

# ESTUDIO DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD POR FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA SECTOR DE PUENTE CAMACHO, MUNICIPIO DE RAMIRIQUÍ, BOYACÁ



---

JOSÉ OLMOS OLMOS  
ING. CIVIL – GEOTÉCNISTA

MAYO DE 2013

## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
2.	ALCANCE.....	3
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
4.	GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA REGIONAL .....	4
5.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....	6
5.1.	Perfil Estratigráfico .....	6
5.2.	Caracterización Mecánica del Depósito (Arcilla).....	7
5.3.	Caracterización Mecánica de la Roca (Arcillolita) .....	9
6.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	10
6.1.	Evaluación de la Amenaza .....	13
6.2.	Evaluación de Vulnerabilidad .....	14
7.	EVALUACIÓN DEL DRENAJE NATURAL .....	19
7.1.	Criterios de Diseño para Obras de Drenaje .....	19
	Intensidad.....	20
	Coefficiente de Escorrentía .....	21
	Caudal de Aporte.....	21
	Secciones para las Obras de Drenaje .....	22
8.	PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN .....	23
	Plan de Prevención.....	23
	Plan de Mitigación.....	23
	Plan de Monitoreo .....	23
	Plan de Mantenimiento .....	24
9.	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA CON OBRAS DE MITIGACIÓN.....	24
10.	ADVERTENCIA.....	26

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Registro gráfico de los ensayos de laboratorio del sondeo 2. ....	6
Figura 2. Análisis de los parámetros de resistencia (Sondeo 1) .....	7
Figura 3. Análisis de los parámetros de resistencia (Sondeo 2) .....	8
Figura 4. Análisis de los parámetros de resistencia (Sondeo 3) .....	8
Figura 5. Salida gráfica del software RocLab 1.0 para la caracterización mecánica de la roca.....	9
Figura 6. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil 3. ....	10
Figura 7. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil 4. ....	10
Figura 8. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil 5. ....	11
Figura 9. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil 3. ....	11
Figura 10. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil 4. ....	12
Figura 11. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil 5. ....	12
Figura 12. Esquema de deslizamiento.....	15
Figura 13. Distribución de los Factores de Seguridad con Obras de Mitigación - Perfil 3. ....	24
Figura 14. Distribución de los Factores de Seguridad con Obras de Mitigación - Perfil 4. ....	25
Figura 15. Distribución de los Factores de Seguridad con Obras de Mitigación - Perfil 3. ....	25

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de resistencia de la estructura.....	14
Tabla 2. Clasificación de la tipología de la estructura .....	14
Tabla 3. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio .....	15
Tabla 4. Categorías de presión lateral utilizadas en el estudio .....	16
Tabla 5. Solicitaciones para vías.....	16
Tabla 6. Matriz de daño utilizada en el estudio IDp.....	16
Tabla 7. Valores del coeficiente de importancia.....	17
Tabla 8. Clasificación de la Vulnerabilidad.....	18
Tabla 9. Parámetros recomendados para la estimación del coeficiente de escorrentía en zonas no urbanizadas.....	21

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa, se realiza con el objetivo de determinar las obras de mitigación necesarias que permitan estabilizar el deslizamiento ocurrido en el sector de Puente Camacho, en el municipio de Ramiriquí, Boyacá. El plan de medidas de mitigación y prevención, complementadas con la formulación de planes de seguimiento y monitoreo, deberá ser ejecutado 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 presentó un deslizamiento de gran magnitud que, de acuerdo a la topografía y lo observado en campo, corresponde a un proceso de flujo de tierra con presencia de procesos de reptación en algunos puntos. En general el flujo de tierra se debe a los flujos de agua tanto superficiales como sub-superficiales desde la zona alta del área, depositando material en la parte baja, donde se encuentra la vía.

**Fotografía 1. Flujo de Tierra en el terreno.**



## 4. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA REGIONAL<sup>1</sup>

Formación Conejo (Kscn). Secuencia estratigráfica denominada por Renzoni (1967). Es un conjunto de gran espesor en el área de estudio, se distingue claramente por mostrar una topografía típica de crestas y valles, que la diferencia claramente de las unidades infra y suprayacentes. Es equivalente a la Formación Arenisca Dura de La Sabana de Bogotá. Esta formación suprayace concordantemente la Formación Churuvita, de igual forma se encuentra suprayacida concordantemente por la Formación Plaeners, que es morfológicamente diferente de la Formación Conejo por su topografía de escarpes fuertes; el contacto entre ellas es visible por el camino que de Puente Guaya conduce al Alto El Volador y por la carretera Ramiriquí – Boyaca. La Formación Conejo en términos generales, está compuesta en el área por capas de arenisca (4 a 20 m), intercaladas en niveles de arcillas principalmente grises oscuras, arcillolitas y limolitas.

La arenisca se presenta en bancos gruesos a medianos, llegando a ser bastante dura en algunas localidades, aunque friable e incluso porosa. Algunos de estos bancos presentan laminación ondulada, laminación paralela o estratificación gradada. Generalmente la arenisca es de color claro, gris, blanca, amarilla; siendo común la oxidación. El grano es principalmente fino y en pocas ocasiones medio. La arcilla es generalmente oscura, café, gris, negra y en ocasiones amarilla. En menor proporción se encuentran, también, limolitas grises y lutitas negras que presentan laminación paralela.

Esta formación también se halla expuesta a lo largo de una amplia faja de orientación NE-SW, principalmente en las Veredas: Farquenta, Escobal, en los núcleos del anticlinal y sinclinal Pantano Largo, en la Vereda Guacamayas, en la Vereda el Común y por la carretera Ramiriquí – Boyaca 40 m al SE de Puente Camacho. Puede decirse que la Formación Conejo fue depositada en un medio marino, cuyos sedimentos corresponden a una facies areno arcillosa desarrollada en un ambiente propio de las zonas sublitorales bastante someras. Su edad comprende desde el Coniaciano Superior al Santoniano.

---

<sup>1</sup> Tomado de [www.boyaca.gov.co](http://www.boyaca.gov.co)



Fotografía 2. Afloramiento del Macizo Rocoso.



Fuente: UPTC.

## 5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Para la caracterización de materiales se hizo uso de registros de perforación y ensayos de laboratorio, de clasificación y resistencia, de 3 sondeos realizados. Esta información fue suministrada por la UPTC.

### 5.1. Perfil Estratigráfico

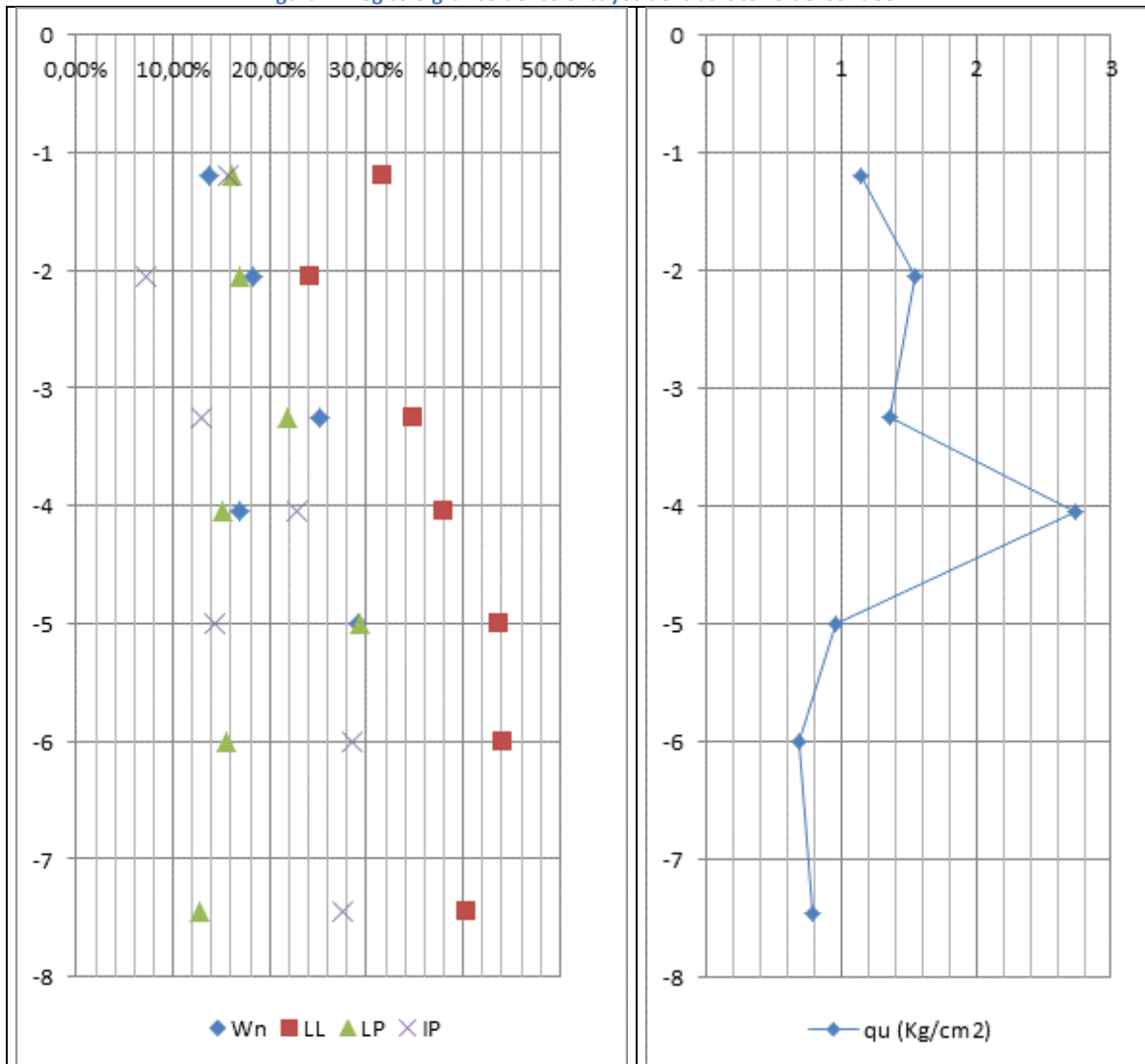
Profundidad 0.0 – 8.0/12.0 m

**Arcilla de Baja Plasticidad.** Suelo residual de la Arcillolita de color café claro a gris claro. Con un alto grado de meteorización. Con valores de SPT entre 9 y 27 golpes.

Profundidad 8.0/12.0 m – en adelante

**Arcillolita.** Roca arcillolita de color gris.

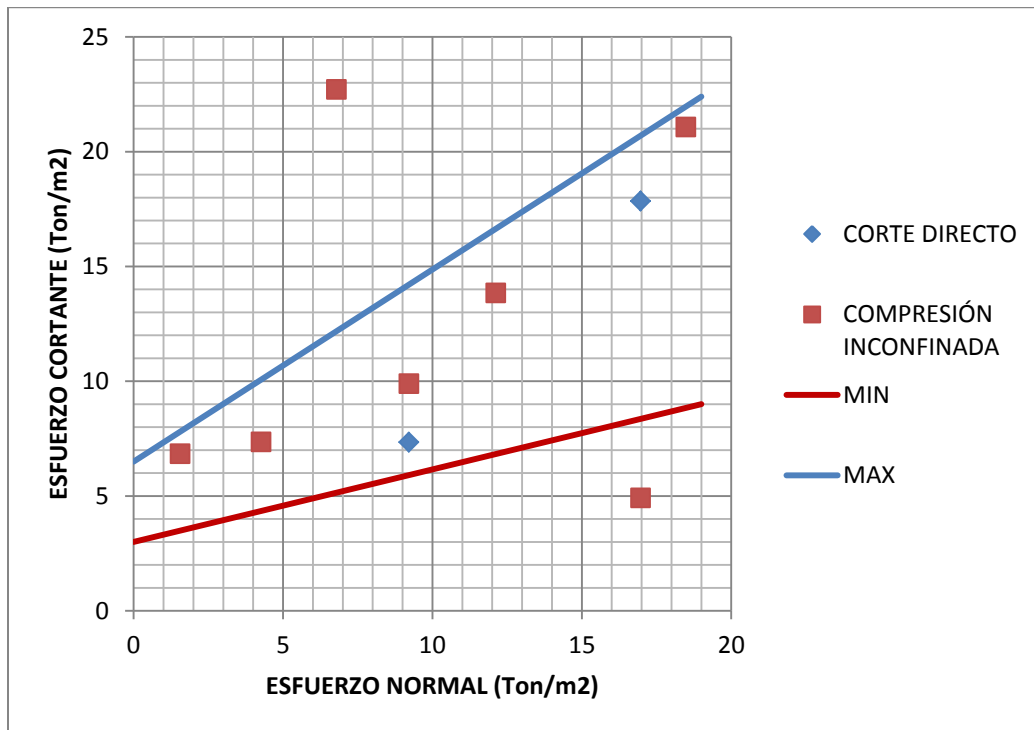
Figura 1. Registro gráfico de los ensayos de laboratorio del sondeo 2.



## 5.2. Caracterización Mecánica del Depósito (Arcilla)

Debido a que en general el material de depósito es bastante uniforme, de acuerdo de a los ensayos de laboratorio practicados, se realizó un análisis global de los parámetros de resistencia obtenido a partir del ensayo de compresión inconfiada y corte directo, para lo cual se generaron las gráficas de Esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal, calculados a partir de cada ensayo, y se establecieron envolventes de falla mínima y máxima, teniendo en cuenta la distribución de esfuerzos obtenida.

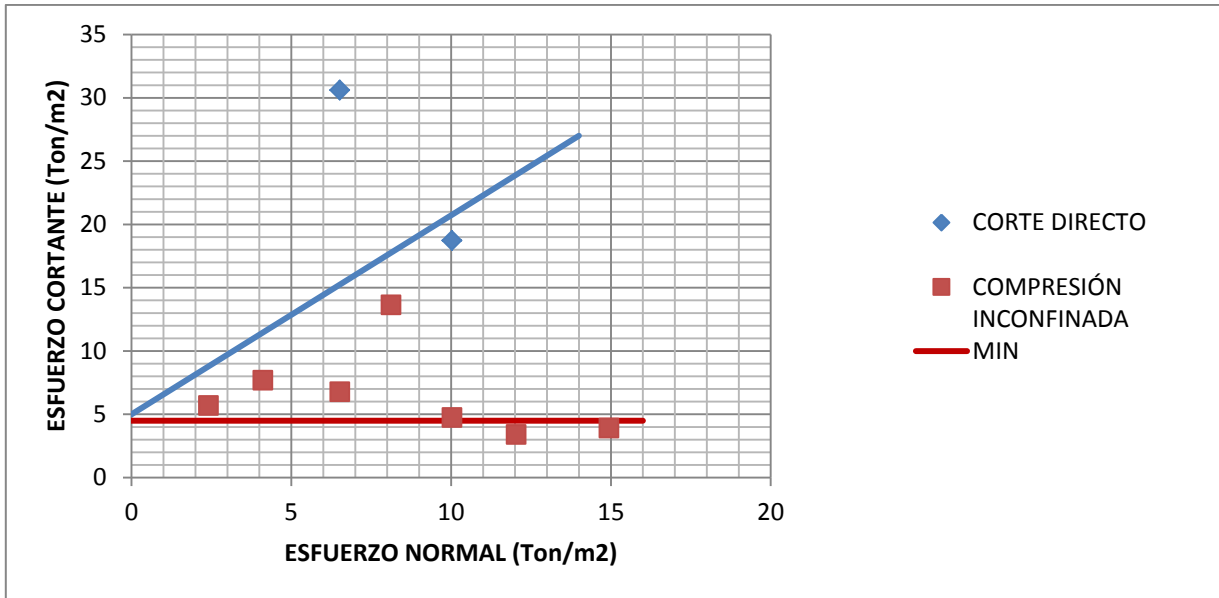
Figura 2. Análisis de los parámetros de resistencia (Sondeo 1)



MATERIAL	Pu PROM	PHI PROM	C PROM
CL	1,94	28,72	4,75

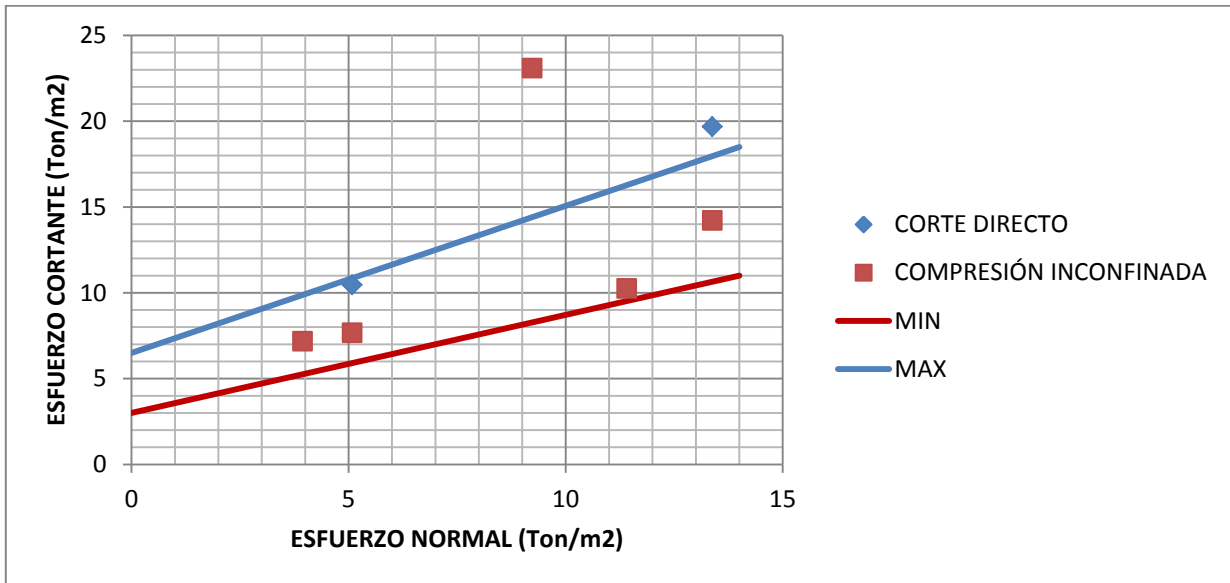


Figura 3. Análisis de los parámetros de resistencia (Sondeo 2)



MATERIAL	Pu PROM	PHI PROM	C PROM
CL	2,01	28,76	4,75

Figura 4. Análisis de los parámetros de resistencia (Sondeo 3)

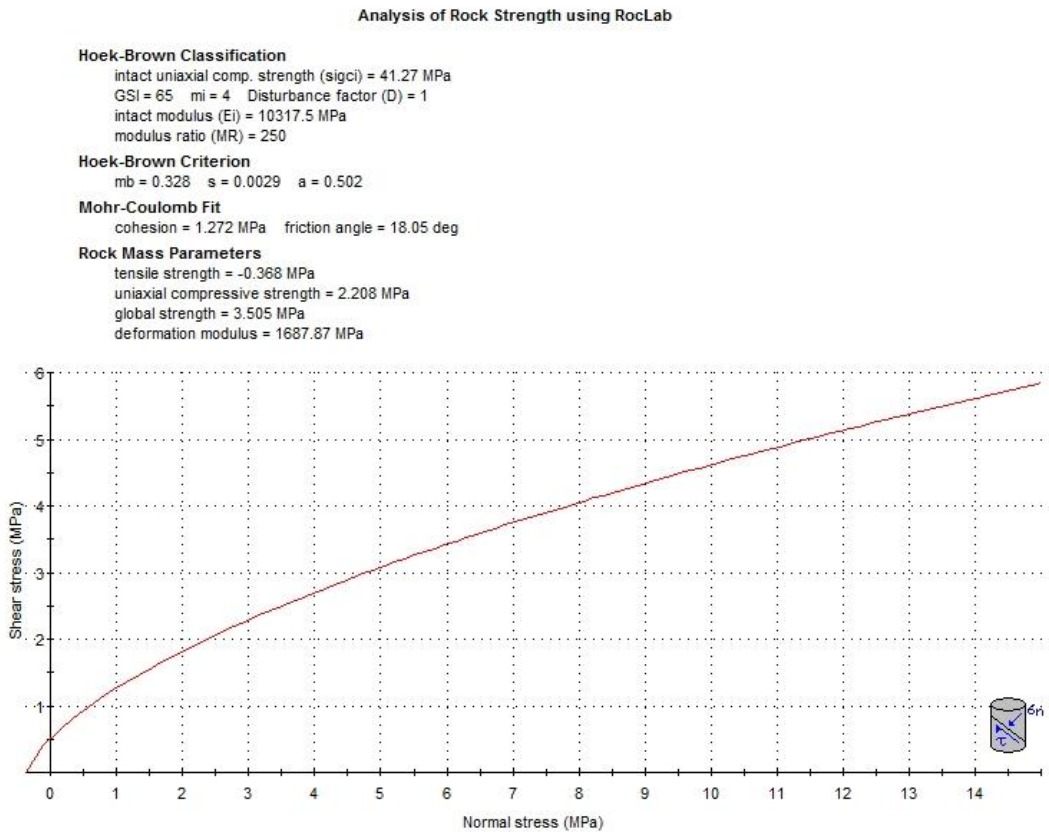


MATERIAL	Pu PROM	PHI PROM	C PROM
CL	2,07	35,17	4,75

### 5.3. Caracterización Mecánica de la Roca (Arcillolita)

Para la caracterización geomecánica de la roca se utilizó el ensayo de carga puntual realizado en la muestra M8-008 y la clasificación de GSI (Geological Strength Index) cuyo análisis fue realizado mediante el software RocLab 1.0 de la casa Rocscience.

Figura 5. 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 tres secciones de análisis denominadas Perfil 3, Perfil 4 y Perfil 5 (ver localización en plano anexo) trazadas sobre las zonas falladas y de pendientes críticas. Los modelos geológicos de estas secciones fueron suministrados por la UPTC.

Figura 6. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil 3.

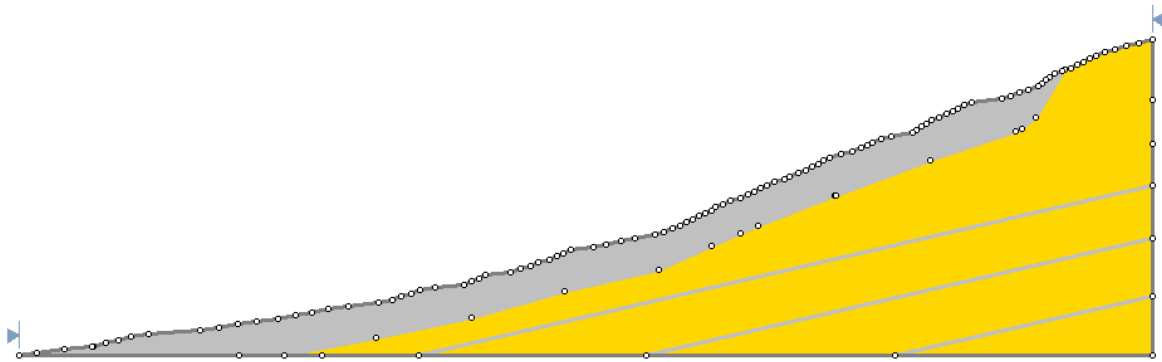


Figura 7. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil 4.

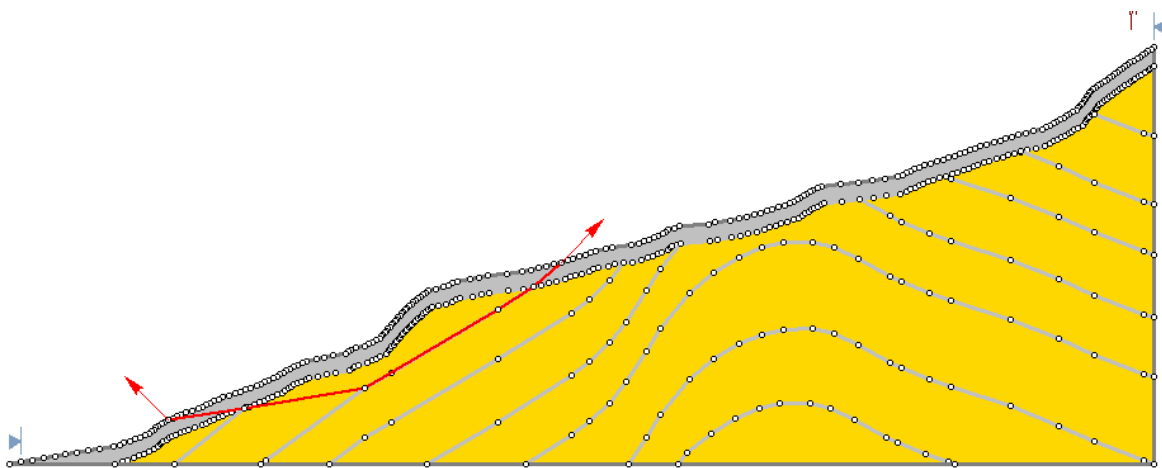
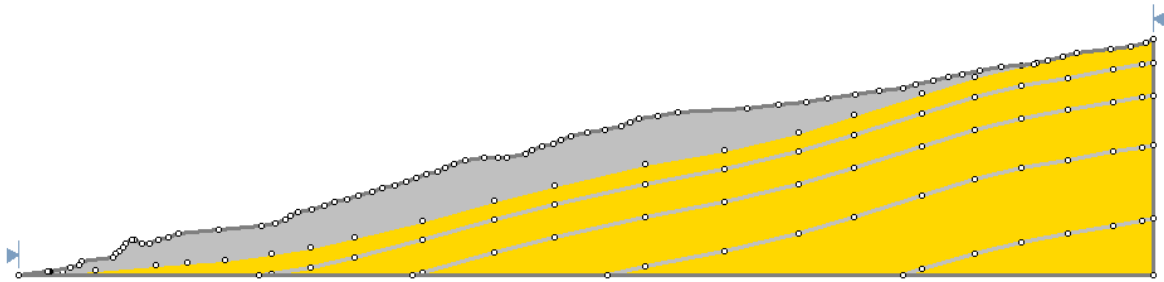


Figura 8. Modelo Geológico - Geotécnico Perfil 5.



Estos modelos fueron analizados bajo condiciones extremas, estos es en condición de saturación y de sismo. La saturación de los materiales fue modelada mediante el factor  $R_u$ , calculado en 0.49 para el depósito y en 0.45 para la roca. El sismo fue modelado introduciendo el valor de la aceleración de diseño establecido para Ramiriquí por la NSR-10, igual a  $0.2g$ , con variación de  $\pm 0.03g$ . 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 9. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil 3.

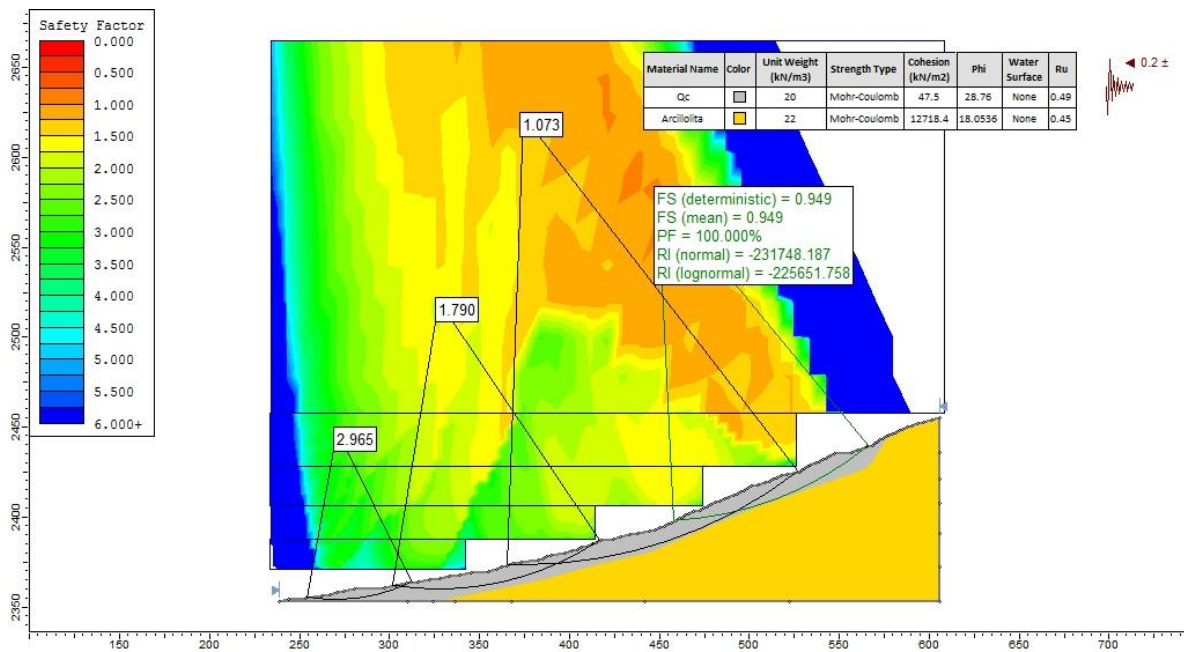


Figura 10. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil 4.

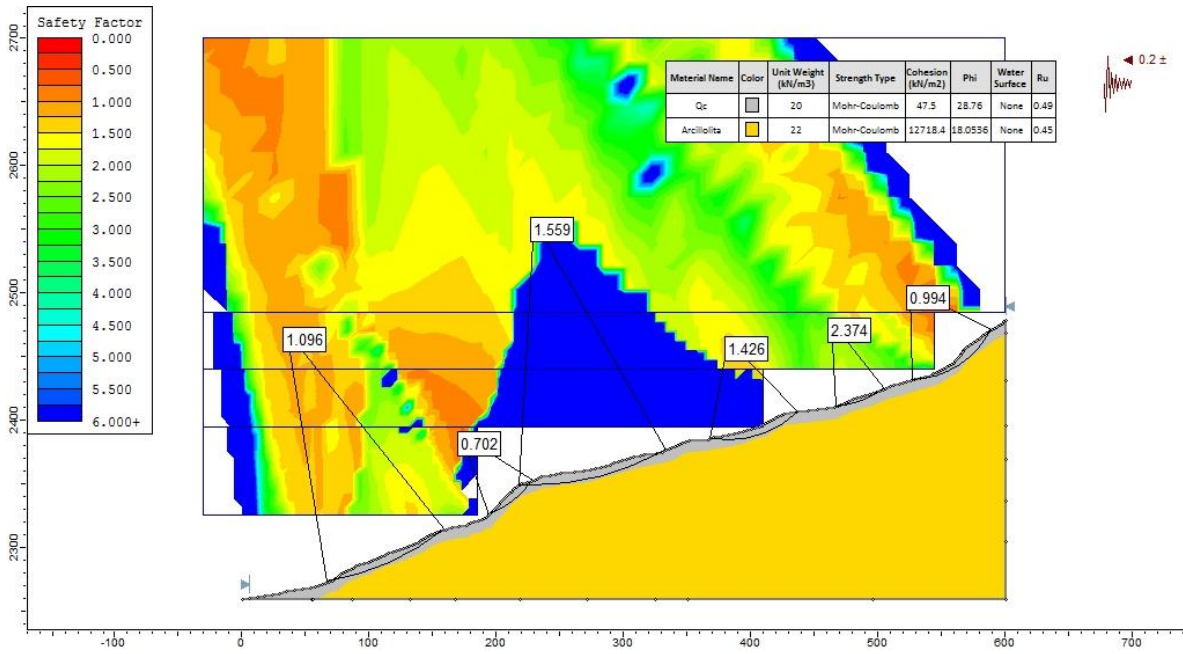
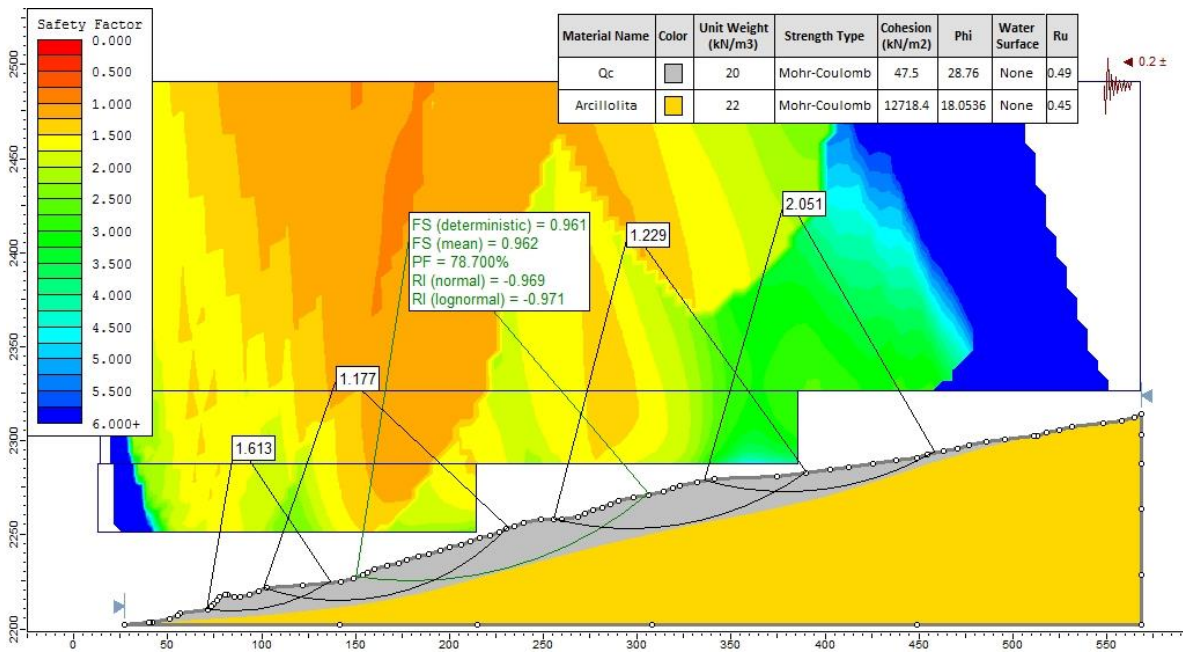


Figura 11. Distribución de los FS para el escenario actual en la condición extrema del Perfil 5.



## 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:

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

La zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa del área de estudio se presenta en el plano 1.



## 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 Leone<sup>2</sup> y modificada por Soler et al<sup>3</sup>. 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 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 1. 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. Arriostamiento de la estructura.
Empujes laterales	Deformación. Ruptura.	Altura de la estructura. Profundidad de la cimentación. Refuerzo.
Impactos	Deformación. Ruptura.	Refuerzo.

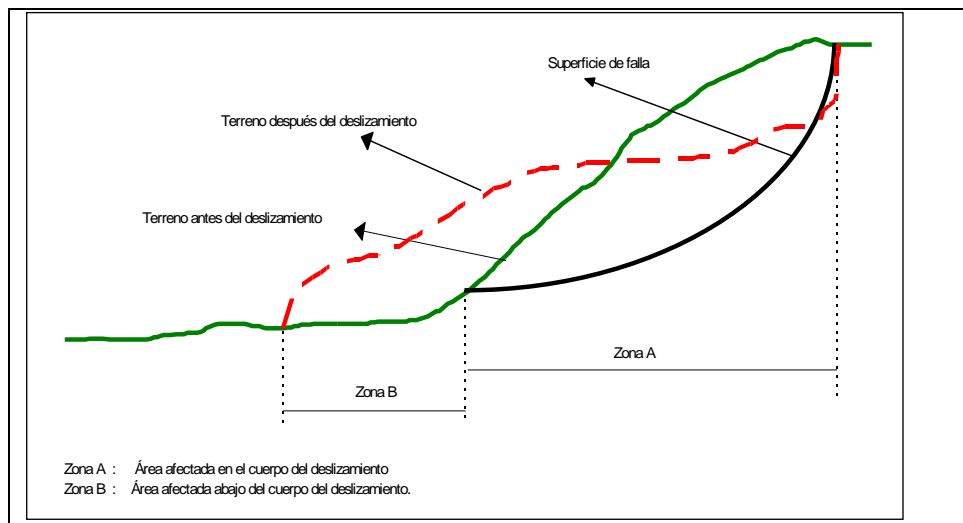
**Tabla 2. Clasificación de la tipología de la estructura**

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.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

El tipo de solicitaciones depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno<sup>4</sup>, tal como se presenta a continuación.



**Figura 12. 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 Varnes<sup>5</sup>, presentada a continuación:

**Tabla 3. 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:

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> Cruden, D. y Varnes D.(1991). **Landslides types and processes**. Universidad de Alberta.

**Tabla 4. 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 5. Solicitaciones para vías.**

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

**Tabla 6. 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 <sup>3</sup>					0.4
	DH (III) Obstrucción con volumen de 100m <sup>3</sup>					0.8
	DH (IV) Ruptura					1.0

SOLICITACIÓN		TIPOLOGIA DE VIVIENDA				VIA
EMPUJES LATERALES	PL1 (SF=SE)	1.0	1.0	0.9	0.9	
	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  $\alpha$  es la dependencia o coeficiente de importancia de ID en la valoración del IVF (0 cuando es mínima y 1 cuando es máxima).

**Tabla 7. Valores del coeficiente de importancia.**

Grado de Amenaza	Valor de $\alpha$
Baja	0.2
Media	0.4
Alta	0.6

**Tabla 8. Clasificación de la Vulnerabilidad.**

<b>Categoría de la Vulnerabilidad</b>	<b>Valor del IVF</b>
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:

<b>ELEMENTO</b>	<b>VULNERABILIDAD</b>
CASAS	ALTA
VIA	MEDIA

La memoria de cálculo de presenta en el Anexo 2.

## 7. 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 745.857 m<sup>2</sup>.

### 7.1. 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 (m<sup>3</sup>/s);

k= Factor de conversión que en el sistema métrico es igual a 0.0028 (lt/s/m<sup>2</sup> 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.



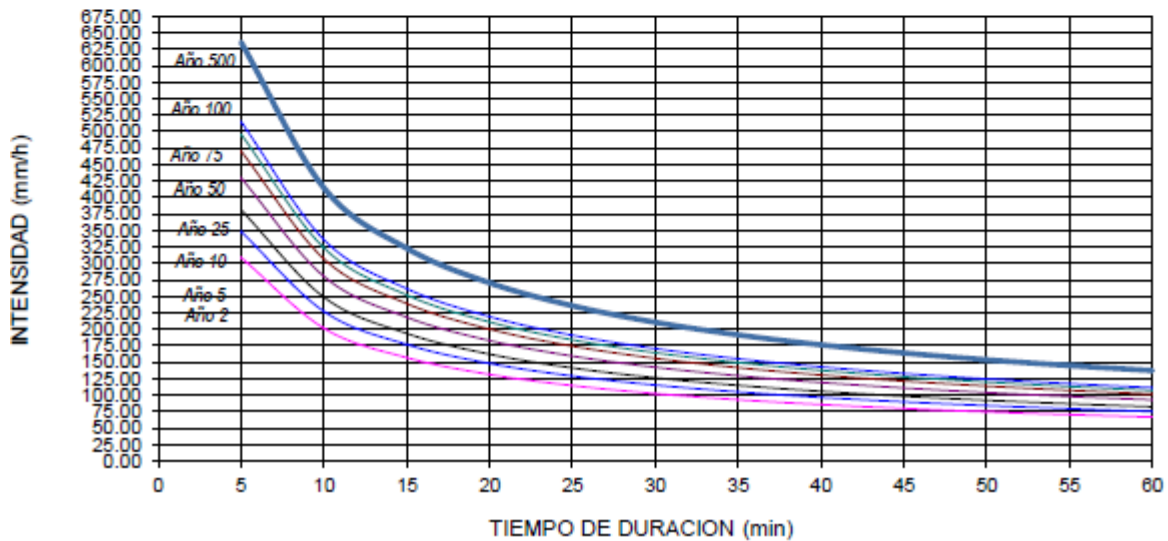
## Intensidad

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

Frecuencia años	Duración en minutos					
	5	10	15	20	25	30
2	309.07	201.61	157.03	131.51	114.61	102.43
5	348.39	227.25	177.00	148.24	129.19	115.46
10	381.42	248.80	193.78	162.29	141.44	126.40
25	429.93	280.45	218.43	182.94	159.43	142.48
50	470.69	307.04	239.14	200.28	174.54	155.99
75	496.31	323.74	252.15	211.18	184.04	164.48
100	515.32	336.14	261.81	219.27	191.09	170.78
500	635.94	414.83	323.09	270.59	235.82	210.75

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno (continuación...)

Frecuencia años	Duración en minutos					
	35	40	45	50	55	60
2	93.14	85.78	79.78	74.76	70.50	66.81
5	104.99	96.70	89.92	84.27	79.46	75.31
10	114.95	105.86	98.45	92.26	87.00	82.45
25	129.57	119.33	110.97	104.00	98.06	92.94
50	141.85	130.64	121.49	113.86	107.36	101.75
75	149.57	137.75	128.11	120.05	113.20	107.29
100	155.30	143.03	133.01	124.65	117.54	111.40
500	191.65	176.51	164.15	153.83	145.05	137.48



Para efectos del estudio se adoptó una intensidad crítica de 101.75 mm/h. correspondiente a una duración de 60 min y un periodo de retorno de 50 años.

### Coefficiente 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 9. Parámetros recomendados para la estimación del coeficiente de escorrentía en zonas no urbanizadas.

<b>RELIEVE DEL TERRENO</b>	40	30	20	10
	Muy accidentado	Accidentado	Ondulado	llano
	m>30%	10%<m<30%	5%<m<10%	M<5%
<b>PERMEABILIDAD DEL SUELO</b>	20	15	10	5
	Muy Impermeable	Bastante Impermeable	Bastante Permeable	muy Permeable
	roca	Arcilla	normal	arenas
<b>VEGETACIÓN</b>	20	15	10	5
	ninguna	Poca	bastante	mucha
		- del 10% de la superficie	hasta el 50% de la superficie	hasta el 50% de la superficie
<b>CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE AGUA</b>	20	15	10	5
	ninguna	Poca	bastante	mucha
<b>VALOR DE K</b>	75 - 100	50 - 75	30 - 50	25 - 30
<b>VALOR DE C</b>	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 0.7.

### Caudal de Aporte

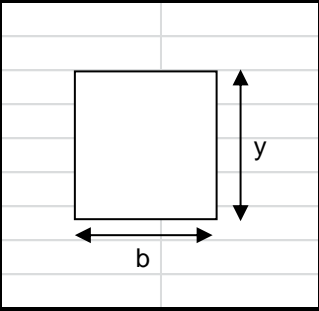
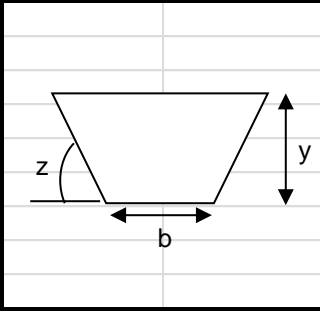
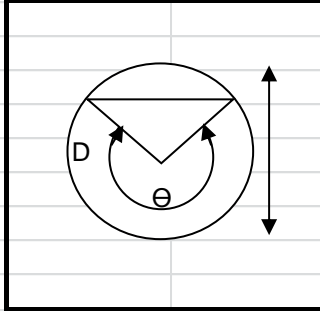
El caudal calculado será:

$$Q = 0.0028 * 101.75 * 0.7 * 74.5$$

$$Q = 14,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

## Secciones para las Obras de Drenaje

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

Box Culvert	Canal	Tubo
<b>b=</b> 2,22 m	<b>z=</b> 1	<b>θ</b> 220 °
<b>y=</b> 1,11 m	<b>b=</b> 0,99 m	<b>D</b> 2,10 m
<b>n=</b> 0,014	<b>y=</b> 1,20 m	<b>n=</b> 0,014
<b>A=</b> 2,475	<b>n=</b> 0,014	<b>A=</b> 2,475
<b>P=</b> 4,450	<b>A=</b> 2,475	<b>P=</b> 4,035
<b>R=</b> 0,556	<b>P=</b> 4,371	<b>R=</b> 0,613
<b>So=</b> 0,25	<b>R=</b> 0,566	<b>So=</b> 0,25
<b>So=</b> 0,25	<b>So=</b> 0,25	
<b>Q=</b> 14,85 m <sup>3</sup> /s	<b>Q=</b> 14,85 m <sup>3</sup> /s	<b>Q=</b> 14,85 m <sup>3</sup> /s
<b>Qap=</b> 14,85 m <sup>3</sup> /s	<b>Qap=</b> 14,85 m <sup>3</sup> /s	<b>Qap=</b> 14,85 m <sup>3</sup> /s
		
Revisión: <b>OK</b>	Revisión: <b>OK</b>	Revisión: <b>OK</b>
Donde,		
A:	Area de la sección mojada.	
P:	Perimetro mojado.	
R:	Radio Hidraulico	
Q:	Caudal del Canal	
Qap:	Caudal de Aporte.	
NOTA:		
Pese a que las medidas podrían ser inferiores, se asumen medidas constructivas mayores.		

## **8. PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

### **Plan de Prevención**

- Debido a la amenaza y vulnerabilidad de las viviendas ubicadas al interior de la zona del deslizamiento y que se encuentren dentro de una franja de 50 m de la misma deberán ser evacuadas y sus habitantes reubicados con el objeto de minorizar el riesgo.
- Ya que actualmente se encuentra en construcción un muro de contención en el talud adyacente a la vía se recomienda mantener un monitoreo constante, de acuerdo a las recomendaciones que se dan más adelante, y generar un esquema de prevención para el personal de obra debido a la amenaza de flujos de tierras desde la parte alta del sector de estudio y cuyo principal detonador son las fuertes lluvias, que pueden afectar la zona en obra.

### **Plan de Mitigación**

- Se recomienda la construcción de una canal (ver ubicación en Plano de Obras de Mitigación) por la zona de drenaje natural del terreno, con el objeto de captar el agua de escorrentía y dirigirla al río, evitando así el arrastre de material.
- Se deberán construir trincheras drenantes (Filtro con geodrén) en un sistema de espina de pescado a lo largo de la zona del deslizamiento, como complemento al canal, con el objeto de controlar y mitigar el nivel freático del terreno.
- Toda la zona del deslizamiento deberá ser re-vegetalizada con vegetación adecuada para controlar procesos erosivos, de reptación y mejorar las condiciones de escorrentía. Esto será con vegetalización tipo I (ver detalle en plano de detalles), para las zonas que conforman la cuenca natural del terreno (ver plano de obras de mitigación) para el control de erosión y drenaje hacia el canal propuesto. La vegetalización tipo II consistirá en la plantación de vegetación natural del sector, arbustos y grama, para evitar procesos erosivos y mejorar la escorrentía superficial.

### **Plan de Monitoreo**

- Se recomienda el amojonamiento de puntos en la zona del deslizamiento para realizar un seguimiento topográfico periódico de los mismos para determinar desplazamientos de las masas de suelo.
- De igual forma se recomienda la instalación de piezómetros, en la zona alta y baja del terreno para monitorear la posición del nivel freático.

## Plan de Mantenimiento

El plan de mantenimiento consiste en preservar las estructuras de drenaje como se indica a continuación:

- Limpieza de cunetas, canales y descoles: bimensual o como mínimo antes de la época invernal.
- Limpieza de tanques y búsqueda de fugas o filtraciones: semestral como mínimo
- Revisión de filtros: semestral como mínimo
- Revisión de pozos y sumideros: Bimensual como mínimo o previo a las épocas invernales

## 9. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA CON OBRAS DE MITIGACIÓN

Se modificó la modelación de los perfiles en Slide teniendo en cuenta las obras de mitigación, para lo cual se modificaron los factores  $R_u$ , para una condición de nivel freático controlado a 4m de profundidad. Los análisis se hicieron bajo la condición extrema de sismo:

Figura 13. Distribución de los Factores de Seguridad con Obras de Mitigación - Perfil 3.

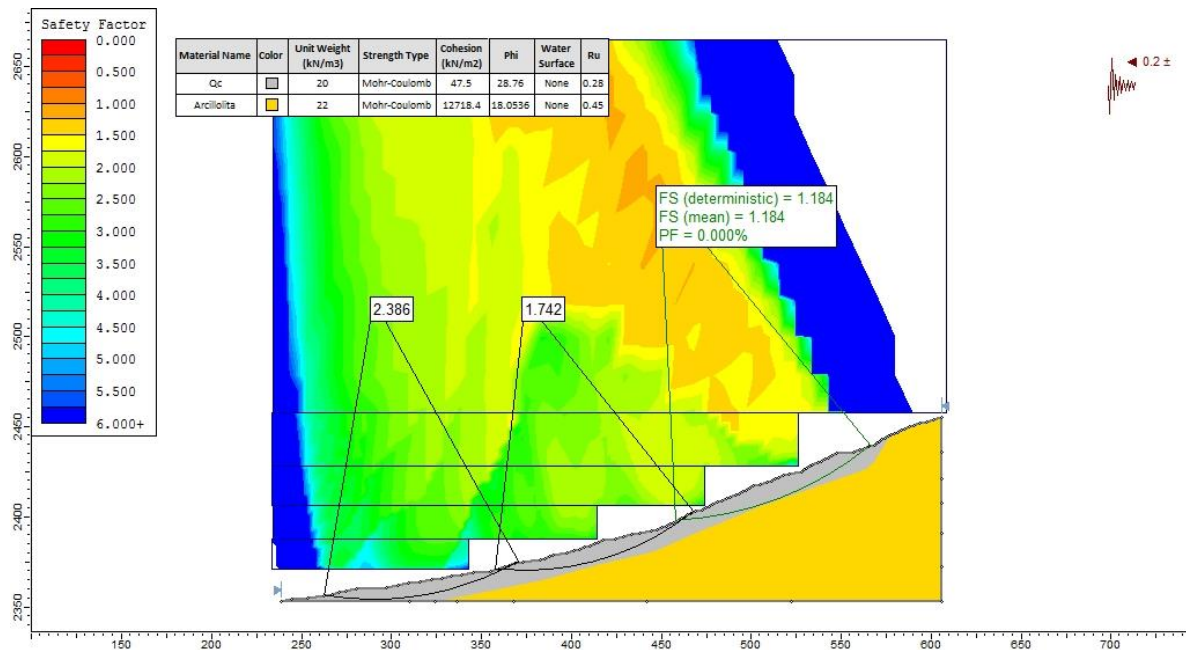


Figura 14. Distribución de los Factores de Seguridad con Obras de Mitigación - Perfil 4.

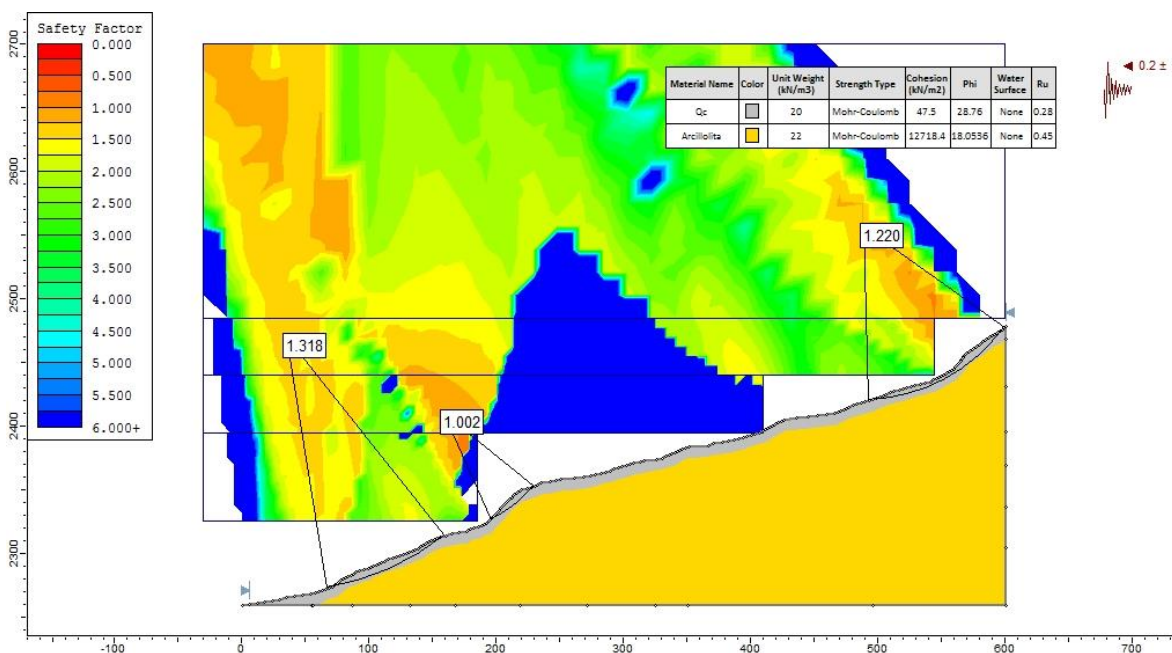
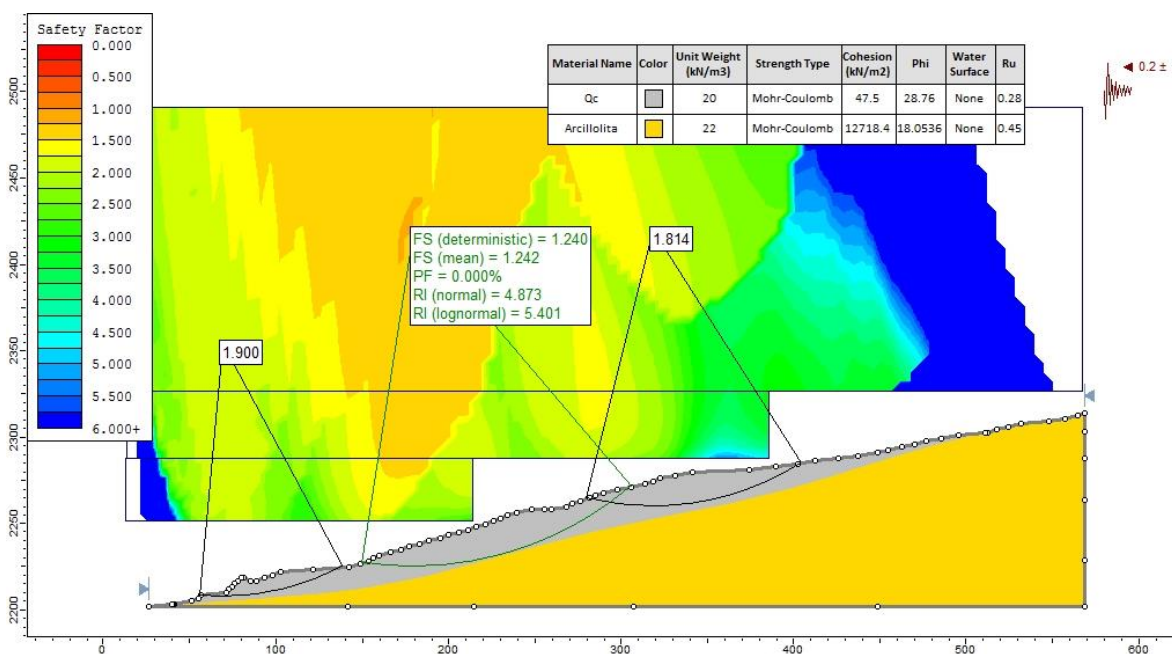


Figura 15. Distribución de los Factores de Seguridad con Obras de Mitigación - Perfil 3.



Como se observa en las figuras, con las obras de mitigación propuestas en una condición extrema de sismo, se pueden presentar algunas zonas de amenaza media por fenómenos de remoción en masa con factores de seguridad muy cercanos a 1.30. Sin embargo con el plan de re-vegetalización puede considerarse llegar a una condición de amenaza baja.



## **10. 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**