

ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA MUNICIPIO DE LA CAPILLA, BOYACÁ



JOSÉ OLMOS OLMOS
ING. CIVIL – GEOTÉCNISTA

DICIEMBRE DE 2013

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. ALCANCE.....	3
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	4
4.1. Perfil Estratigráfico.....	4
4.2. Caracterización Mecánica del Depósito (Arcilla).....	6
5. Caracterización Mecánica de la Roca (Arcillolita)	7
6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	8
6.1. Evaluación de la Amenaza.....	8
6.2. Evaluación de Vulnerabilidad	9
IVF= $[1-(1-ID)^{(1/(1-\alpha D))}]^{(1-\alpha D)}$	13
7. PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	14
Plan de Prevención.....	14
Plan de Mitigación.....	14
Plan de Monitoreo	14
8. CONCLUSIONES	15
9. ADVERTENCIA.....	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Registro gráfico de los ensayos de laboratorio.	5
Figura 5. Salida gráfica del software RocLab 1.0 para la caracterización mecánica de la roca.....	7
Figura 7. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil A.....	8
Figura 12. Esquema de deslizamiento.....	11

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros Adoptados para los Análisis.....	6
Tabla 4. Criterios de resistencia de la estructura.....	10
Tabla 5. Clasificación de la tipología de la estructura.....	10
Tabla 6. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio.....	11
Tabla 7. Categorías de presión lateral utilizadas en el estudio.....	12
Tabla 8. Solicitaciones para vías.....	12
Tabla 9. Matriz de daño utilizada en el estudio IDp.....	12
Tabla 10. Valores del coeficiente de importancia.....	13
Tabla 11. Clasificación de la Vulnerabilidad.....	13
Tabla 12. Evaluación de la Vulnerabilidad.....	14

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realiza con el objetivo de determinar la amenaza y vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa en un sector del municipio de La Capilla, Boyacá. De igual manera determinar el plan de medidas de mitigación y prevención, complementadas con la formulación de planes de seguimiento y monitoreo, los cuales deberán ser ejecutados por la entidad responsable de carácter obligatorio.

2. ALCANCE

El alcance del presente estudio es determinar la amenaza actual por fenómenos de remoción en masa y diseñar un plan de mitigación y monitoreo para garantizar la estabilidad local del área de estudio. Las recomendaciones contenidas en éste estudio se basan en los datos suministrados por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC y CORPOCHIVOR.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el área de estudio se presentan varios deslizamientos que afectaron vías locales. La situación descrita puede observarse en la siguiente fotografía:

Fotografía 1. Zona de estudio.



4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Para la caracterización de materiales se hizo uso de registros de perforación y ensayos de laboratorio, de clasificación y resistencia, de 2 sondeos realizados. Esta información fue suministrada por la UPTC.

4.1. Perfil Estratigráfico

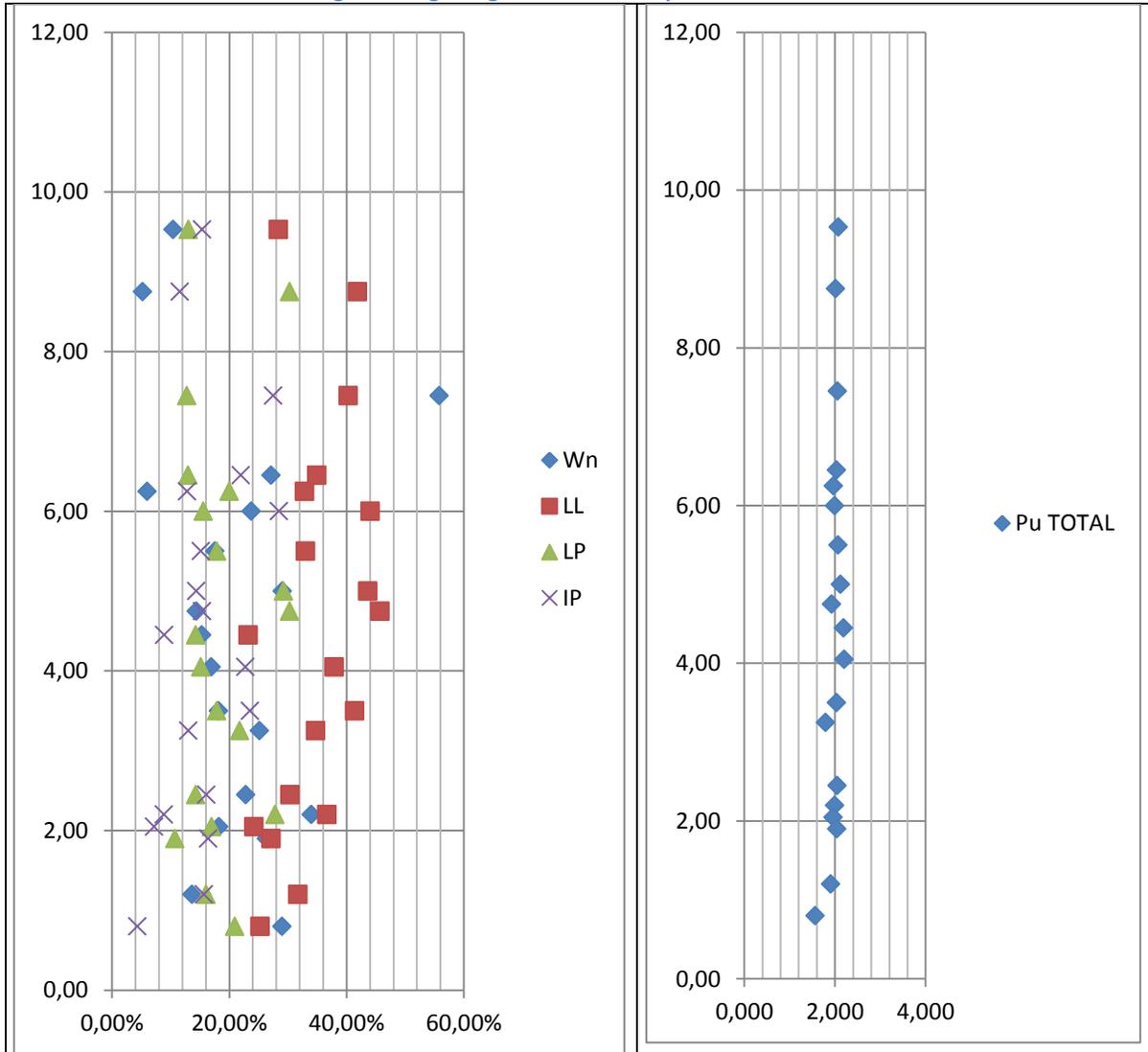
Profundidad 0.0 –8.0 m

Arcilla. Arcilla de color café claro de plasticidad media a alta. Presentó N de SPT entre 16 y 24 golpes.

Profundidad 8.0 m – en adelante

Arenisca. Roca arenisca con intercalaciones de lodolitas. Presenta una resistencia a la carga puntual de 16.57 MPa en promedio.

Figura 1. Registro gráfico de los ensayos de laboratorio.



4.2. Caracterización Mecánica del Depósito (Arcilla)

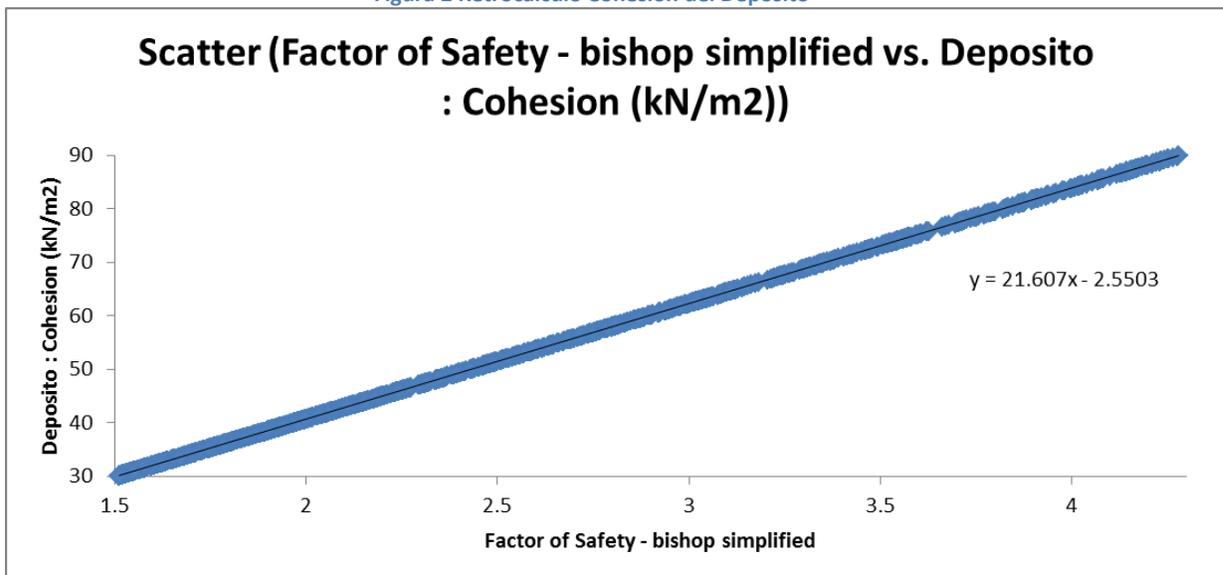
Para la caracterización de este material se usó el promedio de los ensayos de corte directo realizados en muestras de este material. A continuación en la tabla siguiente se muestran los ensayos y su promedio.

Tabla 1 Parámetros Adoptados para los Análisis

Muestra	C (Kg/cm ²)	Φ (°)
S1 - M4	0.6205	7.0686
S1 - M6	0.9505	26.19
S2 - M3	2.605	34.9920
S2 - M5	1.4195	24.3229
S3 - M2	0.7311	31.7989
S3 - M5	1.2195	29.2488
PROMEDIO	1.2576	25.6047

Adicionalmente se realizó un retro cálculo para la cohesión, para un FS=1.0, teniendo en cuenta que el deposito se encuentra fallado, para lo cual se obtuvo una cohesión de 0.19 Kg/cm².

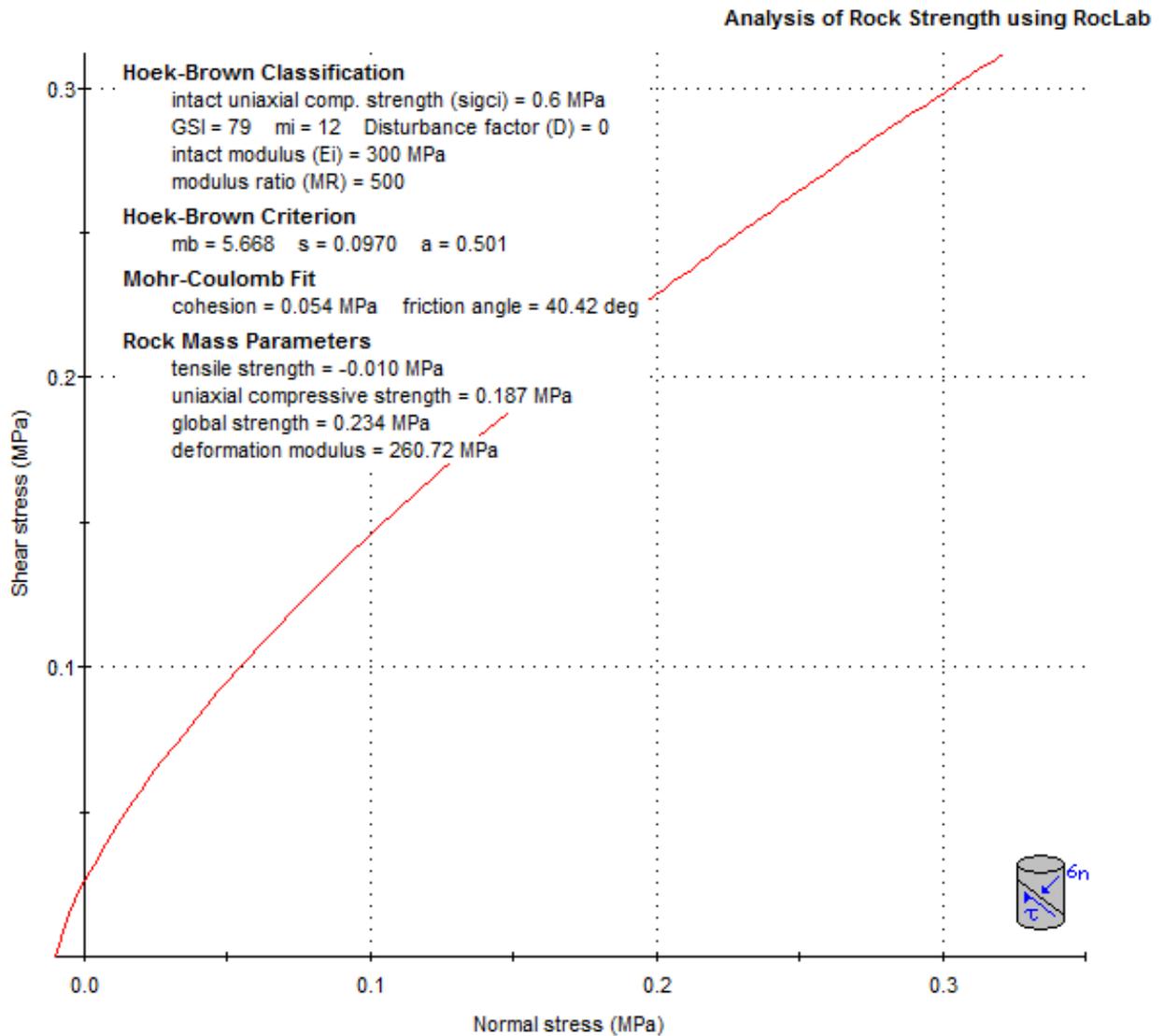
Figura 2 Retrocalculo Cohesión del Depósito



5. Caracterización Mecánica de la Roca (Arcillolita)

Para la caracterización geomecánica de la roca se utilizó el promedio de los resultados de resistencia obtenidos en los ensayos de carga puntual y la clasificación de GSI (Geological Strength Index) cuyo análisis fue realizado mediante el software RocLab 1.0 de la casa Rocscience.

Figura 3. Salida gráfica del software RocLab 1.0 para la caracterización mecánica de la roca.

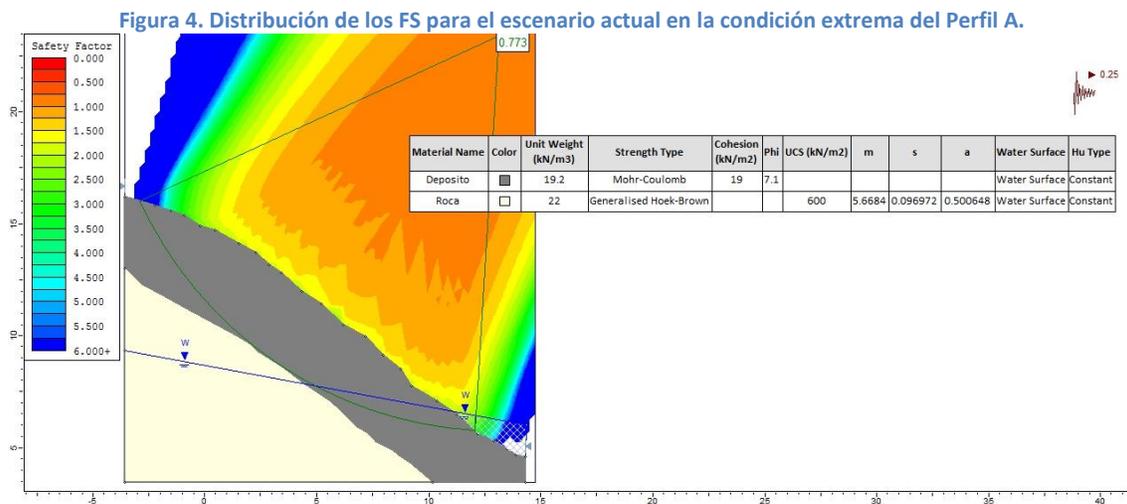


6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se efectuaron análisis de estabilidad del terreno mediante el software Slide 6.0, en cuatro secciones de análisis denominadas Perfil A, Perfil B, Perfil C y Perfil D (ver localización en plano anexo) trazadas sobre las zonas de pendientes críticas.

Estos modelos fueron analizados bajo condiciones extremas, esto es en condición de saturación y de sismo. El sismo fue modelado introduciendo el valor de la aceleración de diseño establecido para Turmequé por la NSR-10, igual a 0.2g, En los modelos se analizó el mecanismo de falla rotacional y traslacional.

Los resultados de los análisis para el escenario actual en condición extrema se presentan a continuación:



6.1. Evaluación de la Amenaza

Definida la amenaza como la probabilidad que ocurra un fenómeno de remoción en masa de una magnitud, intensidad y frecuencia sobre un territorio determinado que pueda causar daños importantes o desastrosos. La metodología empleada está enmarcada dentro del tipo de información disponible, así como la escala y finalidad de trabajo, en tal sentido el presente estudio se basa en:

- Revisión de la cartografía básica existente (topográfica, geológica, geomorfológica, geotécnica, usos del suelo, cobertura vegetal).
- Selección de la base topográfica para la elaboración y presentación de los planos solicitados.
- Identificación de unidades geológicas superficiales, geomorfología y procesos morfodinámicos activos o potenciales a través de visitas a campo.

- Elaboración de información temática complementaria como cobertura y usos del suelo, precipitaciones, sismicidad, factor antrópico (cortes, rellenos, manejo de aguas de escorrentía y superficiales).
- Elaboración del modelo geológico-geotécnico (determinación de los aspectos intrínsecos, factores contribuyentes y detonantes).
- Determinación de las posibles zonas homogéneas, mecanismos de falla, caracterización del drenaje y su relación con los fenómenos de inestabilidad potenciales y activos.

Para la categorización de amenaza por fenómenos de remoción en masa se utilizó el siguiente criterio:

AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIÓN EXTREMA
BAJA	$FS > 1.30$
MEDIA	$1.3 > FS > 1.0$
ALTA	$FS < 1.0$

De acuerdo a los análisis de estabilidad, antes mostrados, se puede concluir que el área de estudio presenta zonas de amenaza alta en la zona baja del deslizamiento y zonas de amenaza media y baja.

6.2. Evaluación de Vulnerabilidad

Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos, se empleó el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone¹ y modificada por Soler et al². En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (edificaciones y demás construcciones existentes).

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad y magnitud del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se obtendrá una tipificación de las edificaciones teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura.

¹ Leone, F. (1999) CONCEPT DE VULNERABILITE APPLIQUE A L'EVALUATION DES RISQUES GENERES PAR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERREIN. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

² Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ, COLOMBIA. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

Tabla 2. Criterios de resistencia de la estructura

TIPO DE SOLICITACIÓN	MODOS DE DAÑO	CRITERIO DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA
Desplazamientos laterales	Transporte. Deformación. Asentamientos. Ruptura.	Profundidad de la cimentación. Arriostramiento de la estructura.
Empujes laterales	Deformación. Ruptura.	Altura de la estructura. Profundidad de la cimentación. Refuerzo.
Impactos	Deformación. Ruptura.	Refuerzo.

Tabla 3. Clasificación de la tipología de la estructura

TIPO ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN
B1	Edificación en material de reciclaje
B2 Mampostería	Edificación en mampostería sin estructura.
B2 Prefabricados	Edificación prefabricada.
B3	Edificación de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
B4	Edificación de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
R1	Vía.

El tipo de solicitaciones depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno³, tal como se presenta a continuación.

³ Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

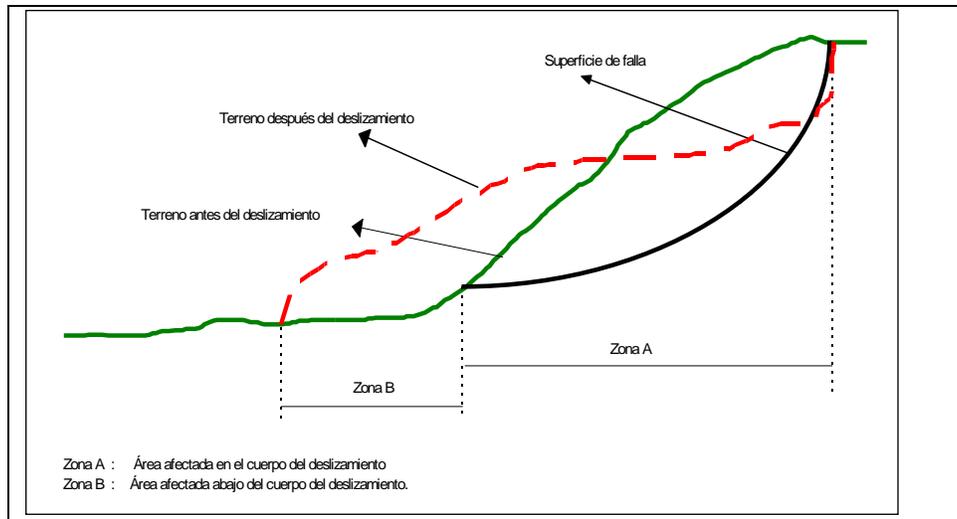


Figura 5. Esquema de deslizamiento

Como se puede observar en la figura anterior, se pueden distinguir dos zonas.

En la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Directa, los daños que van a sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utilizó la escala propuesta por Cruden y Varnes⁴, presentada a continuación:

Tabla 4. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio

DESCRIPCIÓN	CLASE	VELOCIDAD CARACTERÍSTICA milímetros/ segundos
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/sg
Rápido	VM2	Entre 0.5 mm/sg y 50 mm/sg
Moderado	VM3	Entre 0.05 mm/sg y 0.5 mm/sg
Lento	VM4	Entre 0.005 mm/sg y 0.05 mm/sg
Muy lento	VM5	Menor a 0.005 mm/sg

En la Zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Indirecta, los daños de las viviendas se pueden relacionar con los empujes laterales (EL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la edificación, así:

⁴ Cruden, D. y Varnes D. (1991). *Landslides types and processes*. Universidad de Alberta.

Tabla 5. Categorías de presión lateral utilizadas en el estudio

DESCRIPCIÓN	CLASE	CARACTERÍSTICAS
Presión lateral alta	PL1	Mayor a 2/3 de la altura de la vivienda
Presión lateral media	PL2	Entre 1/3 y 2/3 la altura de la vivienda
Presión lateral baja	PL3	Menor a 1/3 de la altura de la vivienda

Tabla 6. Solicitaciones para vías.

DESCRIPCIÓN	CLASE	CARACTERÍSTICAS
Degradación	DH1	Degradación de la vía
Obstrucción Baja	DH2	Obstrucción de la calzada con volumen < 10m ³
Obstrucción Alta	DH3	Obstrucción de la calzada con volumen > 10m ³
Ruptura	DH4	Ruptura de la calzada

Tabla 7. Matriz de daño utilizada en el estudio IDp

SOLICITACIÓN		TIPOLOGIA DE VIVIENDA				VIA
TIPO	RANGO	B1	B2	B3	B4	R1
DESPLAZAMIENTOS VERTICALES (VV velocidad de desplazamiento)	MDU (1/1000)	0.2	0.05	0.05	0.01	
	MDU (1/500)	0.4	0.2	0.1	0.05	
	MDU (1/250)	0.5	0.4	0.2	0.1	
	MDU (1/150)	0.6	0.5	0.3	0.2	
Amplitud de desplazamientos verticales para vías y/o redes de carreteras (DH)	DH (I) Degradación de la vía					0.3
	DH (II) Obstrucción con volumen de 10m ³					0.4
	DH (III) Obstrucción con volumen de 100m ³					0.8
	DH (IV) Ruptura					1.0
EMPUJES LATERALES	PL1 (SF=SE)	1.0	1.0	0.9	0.9	

SOLICITACIÓN		TIPOLOGIA DE VIVIENDA				VIA
	PL2 (SF=2/3SE)	0.8	0.7	0.6	0.4	
	PL3 (SF=1/3SE)	0.6	0.4	0.2	0.9	

MDU: Movimiento Diferencial Unitario o asentamiento diferencial en el contacto de la estructura expuesta.

SE: Superficie expuesta de la construcción, SF: Superficie del frente de la masa deslizada.

La calificación del daño potencial para los elementos expuestos se determinó a partir de los valores indicados en la matriz de daño en función de la altura que podría alcanzar el deslizamiento y la posible velocidad de desplazamiento, así como la degradación que podrían sufrir las redes de vías por FRM.

El Índice de Daño o calificación de daños se cuantifican por medio de la matriz indicada anteriormente, para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas; estos porcentajes de pérdidas según los rangos de valores de cada ID fueran los propuestos por Leone (1996). Finalmente, se realizó el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física, IVF, con la siguiente expresión empírica propuesta por Soler et al (1998) para involucrar las variables del problema mediante la teoría de conjuntos difusos:

$$IVF = [1 - (1 - ID)^{(1/(1-\alpha ID))}]^{(1-\alpha ID)}$$

Donde α es la dependencia o coeficiente de importancia de ID en la valoración del IVF (0 cuando es mínima y 1 cuando es máxima).

Tabla 8. Valores del coeficiente de importancia.

Grado de Amenaza	Valor de α
Baja	0.2
Media	0.4
Alta	0.6

Tabla 9. Clasificación de la Vulnerabilidad.

Categoría de la Vulnerabilidad	Valor del IVF
Alta	IVF \geq 0.65
Media	0.15 \leq IVF $<$ 0.65
Baja	IVF $<$ 0.15

De acuerdo a lo anterior la vulnerabilidad de los elementos identificados se categoriza a continuación:

Tabla 10. Evaluación de la Vulnerabilidad

ELEMENTO	TIPO	SOLICIT.	ID	IVF	AMENAZA	VULNERABILIDAD
RANCHO	B2	VM4	0.5	0.646	MEDIA	MEDIA
VIA A LA CAPILLA	R1	DH1	0.3	0.425	ALTA	MEDIA

La memoria de cálculo de presenta en el Anexo 2.

7. PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Plan de Prevención

- Debido vulnerabilidad estructural del rancho cercano a la quebrada se deberá realizar inspección estructural del mismo.
- Se recomienda realizar un análisis detallado de socavación lateral y de fondo en la quebrada, para determinar la incidencia de este fenómeno en posibles procesos de remoción en masa.

Plan de Mitigación

- Se recomienda la construcción de una estructura de contención en tierra armada en la margen de la quebrada para evitar la socavación lateral de las márgenes que puedan desencadenar fenómenos de remoción en masa.

Plan de Monitoreo

- Se deberán amojonar puntos de la zona del deslizamiento para realizar control semestral de los desplazamientos del mismo.

8. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta los análisis de estabilidad realizados y lo observado en el terreno se puede determinar que, en términos generales, la ladera presenta un nivel de amenaza alto por fenómenos de remoción en masa en la zona del deslizamiento.
- Se deberá implementar un plan de medidas de mitigación, que consiste principalmente en la reconfiguración de taludes con el sistema tierra armada.

9. ADVERTENCIA

El presente estudio fue elaborado bajo la información suministrada por el convenio UPTC-CORPOCHIVOR hasta la fecha de elaboración del mismo, cualquier modificación en la condiciones del terreno deberán ser informadas oportunamente para su procesamiento bajo la luz del presente informe.

Cordialmente,

JOSE OLMOS OLMOS
INGENIERO CIVIL – GEOTÉCNISTA
MAT. 25202-41419 CND