

Propuesta metodológica para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

Methodological Proposal for Susceptibility and Threat Zoning for Land Mass Movements

Fecha de recepción: 31 de agosto de 2009
 Fecha de aprobación: 18 de noviembre de 2009

Omar Javier Jiménez Jiménez

Resumen

Colombia, por estar localizada geográficamente en la región circumpacífica y en la franja intertropical, tiene características que hacen que esté expuesta a procesos de erosión, a fenómenos de remoción en masa (FRM) y a otros eventos de inestabilidad, que se convierten en uno de los agentes modeladores del paisaje, y tienden a ser los mayores generadores de riesgo y desastres naturales en el territorio nacional. Considerando, en consecuencia, la importancia de identificar zonas de riesgo, se plantea una “Propuesta metodológica para la zonificación por la susceptibilidad y la amenaza”, que se basa en el análisis detallado de varias metodologías, planteadas por autores como Mora y Vahrson [1], Ramírez y González [2] y Vargas y Gómez [3], las cuales son muy aplicadas en el medio, pero presentan diferencias entre sus resultados.

Palabras clave: Susceptibilidad, Amenaza, Inestabilidad.

Abstract

Colombian's characteristics for being geographically located in the Pacific circle and inter-tropical belt's region, makes it exposed to erosion, landslides phenomena and other instability processes, that tend to become one of the landscape's shapers agents, and the largest risk and natural disasters' generators in the national territory. Given the importance that implies to identify risk areas, we put forward a methodological proposal for susceptibility and threat's zoning, based on detailed analysis of other methods stated by different authors such as Mora, Ramirez and Gonzalez, Vargas and Gomez which are quite applied in the trade, but at the same time show differences among their results.

Key words: Susceptibility, Threat, Uncertainty.

Ingeniero Civil Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Especialista en Geotecnia Vial Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Integrante Grupo de Investigación de Ingeniería Sísmica y Amenazas Geoambientales GIISAG. Docente Escuela de Ingeniería Civil – UPTC. Correo: omarijj@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

En Colombia se presentan diferentes estudios referidos a la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por fenómenos de remoción en masa, los cuales, en repetidas ocasiones, terminan en ellos mismos, puesto que quienes pueden aplicar los resultados obtenidos en los mapas concentran su cuidado en los factores económicos y de orden público, dejando a un lado las condiciones naturales. Como enuncian Mora y Vahrson (1997), "... gran parte de [esta] problemática descansa sobre el desinterés, sobre todo, de los que participan en los procesos políticos, muchas veces desmotivados por la falta de continuidad de las acciones más allá de los procesos electorales o luego de los desastres, cuando los medios de comunicación ya no ofrecen la oportunidad de ser parte de la noticia..." [1]. No obstante, se debe seguir adelante con esta clase de estudios, tratando de concientizar a la sociedad de que a pesar de que es muy difícil predecir con exactitud un evento, se está dando una gran aproximación que debe ser tenida en cuenta para evitar desastres.

A partir de los parámetros arrojados por los diferentes autores que han abordado este tema, se procede a realizar un análisis de aplicación de diferentes metodologías, con el fin de destacar la importancia del tipo de estudio, de la zona, de la escala y de otros parámetros en los resultados, y de aclarar que zonificar no consiste en tomar zonas homogéneas y aplicarles una metodología cualquiera, sino que debe llevar un respectivo análisis y toma de decisiones que influirán vitalmente en los resultados. De acuerdo con lo anterior, se dará una propuesta metodológica para zonificar la susceptibilidad y la amenaza por fenómenos de remoción en masa (FRM).

II. METODOLOGÍA PARA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FRM

Según propuestas metodológicas muy conocidas, como las de Mora y Vahrson [1], Ramírez y González [2] y Vargas y Gómez [3], una vez se desea aplicar una propuesta se deben evaluar una serie de parámetros característicos de la zona por estudiar, los cuales, según la presente metodología, se describen a continuación.

A. *Parámetro de material (Smat)*

Este parámetro se trabaja con las mismas relaciones de Ramírez y González [2], pero sus calificaciones han sido invertidas, con el fin de clasificarlas de menor a mayor; la relación interna de proporciones de las variables se ha conservado, pero su peso exterior se ha modificado. Su análisis se realiza de acuerdo con cada uno de los materiales que se presentan aflorantes en la zona, tomando solo una clasificación de los tres tipos de material (roca, suelo y material intermedio), que se describen a continuación:

1) Roca

En este parámetro se relacionan la génesis del material, la textura, su orientación y resistencia a compresión, además de su condición de fracturamiento (tabla 1).

2) Suelo

Suelo, en ingeniería, es todo material que pasa más de un 30% de matriz (tamiz N.º 4). Para aplicar la zonificación de la susceptibilidad por FRM, se realiza el reconocimiento de dos tipos de suelo de acuerdo con su génesis: suelo residual y suelo transportado.

Tabla 1. Evaluación para el tipo material roca

TIPO DE ROCA								Condición de fracturamiento (Separación)			
		Fábrica									
		No orientada			Orientada						
Origen	Textura	Entrelazada	Cementada	Consolidada	Foliada	Cementada	Consolidada	Masiva > de 100 cm	Ligeramente fracturada de 10 a 100 cm	Moderadamente fracturada de 1 a 10 cm	Intensamente fracturada < de 1 cm
Ígneo	Cristalino	Tipo I									
	Piroclástico		Tipo II								
Metamórfico	Cristalino	Tipo I									
	Masiva										
Sedimentario	Cristalina				Tipo II						
	Foliada										
	No clásica	Tipo II									
	Clásica		Tipo III	Tipo III		Tipo IV	Tipo IV				
Tipo I ($c > 2000 \text{ kg/cm}^2$)								1	8	19	26
Tipo II ($1000 < c < 2000 \text{ kg/cm}^2$)								8	14	22	27
Tipo III ($500 < c < 1000 \text{ kg/cm}^2$)								17	20	25	29
Tipo IV ($c < 500 \text{ kg/cm}^2$)								25	27	28	30

Suelo residual: De acuerdo con su génesis y composición, se clasifica según la tabla 2; luego se procede a realizar el análisis de su condición en el terreno (ver tabla 4), de acuerdo con su densidad o consistencia, según sea el caso, relacionado con la textura del material; esto con el fin de obtener el resultado total de la evaluación de este parámetro, el cual corresponderá a la suma de estos dos ítems.

Suelo transportado: Para este tipo de suelo se tiene

en cuenta el mayor agente de transporte, que se puede encontrar por medio de las regiones morfogenéticas hipotéticas de Peltier (1973) [4], de acuerdo con la relación de la precipitación y la temperatura media de la zona de estudio. La evaluación se da de acuerdo con el agente de transporte y la composición del suelo (granular o fina), como se indica en la tabla 3; finalmente, se realiza la evaluación de la condición en el terreno (tabla 4); la evaluación final consistirá en la suma de estas dos.

Tabla 2. Evaluación para el tipo material suelo

Roca parental	Suelo residual			
	Suelo		Suelo (saprolítico)	
	G*	F**	G	F
Ígnea	27	18	18	9
Metamórfica	36	27	27	18
Sedimentaria	36	27	27	18

* (G) Composición predominante granular (>65% retenido tamiz 200)

** (F) Composición predominante fina (>35% retenido tamiz 200)

Tabla 3. Evaluación del material del suelo transportado

Material	Agente transportador			
	Agua	Viento	Hombre	Hielo
G*	25	27	27	27
F**	15	18	18	18

* (G) Composición predominante granular (>65% retenido tamiz 200)

** (F) Composición predominante fina (>35% retenido tamiz 200)

Para evaluar el tipo de suelo se debe observar la tabla 5, tomando en cuenta la suma de la afectación de la tabla 7 (influencia de las estructuras).

3) Material intermedio

Se define como material intermedio aquel que se retiene en más del 70% de matriz (tamiz N.º 4), sin confundirlo con el material roca. Se evalúan tres características principales: litología, estabilidad de la matriz e influencia de las

estructuras, las cuales se analizan de manera resumida en la tabla 6, con un grado de afectación alto o bajo, que dependerá de la condición en el terreno; el valor de valuación corresponde al valor de material parental y al valor de influencia de las estructuras indicado en la tabla 6.

La información encontrada en la tabla 7 corresponde a las estructuras generales que se pueden hallar en la zona que se esté estudiando, y su evaluación se realiza de acuerdo con la baja o alta densidad.

Tabla 4. Evaluación para el tipo material en el terreno

Condición en el terreno		Tipo de suelo			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Granular (densidad)	Alta	1	2	4	5
	Media	2	3	4	5
	Baja	4	5	5	5
Fino (consistencia)	Dura	5	2	4	5
	Media	3	4	4	5
	Baja	5	5	5	6

Tabla 5. Evaluación de tipo de suelo

Material parental		Influencia de las estructuras			
		Bajo (0-9)	Medio (10-19)	Alto (20-29)	Muy alto (>30)
Material residual	Ígnea	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 4
	Metamórfica	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Material transportado	Sedimentaria	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
	Talus Coluviones	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 4

Tabla 6. Evaluación para el tipo material intermedio

Material parental		Estabilidad de la matriz				Influencia de las estructuras			
		Bajo	Medio	Alto	Muy Alto				
Material residual	Ígnea	24	18	8	8	Bajo (0-9)	Medio (10-19)	Alto (20-29)	Muy Alto (>30)
	Metamórfica	32	24	16	8				
	Sedimentaria	32	24	21	11				
Material transportado	Talus Coluviones	32	21	11	11				
Tipo 1						0	1	2	3
Tipo 2						1	2	3	3
Tipo 3						2	3	3	4
Tipo 4						3	3	4	4

B. Parámetro relieve (Ser)

Este parámetro es tomado de Ramírez y González [2], al cual se le ha hecho una modificación en el sentido de la evaluación y en el peso sobre la

zonificación (ver tablas 8a y 8b, y gráfica 1). El valor de valuación corresponde a la suma de los valores obtenidos en estas dos tablas.

Tabla 7. Evaluación para el tipo de material roca, de acuerdo con la influencia de las estructuras

Estructuras	Densidad	
	Baja	Alta
Sistema de diaclasamiento (corresponde a una evaluación alta si se tienen diaclasa abiertas libres de relleno con intensa meteorización)	4	8
Contactos litológicos y estratificación (corresponde a baja si se tiene un espesor < 3m)	5	10
Superficies de meteorización pronunciada (corresponde a una evaluación baja si se presentan espesores de perfiles < 4m a lo largo de diaclasas y contactos litológicos)	5	10
Diques y otras intrusiones (corresponde a una evaluación baja si presenta menos de cinco intrusiones)	2	4
Discontinuidades o disposición errática de los materiales (corresponderá a una evaluación baja si se tienen < 4 familias de discontinuidades)	3	4
Antiguas superficies de deslizamientos (generalmente asociada a una o varias de las estructuras anteriores)	6	12

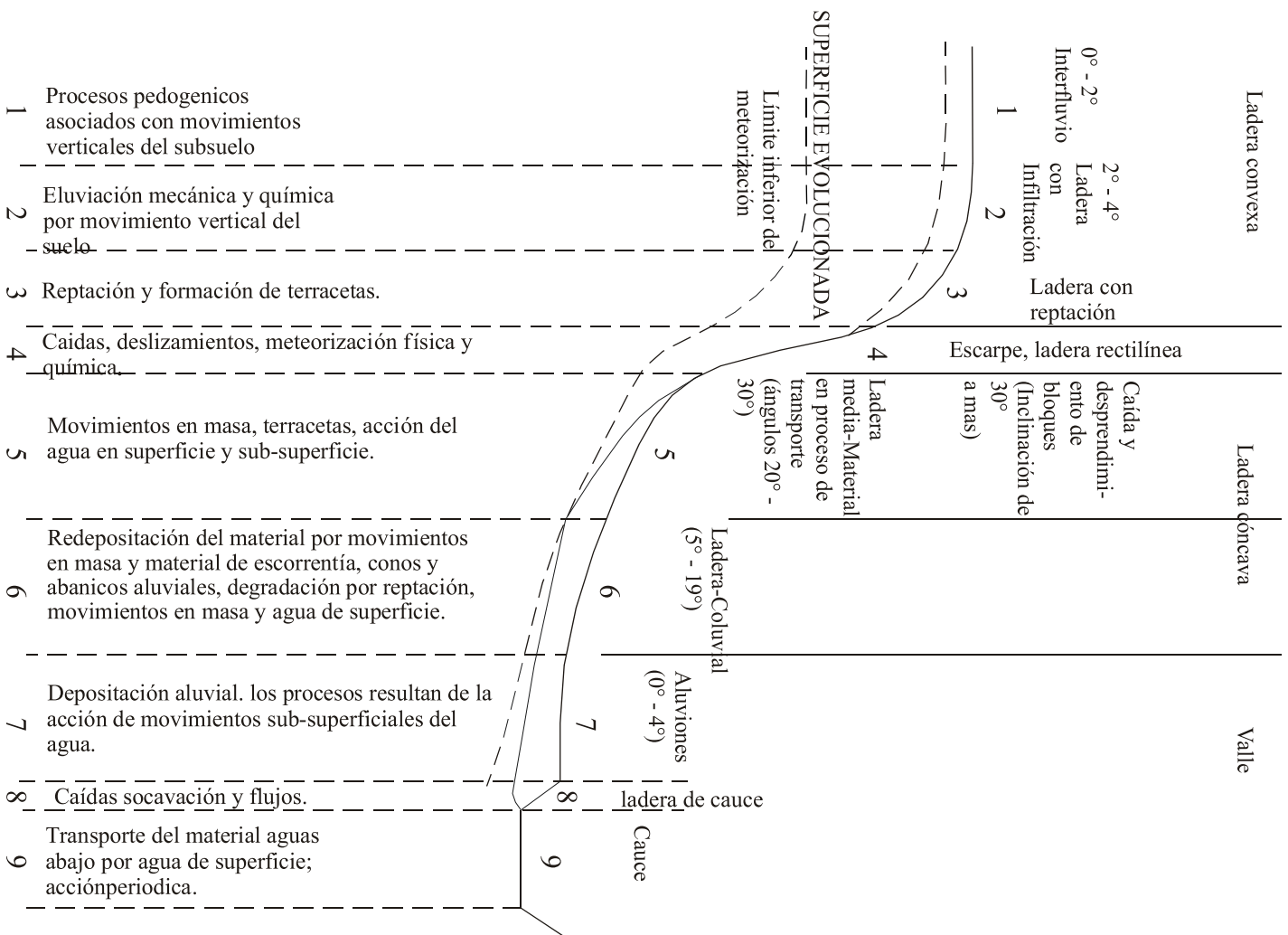


Gráfico 1. Modelo de procesos geomorfológicos modificado por Darlymple (1968) [5]

Tabla 8a. Evaluación para el parámetro de relieve (Gráfico de Darlymple)

Subzonas	Inclinación de la pendiente (grados)	Valor
Interfluvio	0 - 2	27
Ladera con infiltración	2 - 4	9
Ladera con reptación	10 - 30	19
Escarpe o ladera rectilínea	> 30	9
Ladera intermedia de transporte	20 - 30	27
Ladera coluvial	5 - 20	27
Aluviones	0 - 4	8
Ladera de cauce	> 40	27

Tabla 8b. Evaluación para el parámetro de relieve (perfil de la ladera)

Perfil de la ladera	Evaluación
Convexo	15
Rectilíneo	9
Cóncava	12
Valle	8

C. Parámetro hipsometría y morfometría de la cuenca o microcuenca (Shmc)

Para este parámetro se relaciona la topografía del terreno mediante la pendiente media de la cuenca, la cual permite hacer un paralelo con la velocidad del

flujo con resultados satisfactorios y más fáciles de manejar; además se relaciona la anterior variable con la densidad de drenaje y el estado hipsométrico de la cuenca, de tal manera que el resultado del parámetro consistirá en la sumatoria de los valores de cada una de estas tres variables (ver tabla 9).

Tabla 9. Evaluación para el parámetro hipsometría y morfometría de la cuenca

Parámetro	Rangos	Valor
Pendiente media de la cuenca (%)	0 - 5	2
	6 - 15	7
	> 15	16
Densidad de drenaje	< 1	4
	1 - 3	10
	> 3	16
Estado hipsometría	Juventud	12
	Madurez	4
	Senectud	2

D. Parámetro sismicidad (Ssis)

En este parámetro se tienen en cuenta los parámetros dados por la normatividad vigente [6].

Perfil de suelo S1. Tiene las siguientes propiedades:

a. Está compuesto hasta la superficie por roca de cualquier característica que tiene una velocidad de cortante mayor o igual a 750 m/s.

b. Perfiles que entre las rocas y las superficies están conformados por suelos duros o densos con un espesor menor a 60 m, compuestos por depósitos estables de arena, grava o arcillas duras, como una velocidad de la onda de la cortante mayor o igual a 450 m/s.

Perfil de suelo S2. Tiene las siguientes propiedades:

a. Perfiles en donde entre la roca y la superficie existen más de 60 m de depósitos estables de suelos duros o densos, compuestos por depósitos estables de arcillas duras o suelos no cohesivos con un velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 400 m/s.

b. Perfiles en donde entre la roca y la superficie existen menos de 60 m de depósitos estables de suelos de consistencia media compuestos por materiales con

una velocidad de onda cuyo valor está entre 270 y 400 m/s.

Perfil de suelo S3. Es un perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 20 m de suelo que contiene depósitos estables de arcilla, cuya dureza varía entre media y blanda, con una velocidad de la onda de cortante entre 150 y 270 m/s, y que dentro de ellos, en conjunto, hay menos de 12 m de arcillas blandas.

Perfil de suelo S4. Es un perfil en el que en los depósitos existentes entre la roca y la superficie hay más de 12 m de arcillas blandas, caracterizadas por una onda de cortante menor de 150 m/s.

Para evaluar el parámetro sismicidad se procede a realizar el análisis de la relación entre el tipo de suelo, su posición frente al sistema de fallamiento y su valor de aceleración máxima de cortante (ver tabla 10).

E. Parámetro evidencias de inestabilidad (Sint)

En este parámetro se procede a analizar el porcentaje de área afectada por las evidencias de FRM, que a su vez se clasifican según su grado de actividad (ver tabla 11).

Tabla 10. Evaluación para el parámetro sismicidad

Tipo de material	Zona de amenaza sísmica y Valores de aceleración máxima (Aa)										
	Baja				Intermedia		Alta				
	0.00	0.05	0.75	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
S ₁	0	3	7	10	13	17	20	23	27	30	33
S ₂	0	8	11	14	18	21	24	28	31	34	38
S ₃	0	12	15	18	22	25	28	32	35	38	41
S ₄	0	16	19	23	26	29	33	36	39	43	45

Tabla 11. Evaluación para el parámetro evidencias de inestabilidad

Área afectada (%)	Actividad de los FRM					
	Activo	Suspendido	Inactivo			Reactivado
			Latente	Antiguo	Estabilizado	
0-10	19	14	5	4	3	19
10.-30	28	23	15	14	8	28
30.-60.	38	33	25	23	11	38
>60.	45	41	38	33	14	45

F. Parámetro Erosión (Sero)

Teniendo en cuenta que la erosión consiste en el arrastre individual de partículas, se plantea la siguiente subdivisión, que se evalúa como aparece en la tabla 12.

G. Parámetro vegetación (Sveg)

Para este parámetro se relacionan vegetación, uso del

suelo, clima y zonas de vida, mediante el uso de la temperatura y la precipitación media, información base para utilizar el diagrama para clasificar las zonas de vida o formaciones del mundo, de L. R. Holdridge [4], el cual se muestra en el gráfico 2. La evaluación se da con base en la relación de los datos que se obtienen del diagrama enunciado y en los usos de suelo encontrados en la zona de estudio (ver tabla 13).

Tabla 12. Evaluación para el parámetro erosión

Tipo de erosión		Valoración	
Erosión hídrica	Superficial	Difusa	12
		Concentrada	18
	Sub-superficial	28	
	Subterránea	42	
	Erosión lateral	14	
Erosión eólica			
Sin erosión			

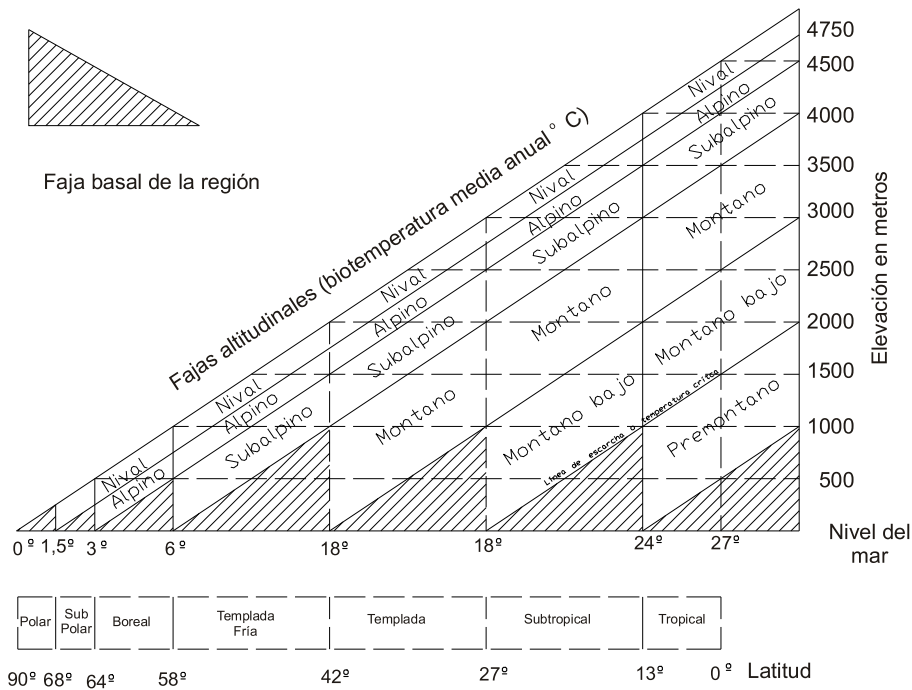


Gráfico 2. Diagrama para la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo (Holdridge, 1977) [4]

Tabla 13. Evaluación para el parámetro vegetación

Vegetación	Zonas de vida	Símbolo	Usos del suelo				
			Bosque natural	Bosque plantado	Rastrojo alto y bajo	Cultivos limpios	Pastos
	Páramos		0	4	9	18	25
Bosque seco	Montano bajo	bs-Mb	0	6	23	11	20
	Premontano	bs-Pm	0	6	6	14	14
	Tropical	bs-T	0	9	9	33	20
Bosque húmedo	Montano	bh-M	0	6	9	14	11
	Montano bajo	bh-MB	0	6	11	11	14
	Premontano	bh-PM	1	9	14	25	20
	Tropical	bh-T	1	9	17	28	14
Bosque muy húmedo	Montano	bmh-M	3	6	9	17	20
	Montano bajo	bmh-MB	3	6	11	23	25
	Premontano	bmh-PM	3	9	14	28	31
	Tropical	bmh-T	4	9	17	33	31
Bosque pluvial	Montano	bp-M	4	9	11	20	33
	Premontano	bp-PM	4	9	14	25	37
	Tropical	bp-T	5	9	17	31	39

III. ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

La evaluación de la Susceptibilidad Total (ST) consiste en la sumatoria de los siete parámetros descritos anteriormente, como se ve en (1), los cuales se ubican y califican como se indica en la tabla 14. La evaluación para esta zonificación se realiza y se clasifica en seis categorías.

$$ST = S_{mat} + S_{re} + S_{hmc} + S_{sis} + S_{int} + S_{ero} + S_{veg} \quad (1)$$

IV. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

Al observar los parámetros utilizados por Mora y Vahrson [1], se tomó la decisión de incluir el factor antrópico, que juega un papel muy importante en esta

clase de estudios, pues es un factor detonante; tomando en cuenta los resultados obtenidos para este factor por Millán (1998) [7], que se pueden observar en el gráfico 3, la estructura de la metodología para zonificación por amenaza se presenta a continuación.

A. Parámetro sismología (Asis)

Para realizar esta clasificación se debe efectuar un inventario de los sismos que se han presentado en un radio adecuado al estudio, el cual puede estar entre 50 y 100 km, dependiendo de su cercanía a problemas de fallamiento, de tal forma que se pueda realizar un análisis que permita elaborar una buena calificación de este parámetro de acuerdo con la escala de Mercalli, como se muestra en la tabla 15.

Tabla 14. Intervalos de evaluación para la susceptibilidad por FRM metodología propuesta

Categoría	Intervalo (ST)
I	< 100
II	100 - 135
III	135 - 165
IV	165 - 200
V	200 - 230
VI	> 230

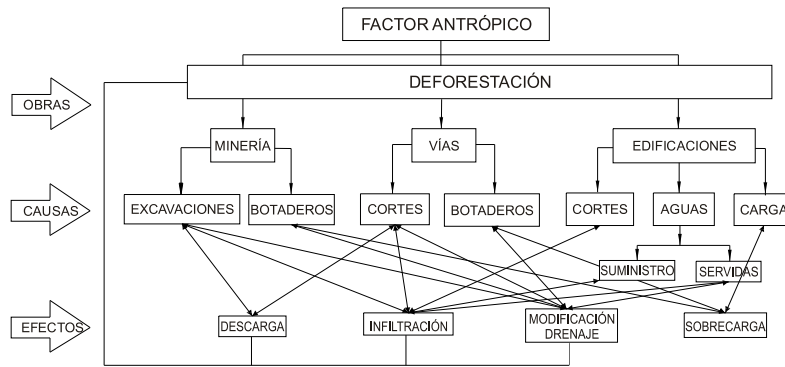


Gráfico 3. Factor antrópico como elemento generador de FRM [7]

Tabla 15. Calificación del factor sismicidad

Intensidades (Mercalli modificada)	Calificativo	Valor
I y II	Muy leve	0
III	Leve	1
IV	Muy bajo	2
V	Bajo	3
VI	Moderado	4
VII	Medio	5
VIII	Elevado	6
IX	Fuerte	7
X	Bastante fuerte	8
XI	Muy fuerte	9
XII	Extremadamente fuerte	10

B. Parámetro de lluvia detonante (Allu)

De acuerdo con estudios realizados por diferentes expertos, se plantea que gran parte de los FRM son accionados por precipitaciones extremas y por problemas de aguas en los taludes [8]. Mora nos presenta una forma fácil de apreciar esta clase de problemas mediante la utilización de un registro de

precipitaciones máximas diarias. Para estos registros se procederá a realizar un promedio, ya sea aritmético, para registros menores a 10 años, o por el método de Gumbel, para registros históricos mayores a 10 años; de esta manera, se hace una correlación de estos valores con su respectivo calificativo, con el cual podemos dar una evaluación para el sector (ver tabla 16).

Tabla 16. Calificación del factor lluvias

Lluvias máximas n>10 años y Tr 100 años	Lluvias máximas n > 10 años promedio (mm)	Calificativo	Valor
<100	<50	Muy bajo	1
100 – 200	50 – 90	Bajo	2
201 – 300	91 – 130	Medio	3
301 – 400	131 – 175	Alto	4
>400	> 175	Muy alto	5

C. Parámetro de efecto antrópico (Afa)

De acuerdo con lo ya expuesto, la evaluación de este parámetro consistirá en la relación existente entre las diferentes variables y el grado de afectación que se presente en la zona (ver tabla 17).

La ecuación (2) evalúa este parámetro,

$$Ea = (M + V + E + A) \quad (2)$$

Donde:

$$M = (a + b + c) \quad (3)$$

$$V = (d + e + f) \quad (4)$$

$$E = (g + h + i) \quad (5)$$

$$A = (j + k + l) \quad (6)$$

Según la evaluación encontrada, se debe realizar una clasificación de la amenaza por factor antrópico de acuerdo con los intervalos de la tabla 18, en la cual se obtendrá la valoración final para este parámetro.

Finalmente, la evaluación de la amenaza (A), como se muestra en (7), corresponderá al valor de la susceptibilidad multiplicado por los factores de amenaza antes evaluados, y sus intervalos de evaluación corresponderán a los presentados en la tabla 19.

$$A = ST * (Asis + Allu + Afa) \quad (7)$$

Tabla 17. Influencia del factor antrópico

Parámetro		Influencia en la zona		
		Baja	Media	Alta
Minería (M)	a. Explosiones	1	3	6
	b. Excavaciones	2	4	8
	c. Botaderos	2	4	8
Vías (V)	d. Cortes	3	6	9
	e. Botaderos	2	5	8
	f. Vibración por vehículos	2	5	8
Edificaciones (E)	g. Cortes	2	4	7
	h. Aguas	4	7	10
	i. Carga	1	5	8
Agricultura (A)	j. Sobre pastoreo	4	7	10
	k. Malas técnicas de cultivos	4	7	10
	l. Conflicto de uso de suelos	4	7	10

Tabla 18. Evaluación del grado de amenaza por FRM del factor antrópico

Grado de amenaza por factor antrópico (Fa)		
Intervalo	Categoría	Valoración
Baja	< 12	1
Media	dic-25	3
Alta	>25	5

Tabla 19. Intervalos de evaluación de la amenaza por el método Final

Categoría	Intervalo (A)
I	< 405
II	406 - 1400
III	1401 - 2050
IV	2051 - 4150
V	> 4150

V. CONCLUSIONES

Para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por FRM es importante asignar la escala de trabajo de acuerdo con el propósito del proyecto, los requerimientos y la aplicación que se le pretenda dar a los resultados, manteniendo siempre una relación costo-beneficio que garantice la aplicabilidad para la zona. Es también de vital importancia, para realizar una buena zonificación, contar con información necesaria, recursos financieros, tiempo y buen conocimiento del lugar de estudio. La escala de trabajo influye directamente sobre la información cartográfica que se va a utilizar, de tal forma que para las diferentes escalas se debe mantener en lo posible las siguientes relaciones: Escala regional a general, $< 1:100.000$, utilizada para delinear áreas con inestabilidades potenciales de un país, departamento o cuenca extensa; Escala intermedia, $1:25.000$ a $1:50.000$, se utiliza para elecciones de corredores, construcción de infraestructura y zonas para el desarrollo urbano; Escala grande, de $1:5.000$ a $1:10.000$, se utiliza para planeación detallada de proyectos domésticos, industriales o de infraestructura o para la evaluación de riesgos en una ciudad; Escala de detalle, $> 1:5.000$, utilizada para la evaluación de riesgo de obras de ingeniería.

Los métodos heurísticos de zonificación de la susceptibilidad y amenaza por FRM están basados en análisis cualitativos y fundamentados en la experiencia del grupo interdisciplinario de trabajo. Es importante que en la aplicación de esta metodología se realice un análisis comparativo con otras metodologías, y, a su vez, de acuerdo con la zona analizada, verificar sus resultados; de igual manera es importante mencionar que la metodología propuesta corresponde a una metodología de evaluación semicuantitativa, que permite la descripción de los diferentes problemas que se encuentran en una zona determinada.

En la propuesta para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por FRM se tienen una

serie de parámetros con pesos que se pueden variar, de acuerdo con la zona de estudio, mediante un fácil manejo proporcional; cada uno de estos parámetros se encuentran descritos por una serie de variables que son de fácil adquisición y manejo; a la vez, se toman intervalos de valuación de acuerdo con las propiedades físicas y geomecánicas del suelo.

REFERENCIAS

- [1] S. Mora y W. G. Vahrson, "Determinación 'a priori' de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos", *Tecnología ICE*, Vol. 3, N.º 1, 1993, pp. 32-42.
- [2] F. Ramírez y A. González, "Stability evaluation for homogeneous zones". In *Sount-American, Simposyun Landslides*. August. 10, 1989. Paipa, Colombia. Vol. 1, pp. 173-192.
- [3] G. Vargas y J. Gómez, *Estudio geoambiental y zonificación de amenazas por erosión y remoción en masa en la cuenca del río Teusacá*, 1999.
- [4] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, 1995.
- [5] R. Cortés, *Curso de educación continúa de estabilidad de taludes*. 1992.
- [6] Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-1998, Título A.
- [7] J. A. Millán López, *Lineamientos metodológicos para la evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa*. Tesis Universidad Nacional de Colombia, unidad académica de Geotecnia, 1998.
- [8] Sociedad Colombiana de Geotecnia. *Tercer simposio panamericano de FRM. Memorias*. Volúmenes 1 y 2. Cartagena, Colombia, 2001.

