

ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA MUNICIPIO DE PACHAVITA, 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	3
4.1. Perfil Estratigráfico	4
4.2. Caracterización Mecánica del Depósito (Arcilla).....	6
4.3. Caracterización Mecánica de la Roca (Arcillolita)	7
5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	8
5.1. Evaluación de la Amenaza	8
5.2. Evaluación de Vulnerabilidad	9
IVF= $[1-(1-ID)^{(1/(1-\alpha ID))}]^{(1-\alpha ID)}$	13
6. EVALUACIÓN DEL DRENAJE NATURAL.....	14
6.1. Criterios de diseño para obras de drenaje.....	14
Intensidad.....	14
Coeficiente de escorrentía.....	14
Caudal de aporte.....	14
Secciones para las obras de drenaje.....	14
7. PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	17
Plan de Prevención.....	17
Plan de Mitigación.....	17
Plan de Monitoreo	17
8. CONCLUSIONES	18
9. ADVERTENCIA.....	18

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 Pachavita, 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 presenta un proceso de reptación muy lento que modifica los regímenes de agua sub-superficial que afectaron vías locales y una vivienda. 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 – 0.20 m

Capa vegetal. color café oscuro de grano fino, presencia de raíces, plasticidad media, material removido, presencia de gravas de tipo arenoso,(0,20m)

Profundidad 0.0 –.80 m

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

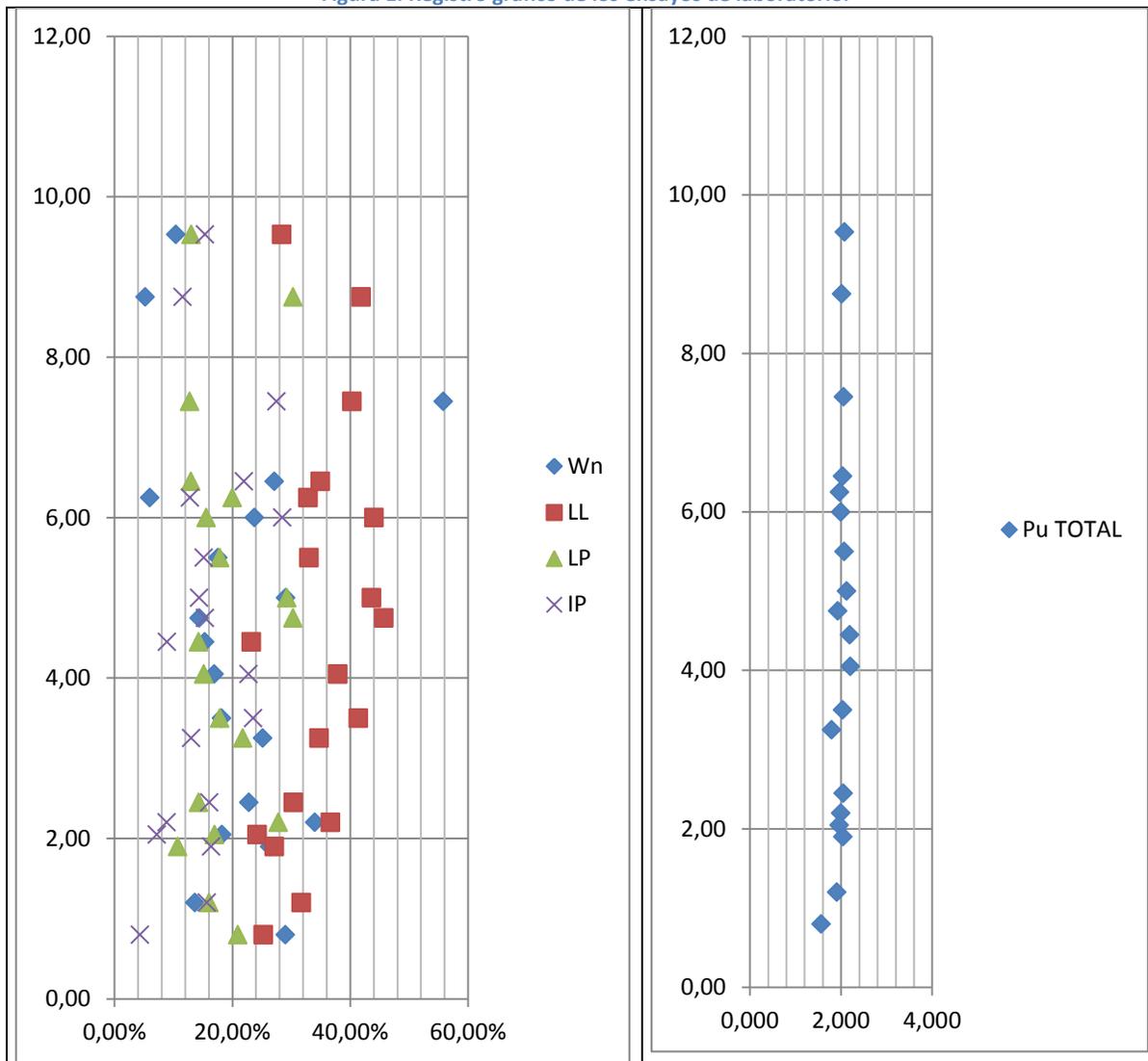
Profundidad 0.80 m – en adelante

Arcilla. material arcilloso color café claro limos inorgánicos; limos arenosos y arcillas ligeramente plásticos, de baja a media plasticidad, presencia de gravas, arcillas limosas, arcillas pobres, resistencia en estado seco media, dilatancia lenta a muy lenta, tenacidad media.

Profundidad 10.40m

Fin de sondeo

Figura 1. Registro gráfico de los ensayos de laboratorio.



4.2. Caracterización Mecánica del Depósito (Arcilla)

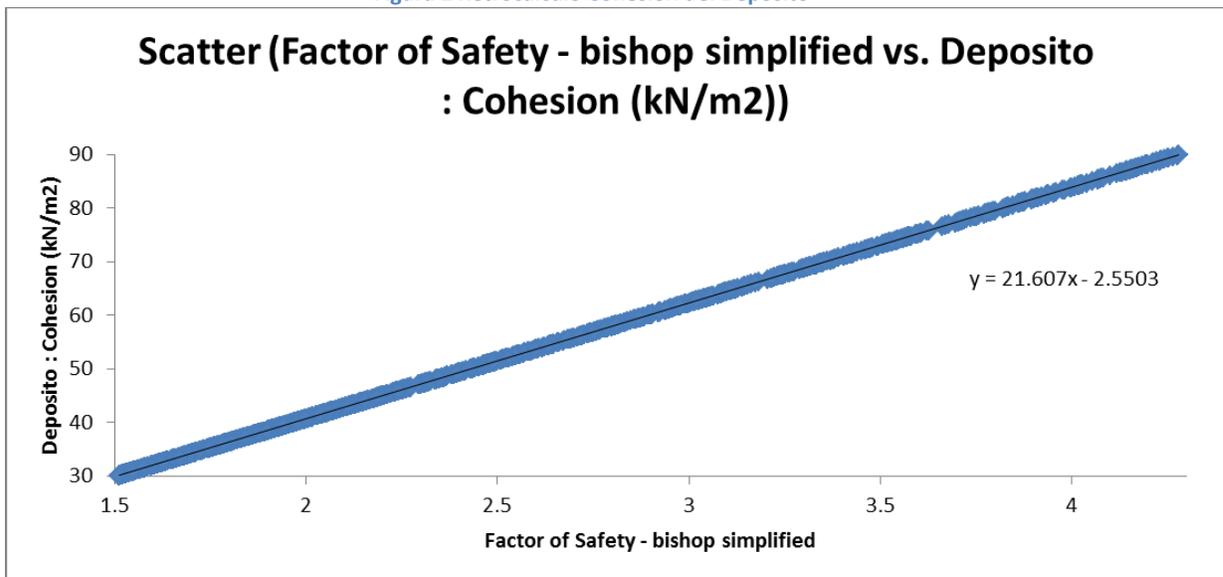
Para la caracterización de este material se usó el promedio de los ensayos de corte directo realizados en muestras de este material. A continuación en la tabla siguiente se muestran los ensayos y su promedio.

Tabla 1 Parámetros Adoptados para los Análisis

Muestra	C (Kg/cm ²)	Φ (°)
S1 - M4	1.18	24.37
S1 - M6	1.56	15.50
PROMEDIO	1.37	19.83

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

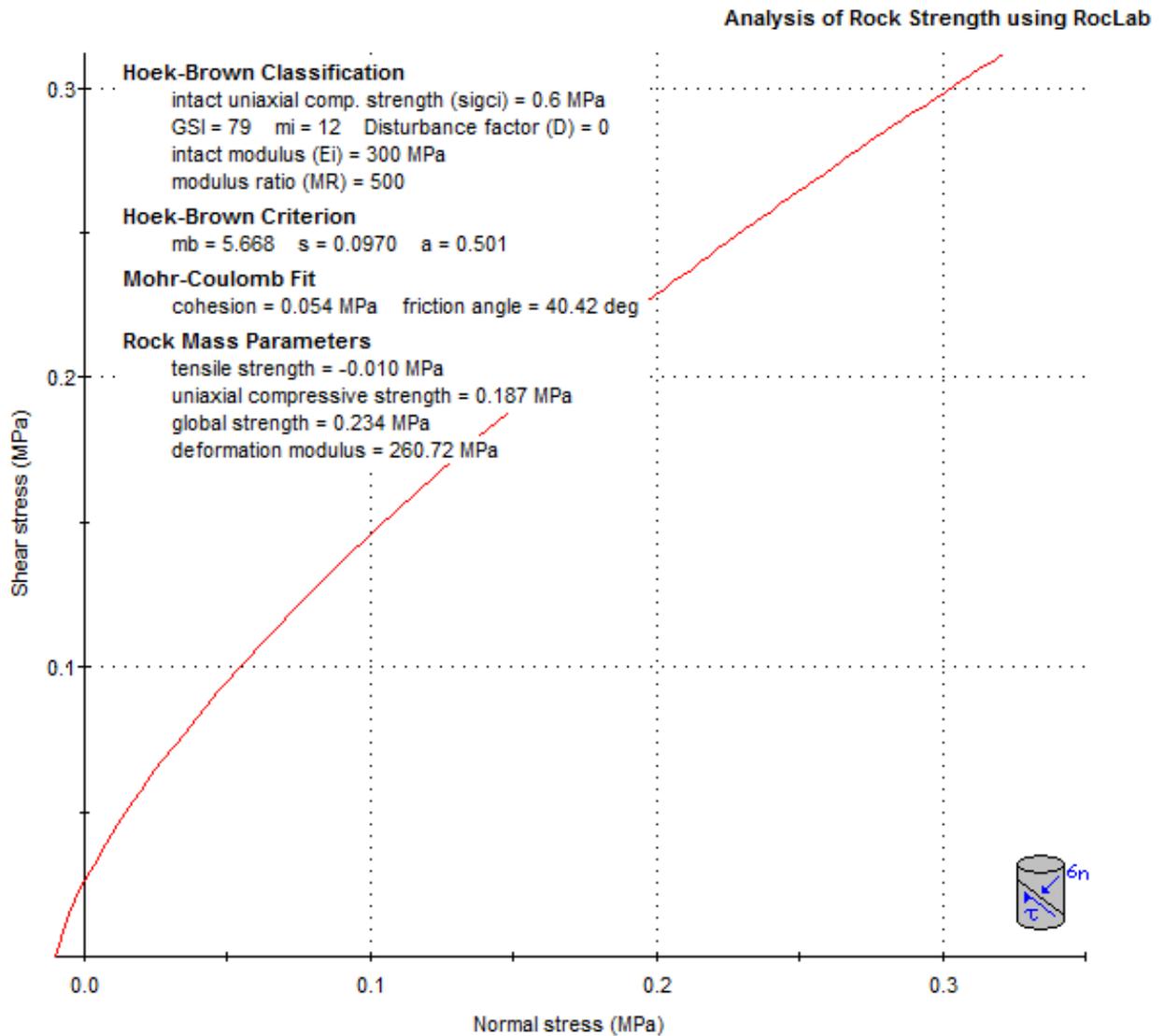
Figura 2 Retrocalculo Cohesión del Depósito



4.3. 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.



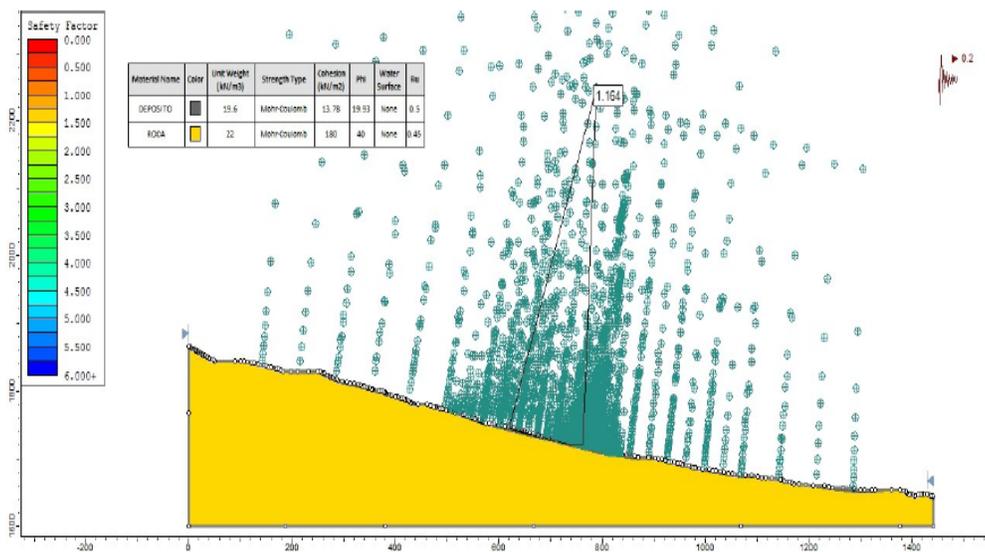
5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

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:

Figura 4. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil A.



5.1. 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 morfo-dinámicos 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.

5.2. 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 sollicitaciones 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

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.

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.

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.

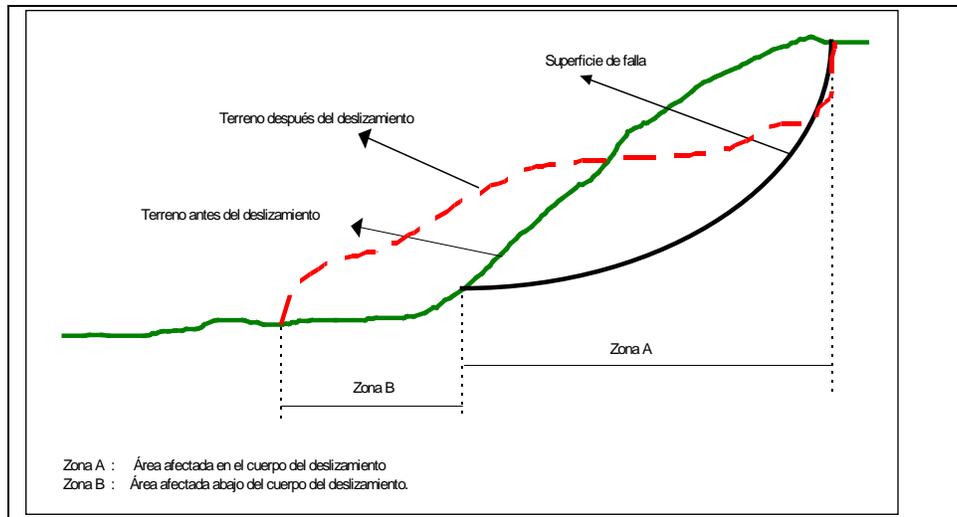


Figura 5. Esquema de deslizamiento

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:

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

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
VIVIENDA	B2	VM4	0.5	0.646	MEDIA	MEDIA
VIA A PACHAVITA	R1	DH1	0.3	0.425	ALTA	MEDIA

La memoria de cálculo de presenta en el Anexo 2.

6. EVALUACIÓN DEL DRENAJE NATURAL

En el sitio de estudio se encontró un considerable flujo superficial y sub-superficial de agua a través de los materiales presentes. Teniendo en cuenta que es de gran importancia el flujo de agua que discurre hacia la parte baja del predio. El área de aporte es de aproximadamente 6.43Ha.

6.1. Criterios de Diseño para Obras de Drenaje

Los parámetros para el diseño de las obras de drenaje requieren establecer el caudal de diseño de las obras que está en función de acuerdo al Método Racional. Este planteamiento o modelo de estimación de caudales máximos generados por escorrentía, se identifica con la siguiente ecuación:

$$Q = k \times i \times A \times c$$

Dónde:

Q = Caudal pico (m³/s);

k= Factor de conversión que en el sistema métrico es igual a 0.0028 (lt/s/m² mm/hr);

i= Intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/hr);

A=Área aferente (ha);

C=Coeficiente de escorrentía, con valor numérico entre 0 y 0.8, que depende de las características fisiográficas del área de drenaje y la cobertura del suelo.

Intensidad

Para efectos del estudio se adoptó una intensidad crítica de 210 mm/h. para un periodo de retorno de 50 años y una duración de 10 minutos.

Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Debido a la alta variabilidad de la intensidad de precipitación, este valor es de difícil determinación, si se emplea la información observada. Por tal motivo se optó por asumir el valor del coeficiente de escorrentía teniendo en cuenta el uso del suelo; bajo las siguientes recomendaciones, que incluyen el relieve del terreno, permeabilidad, vegetación y la capacidad de almacenaje en las microcuencas, tal como se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 11. Parámetros recomendados para la estimación del coeficiente de escorrentía en zonas no urbanizadas.

RELIEVE DEL TERRENO	40	30	20	10
	Muy accidentado	Accidentado	Ondulado	llano
	m>30%	10%<m<30%	5%<m<10%	M<5%
PERMEABILIDAD DEL SUELO	20	15	10	5
	Muy Impermeable	Bastante Impermeable	Bastante Permeable	muy Permeable
	roca	Arcilla	normal	arenas
VEGETACIÓN	20	15	10	5
	ninguna	Poca - del 10% de la superficie	bastante hasta el 50% de la superficie	mucha hasta el 50% de la superficie
CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE AGUA	20	15	10	5
	ninguna	Poca	bastante	mucha
VALOR DE K	75 - 100	50 – 75	30 - 50	25 - 30
VALOR DE C	0.65 - 0.80	0.50 - 0.65	0.35 - 0.50	0.20 - 0.35

De acuerdo a lo anterior se adopta un coeficiente de escorrentía de 0.60.

Caudal de Aporte

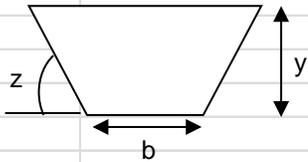
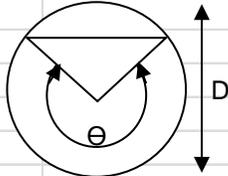
El caudal calculado será:

$$Q = 0.0028 * 210 * 0.60 * 6.43$$

$$Q = 2.26 \text{ m}^3/\text{s}$$

Secciones para las Obras de Drenaje

Para el caudal de aporte calculado se presentan las siguientes secciones de drenaje superficial:

Cuneta Trapezoidal		Tubería	
Material:	Concreto	Material:	Concreto
b=	0.10 m	Θ	230 °
y=	0.56 m	Tubería	16 "
n=	0.012	D	0.41 m
A=	0.36	n=	0.012
P=	3.2	A=	0.099
R=	0.114	P=	0.816
So=	0.1	R=	0.121
z=	1	So=	0.2
Q=	2.26 m ³ /s	Q=	0.90 m ³ /s
Qap=	2.26 m ³ /s	Qap=	0.90 m ³ /s
			

7. PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Plan de Prevención

- Debido a la vulnerabilidad estructural de la vivienda ubicada en el pie del proceso de reptación se deberá realizar inspección estructural del mismo.
- Se recomienda el cambio del uso del suelo. Cultivos de baja rotación y menos labor del suelo. Recuperar la masa forestal en la zona media y alta del área afectada.
- El mantenimiento de la vía debe ser continuo que garantice el manejo de aguas y el buen funcionamiento de las obras de arte.

Plan de Mitigación

- La construcción de trincheras drenantes y las canalizaciones y zanjas para el control y conducción del agua superficial y las aguas sub-superficiales.
- Para la estabilización del sector se recomienda la implementación de micro pilotes de 12m de longitud, dispuestos en filas distanciados 1m entre diámetros.
- Adicionalmente la zona deberá ser revegetalizada con arbustos y/o vegetación de altura media, que permita el control de agua y de igual manera generen un sistema de confinamiento natural del suelo con sus raíces.

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 medio por fenómenos de remoción en masa en la zona del deslizamiento.
- Se deberá implementar un plan de medidas de mitigación, que consiste principalmente en manejo y conducción de agua superficial; y agua sub-superficial.

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. 2520241419 CND