican que, existe un 16% de falla por cuña (figura 17) debido a la intersección de las diaclasas entre las familias F3 y F4 con la familia F1 correspondiente al estrato del talud, las familias F1 y F3 se intersectan en la zona crítica.

En situ, el talud presenta pequeñas cuñas, que en conjunto podrían ocasionar la falla total del talud.

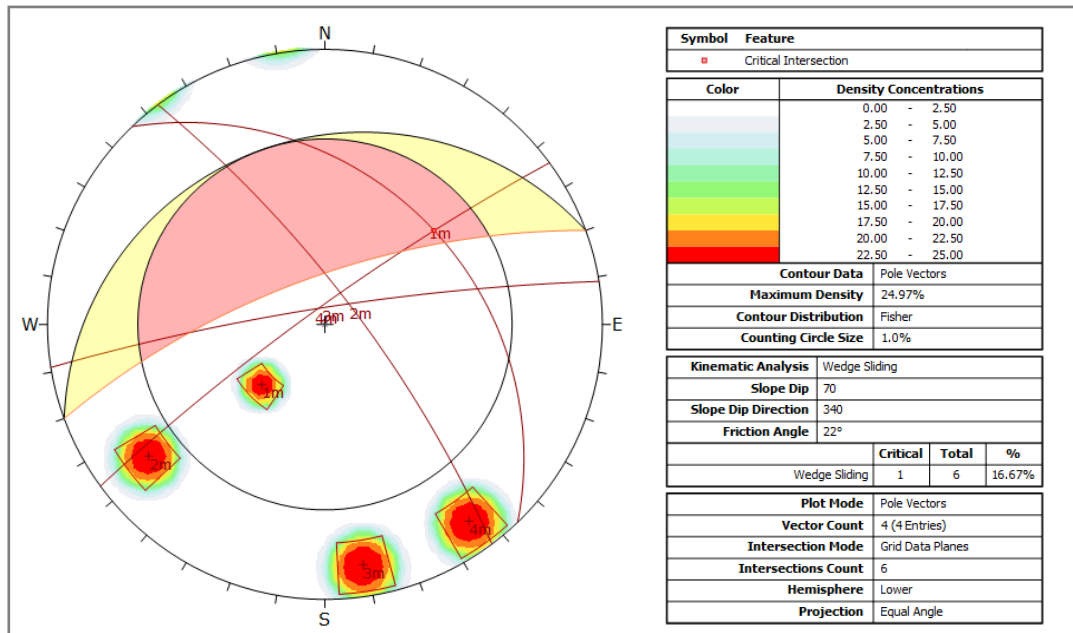


Figura 17. Estereograma plotado con los familias de juntas, el análisis para la estación 02 muestra falla por cuña.

6.1.3. Estación geomecánica 03

Datos tomados en campo y convertidos a dips y dipdirection en etapa de gabinete (cuadro 9, figura 18 y 19):

Cuadro 9. Datos convertidos a dips y dipdirection para la estación 03:

Datos	RUMBO	BUZAMIENTO
T	N6°W	84°SW
E	N15°E	8°SE
D1	S32°E	84°NE
D2	S23°E	79°NE
D3	S21°E	78°NE
D4	S22°E	77°NE

Datos para análisis	CONVERSIÓN	
Tipo de familia	DIP	DIP DIRECTION
Talud	84	264
Familia de discontinuidad 1	8	105
Familia de discontinuidad 2	84	58
Familia de discontinuidad 3	79	67
Familia de discontinuidad 4	78	69
Familia de discontinuidad 5	77	68



Figura 18. Vista del talud donde se ubica la estación geomecánica 03.

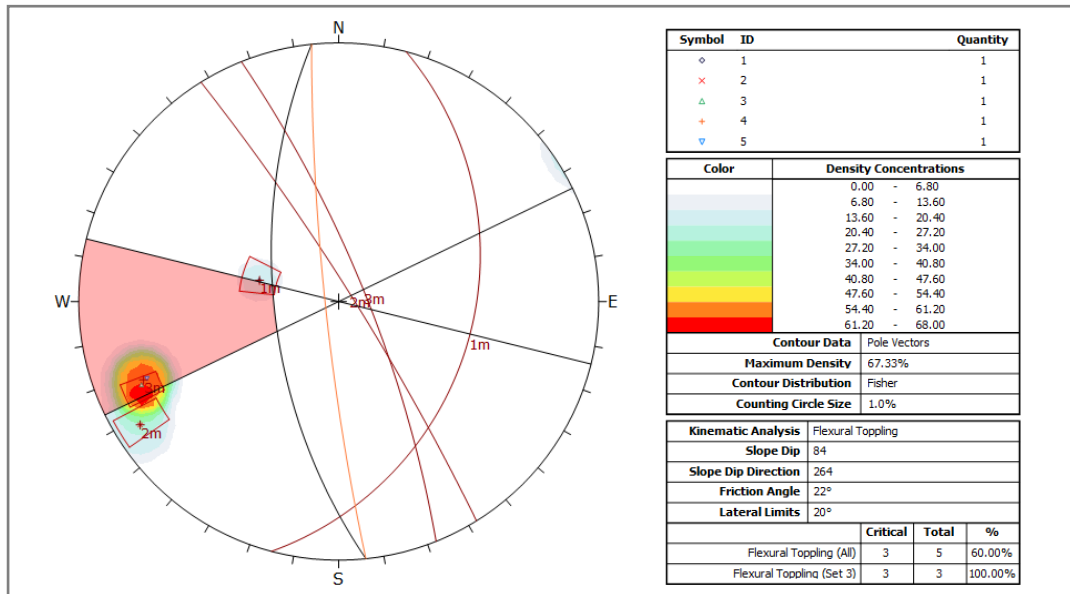


Figura 19. Estereograma plotado con los familias de juntas, el análisis para la estación 03 muestra falla por volcamiento flexural.

Existe una probabilidad del 60% de falla de talud por volcamiento de tipo flexural, esta estación se realizó en la parte central del talud, debido a la presencia de diaclasas que se encuentran inclinadas verticalmente al talud y con dirección hacia las viviendas.

6.1.4. Estación geomecánica 04

Datos tomados en campo y convertidos a dips y dipdirection en etapa de gabinete (cuadro 10, figura 20 y 21):

Cuadro 10. Datos convertidos a dips y dipdirection para la estación 04:

Datos	RUMBO	BUZAMIENTO
T	N35°E	55°NW
E	S44°W	42°NW
D1	N50°W	80°NE
D2	N49°W	79°NE
D3	N51°W	81°NE
D4	N52°W	82°NE

Datos para análisis	CONVERSIÓN	
Tipo de familia	DIP	DIP DIRECTION
Talud	55	125
Familia de discontinuidad 1	42	314
Familia de discontinuidad 2	80	40
Familia de discontinuidad 3	79	41
Familia de discontinuidad 4	81	39
Familia de discontinuidad 5	82	38



Figura 20. Vista del talud donde se ubica la estación geomecánica 04.

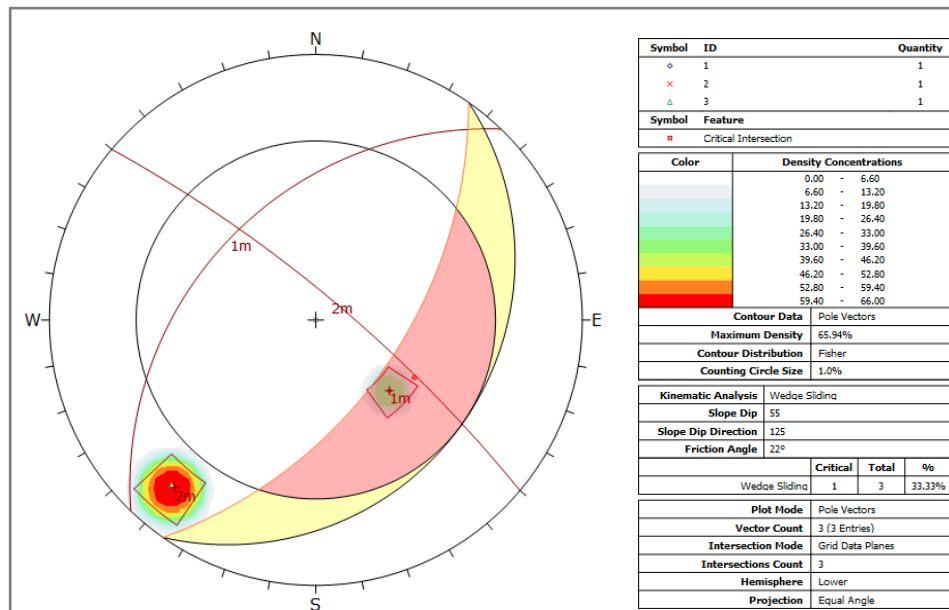


Figura 21. Estereograma planteado con los familias de juntas, el análisis para la estación 04 muestra falla por cuña.

El análisis muestra un 33% de probabilidad que ocurra fallamiento por cuña, debido a la intersección de los planos de las familias de discontinuidad 1 y 2 dentro de la zona crítica (figura 22).

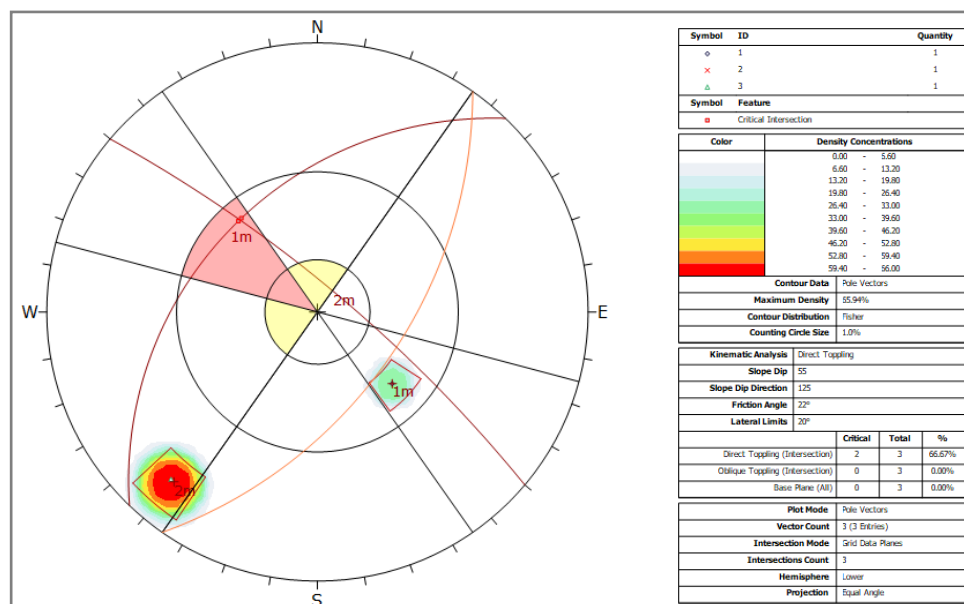


Figura 22. Estereograma planteado con los familias de juntas, el análisis para la estación 03 muestra falla por volcamiento directo.

La interpretación de los datos muestran que, la falla principal ocurre por vuelco directo con una probabilidad del 66%, debido a la intersección de los planos de la familia de discontinuidad 1 dentro de la zona crítica.

6.1.5. Resultados globales

De los resultados globales, donde se evalúan todas las familias de juntas encontradas, se tiene un 20% de falla de tipo planar y 22% de falla tipo cuña. Estos resultados se contrastan con las observaciones en campo. Si bien, los porcentajes son bajos, estos pueden originar nuevos procesos con efectos importantes (figura 23).

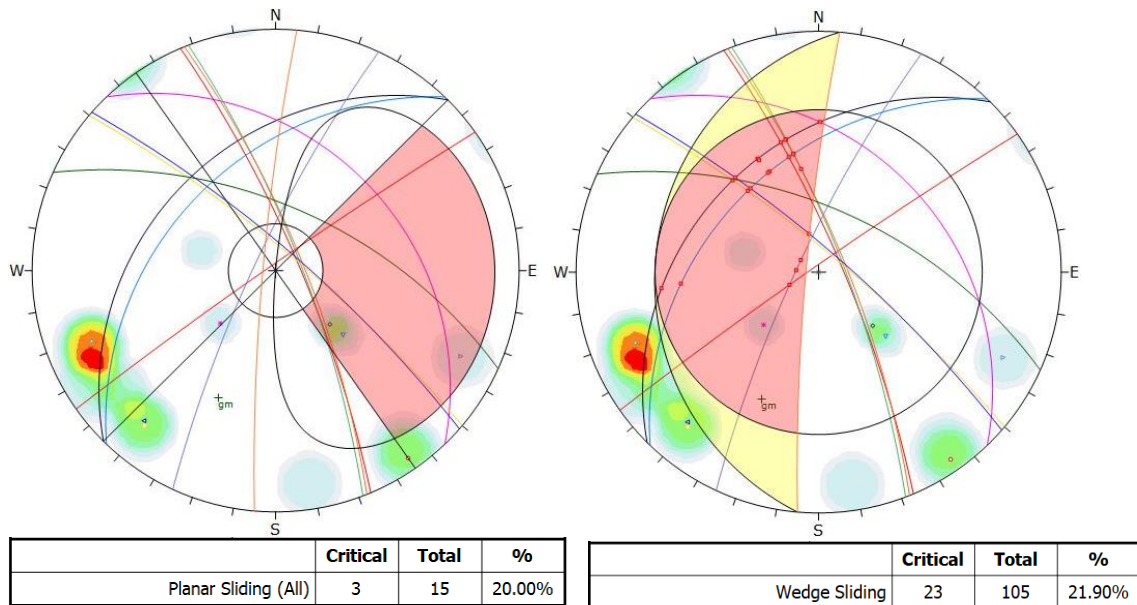


Figura 23. Resultados de estereograma por falla planar y en cuña.

Los volcamientos de tipo flexural alcanzan un 40% de probabilidad, habiéndose observado este tipo de procesos locales en la parte alta y media del talud; mientras que, los volcamientos de tipo directo y oblicuo alcanzan 27% y 19% respectivamente, llegando a un total de 46%, estos procesos se manifestaron desde la parte alta del talud (figura 24).

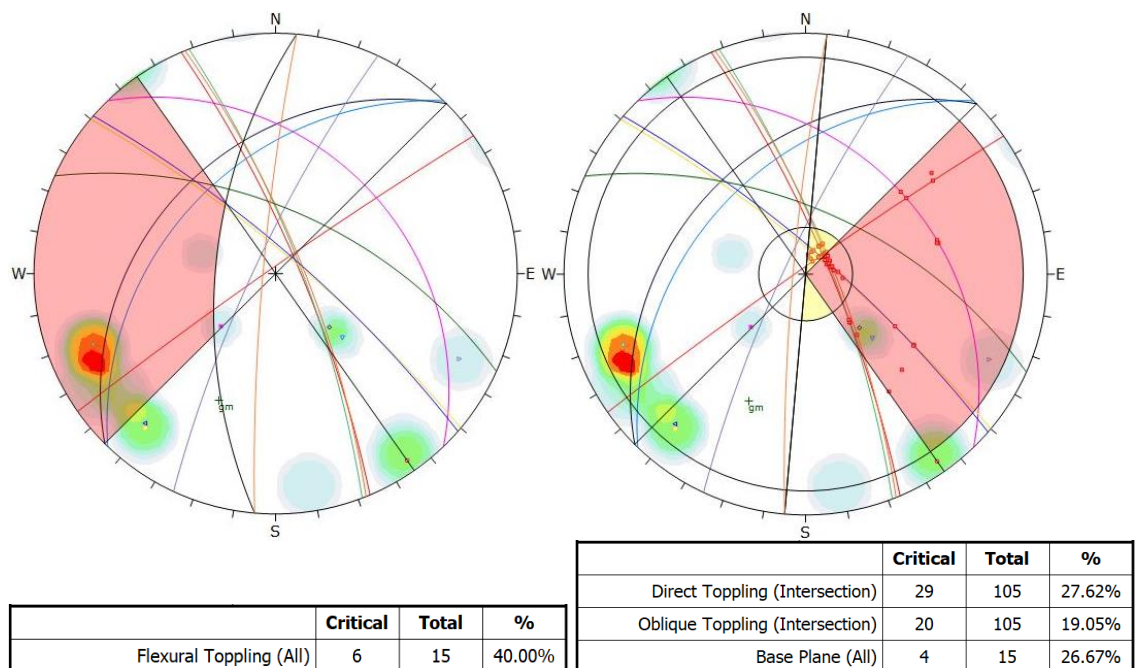


Figura 24. Resultados de estereograma por volcamiento flexural, directo y oblicuo.

El análisis confirma el comportamiento del movimiento observado en campo, determinado por roturas planares y cuñas, que, dado el intenso fracturamiento y la estratificación delgada y laminar del macizo rocoso, podría desencadenar un deslizamiento y procesos de volcamientos en la parte media y alta del talud.

6.2. Estabilidad de talud con Slide

En el análisis de estabilidad de taludes, realizado el programa de cómputo geotécnico, Rockscience - Slide, se calculó un factor de seguridad tomando en cuenta las propiedades del suelo y roca (cohesión y ángulo de fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes del deslizamiento.

Las propiedades requeridas de los materiales que componen el talud, son los siguientes:

- Peso unitario húmedo (γ_h)
- Peso unitario saturado (γ_{sat})
- Cohesión
- Ángulo de resistencia al corte

6.2.1. Criterio de Análisis

El criterio de Mohr-Coulomb, es adecuado para materiales frágiles como dúctiles, y suele aplicarse a los geomateriales o materiales fricciantes, tales como el hormigón o los suelos, que presentan una marcada diferencia entre la resistencia a la tracción y compresión. Además, este criterio puede verse como una generalización del criterio de Tresca mucho más aproximado al comportamiento real de los geomateriales (Cervera et al, 2001).

6.2.2. Parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos se estimaron mediante el programa Rocklab de Rocscience, este se basa en el criterio de rotura de Hoek-Brown, que permite obtener parámetros de resistencia del macizo rocoso a partir del rango de resistencia a la compresión de la roca, GSI (Índice de resistencia geológica), constante M_i , factor de perturbación y la altura del talud.

Según las observaciones de campo in situ y los valores obtenidos en las fichas geomecánicas se estimaron los siguientes datos (figura 25 y cuadro 11).

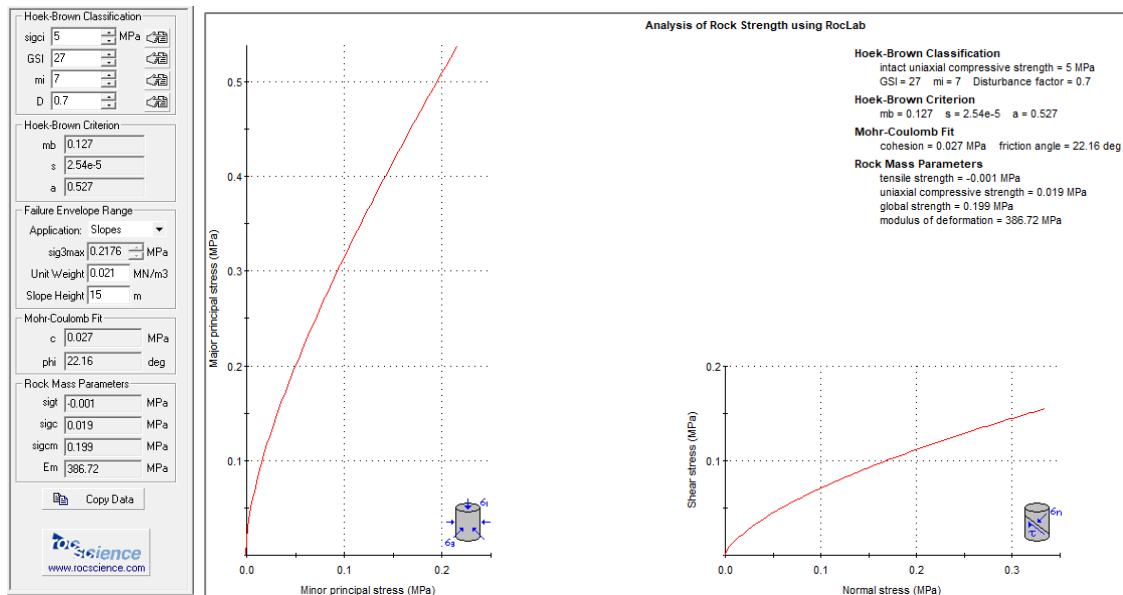


Figura 25. Parámetros obtenidos en base a la evaluación geomecánica del talud con el programa Roclab.

Cuadro 11. Parámetros geotécnicos usados para el análisis de estabilidad de taludes

Material Name	Unit Weight (Kn/m3)	Strength Type	Cohesión (kN/m2)	Phi	Water surface	Ru
Arenisca/limolitas	21	Mohr-Coulomb	27	22	none	0

Fuente: Elaboración propia (Roclab).

6.2.3. Condición de análisis

El factor de seguridad calculado para la sección A-A' se realizó en condiciones estáticas y pseudo estáticas mediante el criterio de Mohr-Coulomb.

a. Análisis de Estabilidad Estática

En este análisis de estabilidad del talud no se toma en cuenta el factor sísmico. Los resultados de los análisis se presentan en términos de factor de seguridad utilizando la metodología del equilibrio límite, donde se asume que los parámetros de resistencia son independientes al comportamiento del esfuerzo - deformación, por lo tanto, no se tiene información del valor de los desplazamientos.

b. Análisis de Estabilidad Pseudo Estático

Para el análisis pseudo estático se tomó en cuenta la aceleración del suelo (PGA), como la fuerza sísmica máxima que experimenta una estructura durante un sismo. Para conocer el nivel de aceleración o sacudimiento del suelo 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 (figura 26).

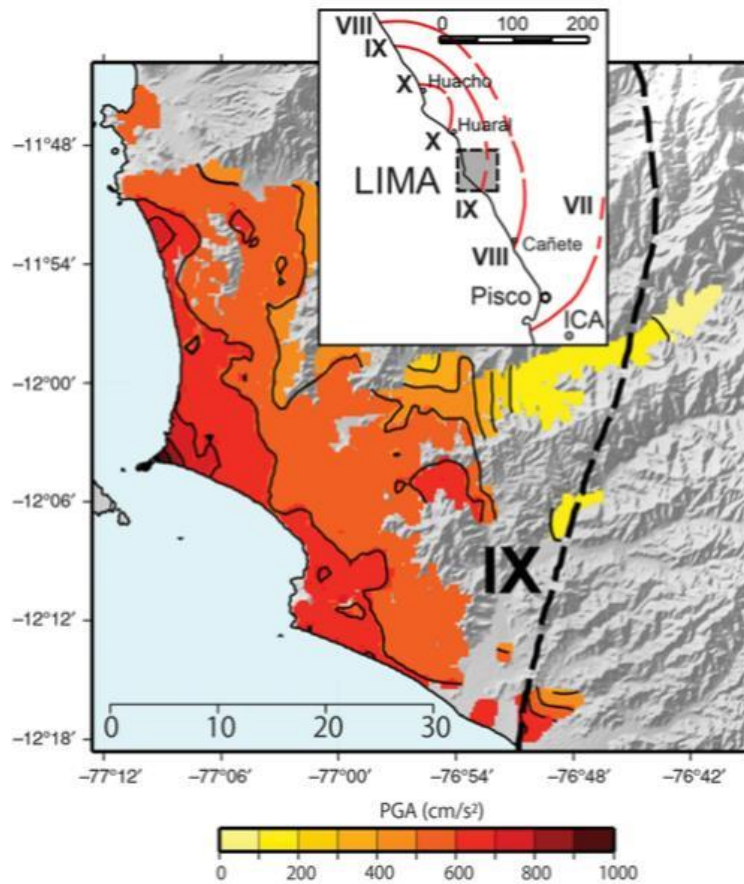


Figura 26. Aceleración máxima para Lima Metropolitana y Callao, tomando en cuenta el acoplamiento sísmico existente en la costa central de Perú (Pulido et al., 2015).

Además, se consideró la zonificación de suelo, tomando como referencia mapas de zonificación sísmica-geotécnica elaborado por el CISMID e IGP, en el cual se establecen los tipos de suelos de acuerdo a la Norma E.030 (tabla 2 y figura 27).

Tabla 2. Parámetros evaluados para la determinación del peligro por sismo

PARÁMETROS EVALUADOS PARA EL MAPA DE PELIGRO POR SISMO					
TIPO DE SUELO	ZONA	AMPLIF. (S)	ACELERAC.	ACEL. MAX.	PERIODO
Suelo I	ZONA 4	0.80	Pulido et al. (2015)	0.16	0.3
Suelo II		1.00		0.50	0.4
Suelo III		1.05		0.63	0.6
Suelo IV		1.10		0.88	1.0

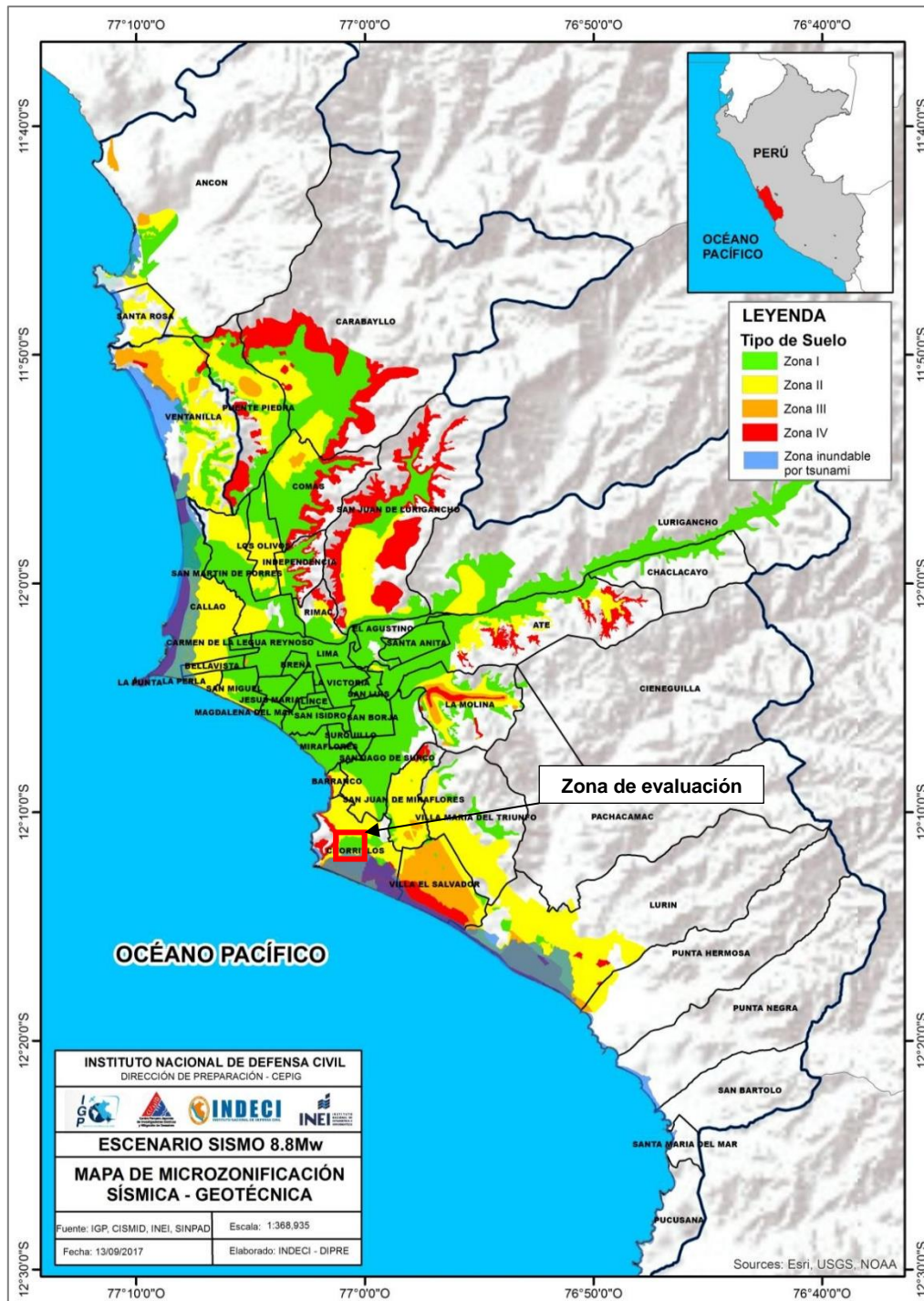


Figura 27. Mapa de microzonificación sísmica-geotécnica para Lima metropolitana y Callao (CISMID, 2015 e IGP, 2010), según la Norma E.030.

Según el cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, 1984), se sugiere el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño (PGA).

Mediante métodos pseudo-estáticos para el diseño de los muros y taludes, se sugiere usar un valor de coeficiente sísmico de 1/2 (PGA). El cálculo de la aceleración pico es **0.88 g**. Aplicando el análisis pseudo estático se tiene:

$$1/2(0.88) = 0.44 \text{ g}$$

6.2.4. Resultados

En base a su ubicación, extensión y características geológicas observadas en campo, se ha planteado los perfiles A-A', B-B' y C-C (figura 28), de los cuales, se describirá y mostrará los resultados obtenidos del perfil más crítico (A-A').

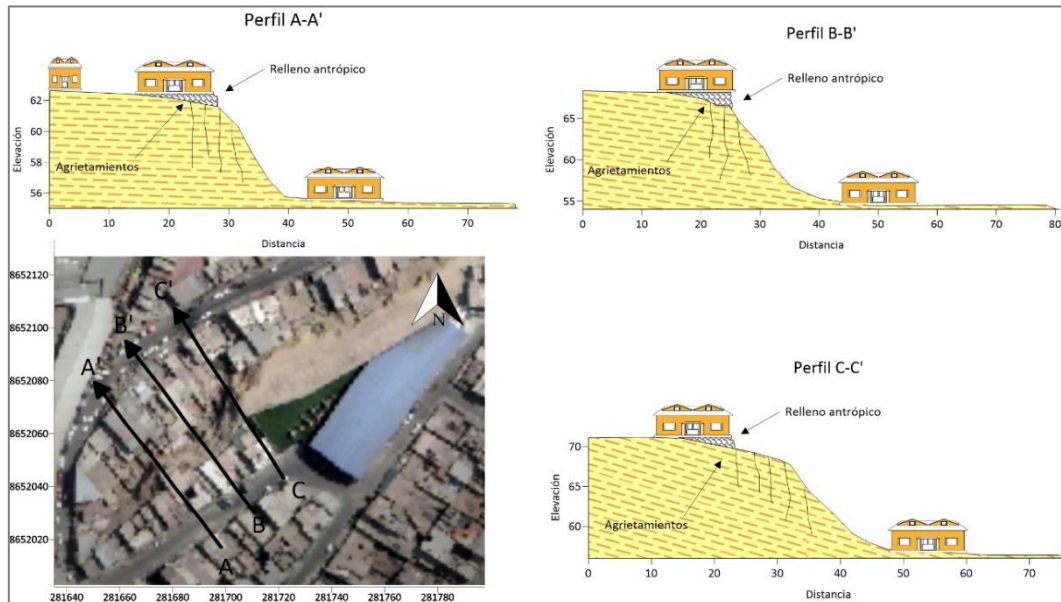


Figura 28. Secciones esquemáticas planteadas para el análisis de estabilidad del talud.

Sección A-A'

Esta sección se ubica en la parte central del talud afectado, entre la calle José Olaya y la Av. Los Próceres, el cálculo en condiciones estáticas muestra un factor de seguridad (f_s) de 0.672 generado a través de una superficie de falla mínima global para el método seleccionado, el f_s obtenido es considerado como crítico (figura 29).

En el análisis pseudo estático con una aceleración de 0.44g, el factor de seguridad disminuye a 0.281, se observa la formación de planos de falla, este talud presenta un f_s crítico analizado a través de una superficie de falla mínima global (figura 30).

En el cuadro 12 se muestra el resumen del factor de seguridad estático y pseudo estático.

Cuadro 12. Valores de factor de seguridad en las secciones evaluadas.

Sección	Estático	Seudo estático
A-A'	0.672	0.281

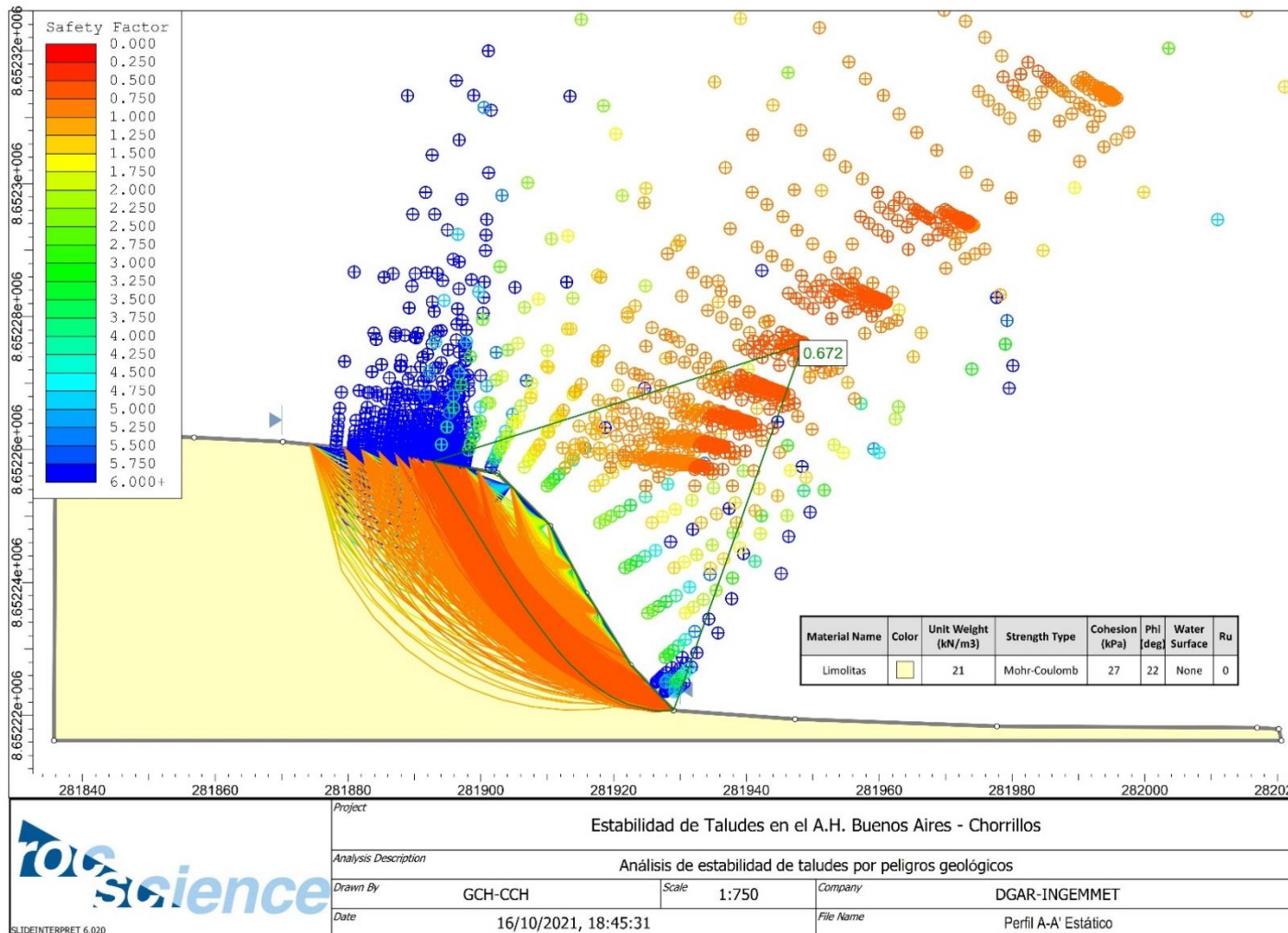


Figura 29. Análisis de factor de seguridad estático de la sección A-A'.

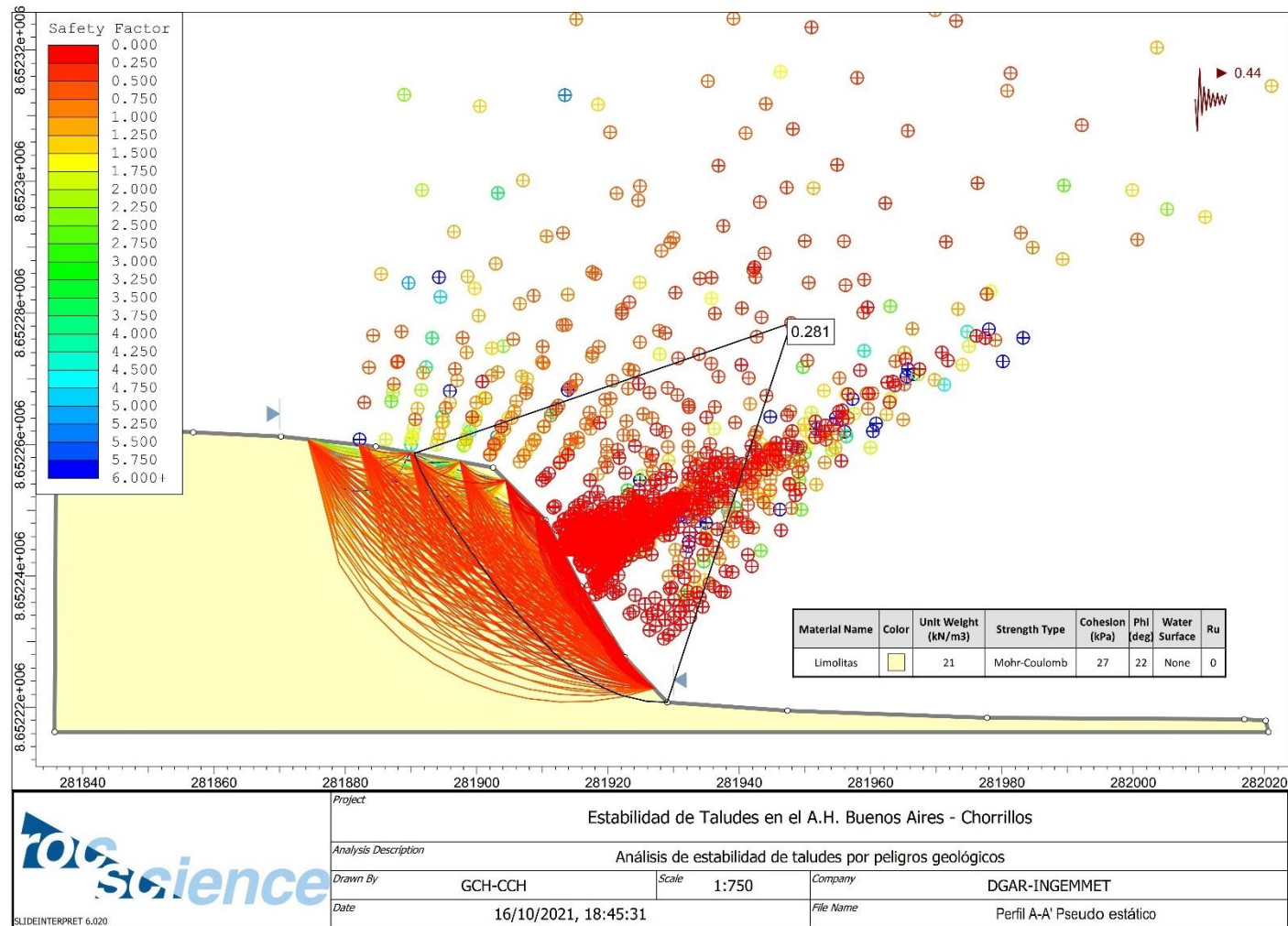


Figura 30. Análisis de factor de seguridad pseudo estático de la sección A-A'.

7. CONCLUSIONES

1. El área evaluada se encuentra sobre rocas sedimentarias, correspondiente a la Formación Marcavilca, conformada por areniscas grises intercaladas con limolitas arenosas muy fracturadas y altamente meteorizadas, originando coberturas arcillosas. Presentan estratificación y espesores de 2 a 10 cm. Parte de las viviendas del A.H. se localizan sobre depósitos inconsolidados, compuestos por capas de grava gruesa y fina, bien clasificada, con clastos redondeados a subredondeados e intercalaciones de capas de arena, limo y arena arcillosa.
2. Desde el punto de vista geomorfológico, el A.H. Buenos Aires de Villa se asienta sobre lomadas modeladas en rocas sedimentarias, cuyas laderas poseen pendientes moderadas que varían de 5° a 15°, sin embargo, la intervención antrópica ha modificado las laderas con la finalidad de construir viviendas originando taludes con pendientes subverticales que varían de 45° a 65°. En los alrededores se observan planicies aluviales con relieves levemente ondulados, distribuidos de este a oeste.
3. Se determinaron dos tipos de movimientos en masa, el primero corresponde a vuelco originado en areniscas y limolitas muy fracturadas y altamente meteorizadas del talud superior, donde se asientan las viviendas lotizadas como 22-B, 22-C, 22-D, 23, 23-A y 23-B. El segundo evento es de tipo deslizamiento traslacional (conjunto de rupturas planares y cuñas en un medio muy fracturado), ocurrió en la parte media del talud condicionado por la estratificación tabular, el buzamiento a favor de la pendiente de las limolitas, las discontinuidades y el fracturamiento que formaron planos de falla. El material deslizado se emplazó ladera abajo, destruyendo las viviendas ubicadas en los lotes 14, 15, 16 y 17 de la Av. Los próceres.
4. En la parte superior del talud, el terreno se encuentra húmedo debido a las conexiones de agua en mal estado, mientras que, en la parte baja del mismo, se observó ligera humedad. Esta humedad incrementa la inestabilidad. Asimismo, la sobrecarga inducida por la construcción de viviendas de hasta 3 niveles en la calle José Olaya provocaron fallas por volteo, con actividad retrogresiva, este último se manifiesta a través de grietas en pisos, paredes, columnas y vigas en el interior de las viviendas lotizadas como 22-B, 22-C, 22-D y 23.
5. Para estimar la calidad de roca, se realizaron 04 estaciones geomecánicas en el talud inferior y zona media. Los valores obtenidos fluctúan en base a la clasificación SMR, muestran valores de 21 a 24, considerados como rocas de mala calidad e inestables, estos requieren trabajos de corrección y protección.
6. Según el análisis cinemático con el software Dips, en las estaciones 01 y 02 se tiene un 20% de falla de tipo planar y 22% de falla tipo cuña. Si bien, los porcentajes son bajos, estos pueden originar nuevos procesos con efectos importantes. Para las estaciones geomecánicas 03 y 04, se tiene volcamientos tipo flexural, con un 40% de probabilidad, habiéndose observados este tipo de procesos locales en la zona media y alta del talud; mientras que, el vuelco tipo directo y oblicuo alcanzan 27% y 19%, llegando a un total de 46%, estos procesos se manifestaron en la parte alta del talud.

El análisis confirma el comportamiento del movimiento observado en campo, determinando un deslizamiento de tipo traslacional que se mueve a través de pequeñas fallas tipo planar, cuñas y procesos de volcamientos en la parte media y alta del talud.

7. En el análisis de estabilidad de taludes realizado en la sección A-A', zona más crítica, utilizando el programa de cómputo geotécnico, Rockscience - Slide, se calculó un factor de seguridad estático y pseudoestático, tomando en cuenta las propiedades del suelo y roca (cohesión y ángulo de fricción), características geométricas del talud y las variables desencadenantes del deslizamiento. Los resultados obtenidos muestran valores inferiores a 1, considerados inestables y con probabilidad alta de generarse nuevos deslizamientos en las condiciones actuales y ante la ocurrencia de sismos.

Sección	Estático	Seudo estático
A-A'	0.672	0.281

8. Tomando en cuenta las condiciones geológicas y geomorfológicas actuales, se determina que las viviendas ubicadas entre la calle José Olaya y la Av. Los Próceres son consideradas como **zona crítica y de Peligro Muy Alto** a movimientos en masa de tipo vuelco y deslizamiento; que podrían activarse ante la ocurrencia de sismos y si continúan con las actividades antrópicas que desestabilizan el talud: escape de agua (potable y desagües); así como el corte del talud y construcción de viviendas al borde o al pie del mismo.

8. RECOMENDACIONES

- a) Reubicar a las viviendas ubicadas en los lotes 21-A, 22-B, 22-C, 22-D, 23, 23-A y 23-B de la calle José Olaya. Además, las viviendas con código de lote 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 ubicadas en la avenida Los Próceres, deben conservar una distancia de 10 a 12 m de distancia del talud, teniendo como referencia el anexo 3.
- b) Realizar la adecuada clausura de conexiones de agua y desagüe de las viviendas ubicadas en la calle José Olaya.
- c) Restringir y/o prohibir la construcción de viviendas con más de 3 niveles en el área de influencia, evitando la modificación de taludes.
- d) Realizar limpieza y evacuación de los materiales deslizados, así como el desquinche de los bloques de arenisca sueltos en el talud.
- e) Realizar el banqueteo del área asignada como intangible (ver anexo 3) luego de la reubicación de las viviendas ubicadas en la calle José Olaya, este trabajo debe estar apoyado en estudios de ingeniería definitiva a través de estudios geotécnicos.
- f) Construir muros de contención en el pie del talud afectado por vuelco y deslizamiento, para la protección de las viviendas ubicadas en la Av. Los Próceres; además, instalar mallas con pernos de anclaje para evitar la ocurrencia de nuevos deslizamientos.
- g) A las autoridades locales se recomienda, realizar trabajos de sensibilización con los pobladores, en temas de peligros geológicos y gestión del riesgo de desastres, con el fin de que estén preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia de nuevos eventos que pueden afectar su seguridad física.



Ing. Guisela Choquenaira Garate



.....
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

9. BIBLIOGRAFÍA

- BIENIAWSKI, Z.T. (1989). "Engineering Rock Mass Classifications". Wiley-Interscience Publication.
- Cervera, M. y Blanco, E. (2001). Mecánica de estructuras, Libro 1, Resistencia de materiales. Edicions UPC, Barcelona, España.
- Corominas Dulcet, J., y García Yagué A., 1997, Terminología de los movimientos de laderas, en Memorias, IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada, España, p. 1051–1072.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247.
- De Freitas, M.H., y Watters, R.J., 1973, Some field examples of toppling failure: Geotechnique, v. 23, p. 495–514.
- Goodman, R.E., y Bray, J.W. (1976). Toppling of rock slopes, en Memorias, Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes, Boulder: Boulder, Colorado, p. 201–234.
- Gómez, H. & Pari, W. (2020) - Peligro geológico en la región Puno. Ingemmet, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 77, 236 p., 9 mapas.
- Hynes-Griffin, M.E., y A. G. Franklin, A. G. (1981) "Rationalizing the Seismic Coefficient Method," Miscellaneous Paper GL-84-13, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, 21 p.
- Hoek, E., y Bray, J.W., 1981, Rock slopes engineering: Institution of Mining and Metallurgy, 358 p.
- ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed E.T. Brown. Pergamon Press.
- León, W y De La Cruz, O. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26j), Lurin (25j) y (Lima 26i). Ingemmet, 18p.
- Manual para Terraplenes de Carretera en Japón (2004) - Instituto de Investigación de Trabajos Públicos Japón.
- 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.

ANEXO 2: GLOSARIO

En el presente Glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

AGRIETAMIENTO (cracking) Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

CORONA (crown) Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DESLIZAMIENTO (slide) Es un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir en varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de deslizamientos compuestos (Hutchinson, 1988).

Deslizamiento traslacional (Translational slide): Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el

desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek y Bray, 1981).

En los casos en que la traslación se realiza a través de un sólo plano se denomina deslizamiento planar (Hoek y Bray, 1981) (figura 31). El deslizamiento en cuña (wedge slide), es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre si e intersectan la cara de la ladera o talud, por lo que el cuerpo se desplaza bien siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambos planos, o el buzamiento de uno de ellos. La velocidad de los movimientos traslacionales puede variar desde rápida a extremadamente rápida.

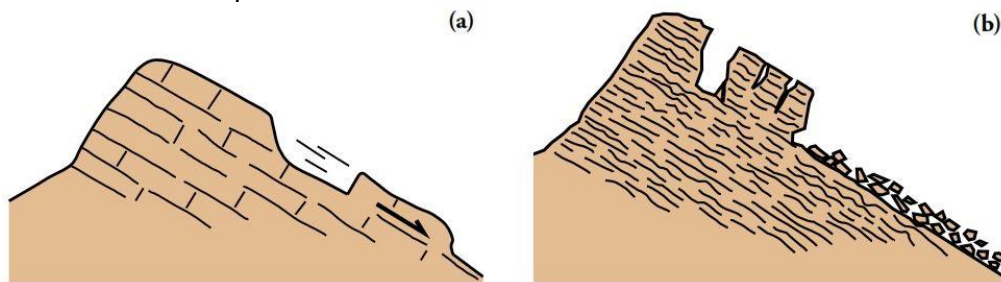


Figura 31 (a) y (b) Esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento según Corominas Dulcet y García Yagué (1997).

DIPS es un programa diseñado para realizar análisis y visualizar información estructural (datos geológicos de orientación) de igual modo que si usamos una red estereográfica o red estereoscópica.

Permite al usuario analizar y visualizar los datos estructurales siguiendo las mismas técnicas utilizadas en estereoscopios manuales. Además, tiene muchas características computacionales, como el contorno estadístico de la agrupación de orientación, orientación media y cálculo de la confianza, la variabilidad de conglomerados, análisis cinemático, y el análisis de atributos de entidad cualitativa y cuantitativa.

Está diseñado para el análisis de las características relacionadas con el análisis de ingeniería de estructuras de roca, Sin embargo, el formato libre del DIPS-data permite el análisis de alguna data de orientaciones-base.

ESCARPE (scarp) sin.: escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

FRACTURA (crack) Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

METEORIZACIÓN (weathering) 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 (mass movement, landslide) sin.: Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

VOLCAMIENTO Se denomina así a un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978). El volcamiento puede ser en bloque, flexional (o flexural) y flexional del macizo rocoso como se describe a continuación.

Goodman y Bray (1976) diferencian el vuelco de bloques del vuelco flexural. El primero involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, semejante al vuelco de libros en un estante (figura 32). El volcamiento de bloques es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas. El vuelco flexural, en cambio, involucra roca más frágil y densamente diaclasada; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales.

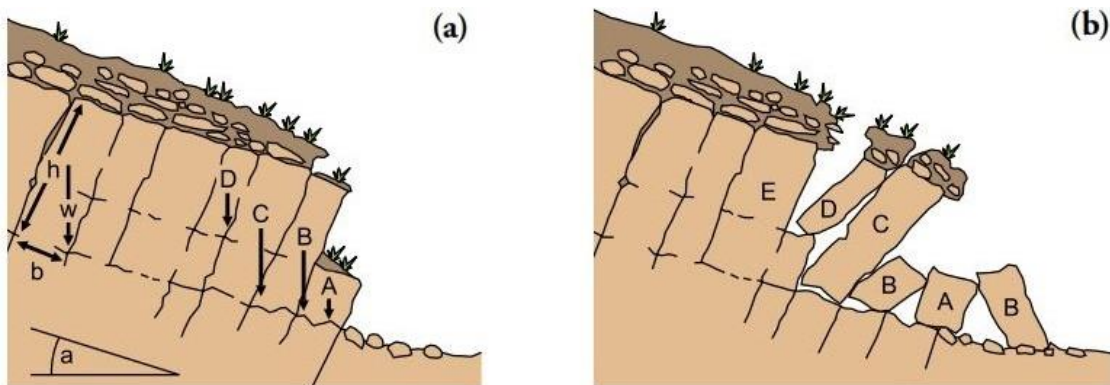


Figura 32. Esquema del vuelco en bloque (De Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1976).

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A continuación, se describen algunas propuestas generales para mitigar las zonas afectadas, estas medidas estructurales tienen el objetivo de minimizar los daños frente a la ocurrencia de eventos geodinámicos y deberán estar sustentadas en estudios de ingeniería definitiva tales como la caracterización geológica, geofísica y geotécnica de las estructuras a cimentar.

Medidas estructurales

a. Banquetas

En los taludes de corte, normalmente se diseñan banquetas de 1 a 2 m de ancho cada 5 a 10 m de altura, dependiendo de las características litológicas.

Una banqueta más ancha se recomienda cuando el talud es largo y grande o donde se instalarán vallas de protección contra caída de rocas.

En el caso de la zona evaluada, el talud está conformado por rocas muy frágiles y muy fracturadas y altamente meteorizadas, se deben considerar estos afloramientos como rocas blandas (figura 33). La proyección de la banqueta debe estar apoyada en estudios de ingeniería.

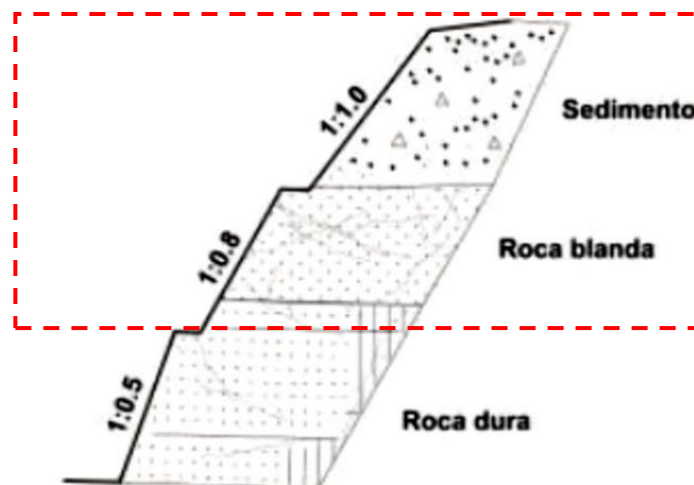


Figura 33. Condiciones de terreno y forma de taludes (JICA, 2004).

Medida preventiva

a. Reubicación total o parcial

Esta medida está sustentada en las condiciones geológicas y geomecánicas evaluadas durante los trabajos de campo in situ y los cálculos de factores de seguridad. Con la finalidad de salvaguardar la seguridad física de las viviendas y de las familias que ocupan las viviendas ubicadas en la calle José Olaya y la avenida Los Procesos.

Calle José Olaya

Los daños observados en el interior de las viviendas 21-A, 22B, 22-C, 22-D, 23, 23-A y 23-B, como agrietamientos en pisos, paredes, columna y viga, indican el avance retrogresivo con la

formación de nuevos planos de falla, por tanto, se debe de considerar la reubicación total o parcial de las viviendas, tomando en cuenta la figura 34.

Avenida Los Proceres

Los daños en las viviendas ubicadas en la parte inferior del talud, fueron causados por los materiales desplazados cuesta abajo y los bloques provenientes del proceso de volcamiento.

En este caso, debe considerarse un área de amortiguamiento que mantenga una distancia adecuada entre el pie del talud y las viviendas.

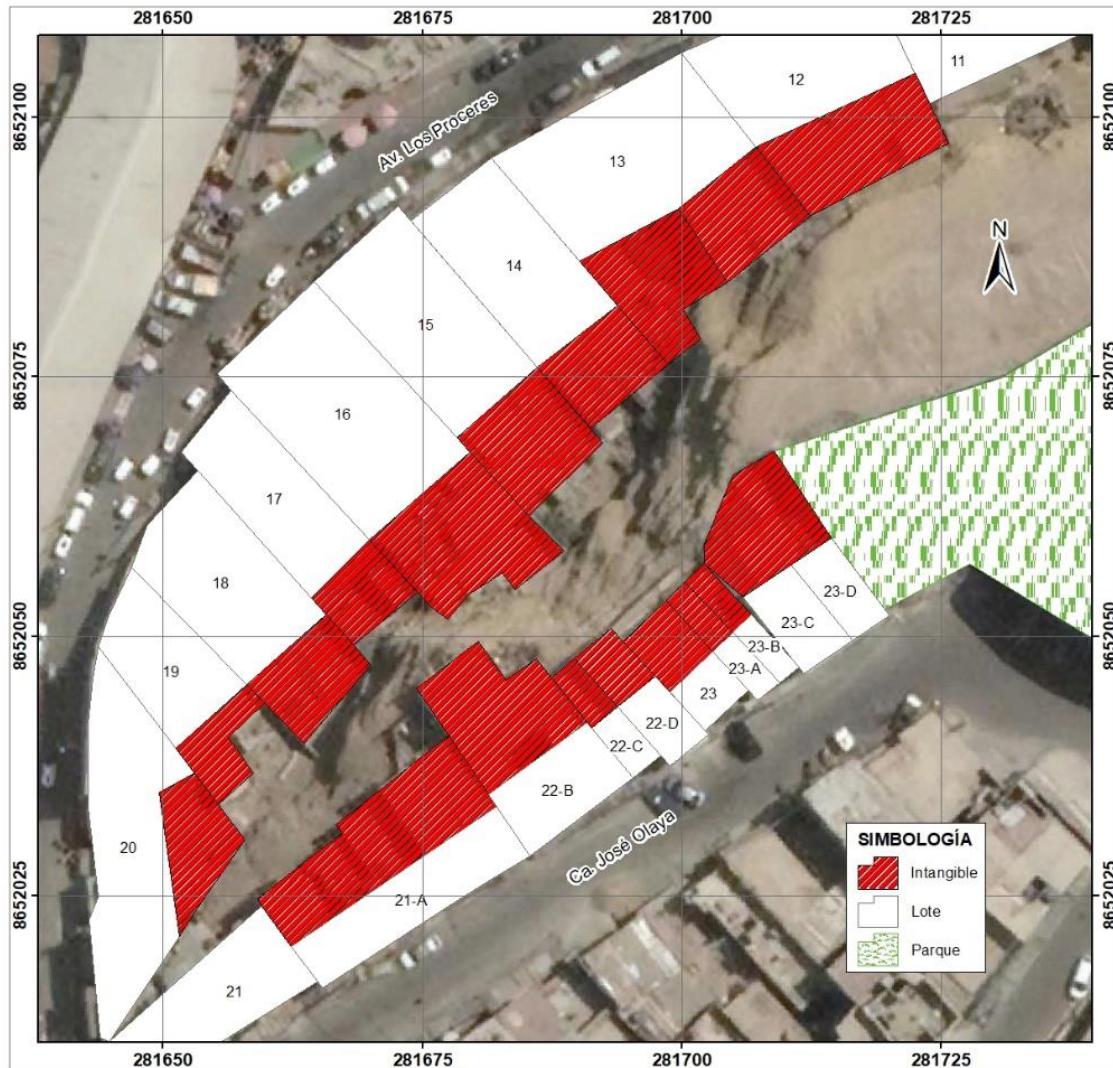


Figura 34. Zonas intangibles y viviendas con límites a ser considerados.