CLASIFICADO

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
GOBIERNO SEGURIDAD Y CONVIVENCIA
Fondo de Prevención y
Atención a Emergencias

COMPILACIÓN, VERIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLANO NORMATIVO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE BOGOTÁ D.C.

ORIGINAL
PARTE 1 DE DOS PARTES

MARZO DE 2010

NOTA ESPECIAL: DE ACUERDO CON EL ARTÍCULO 20 DE LA LEY 23 DE 1982, LOS DERECHOS DE AUTOR PERTENECEN AL FOPAE.
LA SOLICITUD DE REPRODUCIR ESTE DOCUMENTO PARCIAL O TOTALMENTE, SE DEBEN DIRIGIR POR ESCRITO AL DIRECTOR DEL FOPAE

Diagonal 47 No. 77B -09 Interior 11 - Conmutador: 4292801 Fax. 4292833 - Bogotá D.C. - Colombia
página web: www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co mail: fopae@fopae.gov.co

CLASIFICADO

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
GOBIERNO SEGURIDAD Y CONVIVENCIA
Fondo de Prevención y
Atención a Emergencias

LUIS JAIRO PÉREZ BELLO
INGENIERO GEÓLOGO
ESPECIALISTA EN EVALUACIÓN DE RIESGOS (TÍTULO POR OPTAR)

JUAN PABLO GAONA
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA GEOTECNIA (TÍTULO POR OPTAR)

ÁNGELA TERESA BLANCO FIGUEROA
INGENIERA CATASTRAL Y GEODESA
ESPECIALISTA SIG

CARRERA 18 Nº 59 – 39, Of. 301
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA

COMPILACIÓN, VERIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLANO NORMATIVO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE BOGOTÁ D.C.

ORIGINAL
PARTE 1 DE DOS PARTES

MARZO DE 2010

NOTA ESPECIAL: DE ACUERDO CON EL ARTÍCULO 20 DE LA LEY 23 DE 1982, LOS DERECHOS DE AUTOR PERTENECEN AL FOPAE.
LA SOLICITUD DE REPRODUCIR ESTE DOCUMENTO PARCIAL O TOTALMENTE, SE DEBEN DIRIGIR POR ESCRITO AL DIRECTOR DEL FOPAE

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. GOBIERNO SEGURIDAD Y CONVIVENCIA Fondo de Prevención y Atención a Emergencias	Compilación, verificación y evaluación de la información técnica para la actualización del Plano Normativo de Amenaza por Remoción en Masa de Bogotá D.C. – 2010

COMPILACIÓN, VERIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLANO NORMATIVO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE BOGOTÁ D.C.

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá D.C. – FOPAE
Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAE
Diagonal 47 No. 77 B – 09 Interior 11
PBX 4292801
www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co
Bogotá – Colombia

Director: Ing. Guillermo Escobar Castro
Responsable Área Técnica y de Gestión: Ing. Lucy González
Coordinación de Investigación y Desarrollo: Ing. Gladys Puerto
Responsable Grupo de Estudios Técnicos: Ing. Dulfay Ortiz

Elaborado por:
Ing. Luis Jairo Pérez Bello – Esp. Evaluación de Riesgos (Título por optar)
Ing. Juan Pablo Gaona – Esp. Geotecnia (Título por Optar)
Ing. Ángela Teresa Blanco Figueroa – Esp, SIG

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
GOBIERNO SEGURIDAD Y CONVIVENCIA
Fondo de Prevención y
Atención a Emergencias

TÍTULO Y SUBTÍTULO

COMPILACIÓN, VERIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLANO NORMATIVO DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA DE BOGOTÁ D.C.

AUTOR

LUIS JAIRO PÉREZ BELLO, Ingeniero Geólogo, Especialista en Evaluación de Riesgos y Prevención de Desastres (Título por optar. JUAN PABLO GAONA, Especialista Geotecnia (Título por Optar). ÁNGELA TERESA BLANCO FIGUEROA, Especialista SIG.

RESUMEN

En este informe se actualiza la "Zonificación del plano normativo de amenaza por remoción en masa en Bogotá D. C." elaborado para la DPAE en el año de 1998 e identifica la secuencia y criterios a tener en cuanta para la actualización periódica del producto.

PALABRAS CLAVE

Zonificación, Amenaza, remoción en masa, planificación, zonas de ladera, Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Suba, Rafael Uribe Uribe, Ciudad Bolívar

TÉRMINOS PARA GLOSARIO E ÍNDICE

Remoción en masa, zonificación de amenaza

CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD	CONTRATO	IDIOMA	NÚMERO DE PÁGINAS	NÚMERO DE COPIAS
CLASIFICADO	PS-380-09	Español	152	1
CLASIFICADO	PS-382-09	Español	152	1
CLASIFICADO	PS-506-09	Español	152	1

OBSERVACIONES

RESUMEN

El presente informe tiene como propósito la realización de la compilación, verificación y evaluación de la información técnica para la actualización del plano normativo de amenaza por remoción en masa.

El informe plantea como productos principales la obtención, mediante metodología examinada y validada por parte de la supervisión técnica de la DPAE, del mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa.

Asimismo, se desliga como otro de los resultados, la propuesta de una metodología para la actualización periódica del mapa de amenaza por remoción en masa – dado su carácter dinámico -a partir, ante todo, de los insumos que la misma entidad genera como lo son los conceptos técnicos de legalización de barrios y/o planes parciales, diagnósticos y estudios detallados de amenaza y riesgo.

Para la ejecución del estudio se consideraron diferentes metodologías de evaluación de amenaza aplicables a la escala que un instrumento de esta naturaleza demanda; la mayoría de las revisadas corresponden a metodologías cualitativas, la mayoría de las cuales resultaban útiles para trabajos de menor escala y rigor. En consecuencia, se optó por emplear una metodología que de probada validez para el medio local aunque adaptada y ajustada en ponderadores, criterios y calificadores de acuerdo con la experticia del consultor. Es así, que se decidió emplear una adaptación de la metodología SES (Ramírez, 1989) con las adaptaciones que en su oportunidad se explicarán.

A fin de proceder con la estimación de amenaza por remoción en masa mediante la metodología indicada y una vez validada por la DPAE, se procedió a integrar y validar la información de cada fuente, así:

Tabla 1. Tipo y fuentes de información

VARIABLE	FUENTE	TIPO DE INFORMACIÓN	ESCALA
Material	DPAE Ingeocim Ltda. IGL GeoIngeniería Ltda. Ingetec (EAAB) Ingeominas	Geología Rasgos estructurales	1:10000 1:5000 1:25000
Erosión	DPAE Ingeocim IGL Tesis	Cartografía	1:2000 1:10000
Relieve	IGAC	Topografía (curvas	1:5000

VARIABLE	FUENTE	TIPO DE INFORMACIÓN	ESCALA
	EAAB Ingeocim	de nivel)	1:10000
Drenaje	EAAB SDA	Trazado drenajes ZR y ZMPA	1:2000
Uso del Suelo y Cobertura Vegetal	SDA CAR SDP IDU EAAB	Usos urbanos Unidades de vegetación Trazado y estado de vías drenaje	1:1000 a 1:25000
Clima	IDEAM EAAB CAR Ingeocim	Registros de precipitaciones Lluvia crítica y periodos de retorno	Sin
Factor **A**ntrópico	Ingeocim, IGL EAAB IDU SDA SDP	Tipo y grado de intervención en: ⊙Urbanismo ⊙Vías ⊙Redes hidrosanitarias ⊙Rondas de cauces ⊙Minería	1:1000 a 1:25000
Sismicidad	Ingeominas, Uniandes	Microzonificación sísmica	1:40000
Procesos morfodinámicos	⊙Ingeocim, IGL, GeoIngeniería ⊙Lozano y Fierro ⊙U Nal. - DPAE ⊙Palomino Espitia, Ernesto	⊙Aproximación a la cuantificación de pasivos ambientales ⊙Análisis e Investigación de procesos de Flujos de detritos como eventos generadores de riesgo en la cuenca alta del Río San Cristóbal ⊙Consultoría para la caracterización de procesos geomorfológicos	Varias

VARIABLE	FUENTE	TIPO DE INFORMACIÓN	ESCALA
		de ladera en las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar con miras a actualizar los planos normativos 4 y 5	

Se examinó la esencia y la aplicabilidad de varias metodologías, centrando la atención en los requerimientos de información, escala de aplicación y validez de su uso en el marco territorial de estudio, todo sobre la base de la experticia del autor.

Como resultado se empleó la metodología de Ramírez (1989) denominada Sistema Semicuantitativo de Estabilidad con una serie de adaptaciones al medio en estudio; por esto y por que ya se ha identificado otra modificación de la metodología (Ingeocim Ltda., 1998) se decidió denominar la metodología como MERDUCAS por las iniciales de las variables que emplea.

En efecto, el nombre, y por ende las variables, se organizaron de tal modo que, además, define la susceptibilidad de la ladera a sufrir eventos de inestabilidad al dividirla en factores intrínsecos y factores extrínsecos, así:

F. INTRÍNSECOS		F. EXTRÍNSECOS	
M	Material	**U**	Uso del suelo
E	Erosión	**C**	Clima
R	Relieve	**A**	Factor antrópico
D	Drenaje	**S**	Sismicidad

Para cada una de las variables, se define, además, parámetros y criterios de evaluación con base en los cuales se les asignó los Calificadores de Estabilidad (CE). Esta es una metodología de naturaleza acumulativa en la que cada variable obtiene los mayores CE para las condiciones o parámetros que favorecen la estabilidad en tanto asigna valores bajos (pero siempre mayores a cero) para las condiciones más desfavorables.

En su estimación siempre se busca que un parámetro no se evalúe más allá de lo estrictamente necesario e idealmente no más de una vez, así por ejemplo, la pendiente del terreno se consideró únicamente en la variable Relieve, a diferencia de la metodología SES que además la valora en la variable Drenaje.

Este ejercicio permitió generar mapa por cada variable. Al final, se integraron en SIG la totalidad de las variables para obtener un mapa de estabilidad global definida mediante un CE_G como la sumatoria de los CE individuales (ΣCE_i).

Sobre el hecho de que los CE_G obtenidos corresponden a una distribución normalizada se dio un tratamiento estadístico para determinar los límites de las categorías de amenaza.

Sobre el producto así obtenido, se procedió a montar y superponer zonificación derivada en su orden de las siguientes fuentes: procesos morfodinámicos, estudios detallados de amenaza por remoción en masa, suelos de protección por riesgo, diagnósticos y conceptos técnicos de legalización de barrios y planes parciales.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 15

1.1 ANTECEDENTES 15
1.2 OBJETO 17
1.3 JUSTIFICACIÓN 18
1.4 ALCANCE 18
1.5 MARCO GEOGRÁFICO 19
1.6 MARCO NORMATIVO 19
1.7 ESTRUCTURACIÓN DEL INFORME 20

2 METODOLOGÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA 22

2.1 NECESIDADES DE INFORMACIÓN 22
2.1.1 ESCALAS DE TRABAJO 23
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA 23
2.3 ÁREAS SIN INFORMACIÓN DETALLADA 28

3 INVENTARIO DE METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE AMENAZA 29

3.1 METODOLOGÍA DE CORTÉS (1989) 29
3.1.1 CONCEPTOS MORFOGENÉTICOS 29
3.1.2 MORFOMETRÍA DE VERTIENTES Y LADERAS 30
3.1.3 CLASIFICACIÓN GEOMÓRFICA DE TERRENOS 30
3.1.4 CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES DE ESTABILIDAD 32
3.1.5 CLASIFICACIÓN DE ZONAS GEOTÉCNICAMENTE HOMOGÉNEAS 33
3.2 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD PARA ZONAS HOMOGÉNEAS (RAMÍREZ, ET. AL., 1989) 33
3.3 APLICACIÓN DE LOS SITEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (ESCOBAR, 1992) 35
3.3.1 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE REMOCIÓN EN MASA (MRM) 36
3.3.2 MAPA DE ACTIVIDAD DE MRM 36
3.3.3 DENSIDAD DE MRM 37
3.3.4 MAPA CUANTITATIVO DE SUSCEPTIBILIDAD 37
3.3.5 MAPA SEMICUANTITATIVO DE AMENAZA 38
3.3.6 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZAS SIMPLES 38
3.3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIABLE 38
3.4 ANÁLISIS DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS (HANSEN, 1984) 39
3.4.1 FUENTES DE DATOS PARA INFORMACIÓN 40
3.4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS 41
3.4.3 MAPAS DIRECTOS 42
3.4.4 MAPAS INDIRECTOS 42

3.5 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA AMENAZA `POR DESLIZAMIENTOS, MAMELHAZ, (MORA ET. AL., 1992) 43
3.5.1 INDICADOR DE SUSCEPTIBILIDAD (SUSC) 45
3.5.2 INDICADOR DE DISPARO (TRIG) 45
3.5.3 DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS 46
3.6 AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS (SALINAS, 1991) 46
3.7 ANALISIS DE AMENAZA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (VAN WESTEN, 1989) 49
3.7.1 ESCALA REGIONAL (1:250.000 – 1:100.000) 49
3.7.2 ESCALA MEDIA (1:50.000 – 1:25.000) 49
3.7.3 GRAN ESCALA (1:10.000 - 1:5.000) 50
3.8 ZONIFICACION DE LA AMENAZA DEBIDA A LOS DESLIZAMIENTOS (VARNES, 1984) 50
3.8.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS Y PROCESOS 51
3.8.2 INVESTIGACIONES Y DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA 52
3.9 METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE MAPAS DE RIESGO (VARGAS, 1991) 53

4 DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN MERDUCAS 55
4.1 INTRODUCCIÓN 55
4.1.1 CONSIDERACIONES BÁSICAS DE ESTABILIDAD DE LADERAS 59
4.1.2 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE 60
4.1.3 IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR GENERAL DEL RIESGO ACTUAL 61
4.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA 61
4.2.1 EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA PRELIMINAR 62
4.2.2 VARIABLES, PONDERADORES Y EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD 63
4.2.3 CRITERIOS DE APLICACIÓN 65
4.3 APLICACIÓN DEL MODELO MERDUCAS 109
4.3.1 MATERIAL (M) 110
4.3.2 EROSIÓN (E) 123
4.3.3 RELIEVE (R) 124
4.3.4 DRENAJE 125
4.3.5 USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL 126
4.3.6 CLIMA 127
4.3.7 FACTOR ANTRÓPICO 129
4.3.8 SISMICIDAD 131

5 PROCESOS MORFODINÁMICOS (PM) 132
5.1 CRITERIOS 132

6 RESULTADOS Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 134
6.1 APLICABILIDAD 134
6.2 METODOLOGÍA 134

6.3 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE ESTABILIDAD 136

7 CONCLUSIONES 138

8 RECOMENDACIONES 144

9 BIBLIOGRAFÍA 146

ANEXO A: EVALUACIÓN DE MATERIAL RESUMEN DE CODIFICACIÓN DE MATERIAL

ANEXO B: TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

ANEXO C: MAPAS

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1	Flujograma del Proceso de Actualización del Plano de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa	11
Figura 2	Escala o perfil de meteorización en roca según Dearman (1974)	71
Figura 3	Tipos de Formaciones de suelo, Tomado de Duque Villegas	78
Figura 4	Perfil hipotético de relieve de Dalrymple	79
Figura 5	Rasgos geomorfológicos para definir unidades de Relieve	80
Figura 6	Relación entre los deslizamientos y lluvia acumulada	92
Figura 7	Esquema de parámetros que intervienen en la estimación de Factor Antrópico	104
Figura 8	Distribución de datos de pendiente ladera Vs espesor depósitos	107
Figura 9	Distribución de datos de pendiente Vs. espesor (m) para depósito coluvial	108
Figura 10	Mapa geológico área de estudio	114
Figura 11	Distribución frecuencias de densidad de drenaje en Bogotá	125
Figura 12	Lluvia acumulada detonante Vs. Duración en la localidad de Usme	129
Figura 13	Relaciones de lluvias críticas para Bogotá D.C., Ingeocim Ltda. 1998	130
Figura 14	Distribución normalizada de frecuencias de los Calificadores de Estabilidad (CE)	135
Figura 15	Distribución normalizada de frecuencias de los Calificadores de Estabilidad (CE)	137
Figura 16	Comparación de áreas de amenaza entre evaluación actual y la del POT	138

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1	Tipo y Fuentes de Información	5
TABLA 2	Clasificación de vertientes o laderas según forma y drenaje	28
TABLA 3	Clasificación de la pendiente Cortés (1989)	28
TABLA 4	Parámetros y factores de evaluación metodología de Ramírez	32
TABLA 5	Categorías de Estabilidad y descripción	32
TABLA 6	Clasificación del grado de amenaza según Salinas	46
TABLA 7	Peso Específico (PE) por Pendiente (metodo Salinas)	46
TABLA 8	Peso Específico (PE) por Unidad Geomorfológica	47
TABLA 9	Peso Específico (PE) por Unidad Superficial	47
TABLA 10	Peso Específico (PE) por Proceso Erosivo	47
TABLA 11	Peso Específico (PE) por Grado de Recurrencia	47
TABLA 12	Variable y parámetros considerados en la metodología Merducas	57
TABLA 13	Variables a evaluar en la metodología Merducas	63

TABLA 14	Ponderadores de evaluación en la metodología Merducas	64
TABLA 15	Modelo Merducas, Resumen de variables, adaptado de SES, Ingeocim 1998	67
TABLA 16|	Modelo Merducas, Resumen de variables, adaptado de SES, Ingeocim 1998	71
TABLA 17	Descripción de los perfiles de meteorización (Deere & Patton)	72
TABLA 18	Calificador de Estabilidad (CE) para la variable Material (M) en caso de material intermedio	73
TABLA 19	Clasificación de influencia de las estructuras tectónicas para Material Intermedio	73
TABLA 20	Afectación del Calificador de Estabilidad (CE) para Material Intermedio por presencia de estructuras heredadas	75
TABLA 21	Codificación de suelos residuales	76
TABLA 22	Codificación de suelos transportados por agente de depositación	76
TABLA 23	Codificación de suelos transportados por agente de depositación	76
TABLA 24	Asignación Calificador de Estabilidad (CE) del mapa erial	78
TABLA 25	Criterios para aplicación del CE para unidades de Relieve	79
TABLA 26	Criterios para estimación de CE para Drenaje según su densidad	83
TABLA 27	Parámetros y Criterios para estimación de CE para la variable Uso del Suelo y Cobertura Vegetal	87
TABLA 28	Valoración y estimación de CE para variable Clima	95
TABLA 29	Valoración y estimación de CE para variable Factor Antrópico	101
TABLA 30	Coeficientes espectrales de diseño. Fuente: Ingeominas, 1997.	107
TABLA 31	Datos de espesores de material de depósitos	108
TABLA 32	Criterios para estimación de CE para Sismo	110
TABLA 33	Síntesis de unidades estratigráficas	111
TABLA 34	Síntesis de unidades estratigráficas	113
TABLA 35	Franjas de influencia utilizadas según el tipo y persistencia de la estructura	117
TABLA 36	Rangos de densidad de fracturamiento	118
TABLA 37	Asignación de Códigos y CE por tipos de roca	118
TABLA 38	Asignación de Códigos para las unidades de roca en el área de estudio	119
TABLA 39	Calificación simplificada para suelos transportados como Material Intermedio	121
TABLA 40	Calificación para suelos transportados como Material Intermedio, afectada por densidad de estructuras heredadas	121
TABLA 41	Asignación de Códigos y CE para las unidades de Material Intermedio en el área de estudio	121
TABLA 42A	Codificación de Suelo en el modelo Merducas	123

TABLA 42B	CE para los suelos en el Distrito, Variable Material, en el modelo Merducas	123
TABLA 43	Asignación de Códigos y CE para las unidades de Suelo (variable Material) en el área de estudio	124
TABLA 44	Valores de precipitación acumulada asociados a emergencias por deslizamientos en la localidad de Usme	129
TABLA 45	Rangos de Categorización de Amenaza	139
TABLA 46	Distribución areal de amenaza POT y Amenaza estudio	140

1 INTRODUCCIÓN

Se presenta en calidad de prolegómeno un apartado centrado en siete (7) ejes, a saber:

i) Antecedentes,
ii) Objetivo,
iii) Justificación,
iv) Alcances,
v) Marco geográfico,
vi) Marco normativo, y
vii) Estructuración del informe

1.1 ANTECEDENTES

Se hace a manera de prolegómeno
El 43% de las emergencias que afectaron a Bogotá entre 1999 y 2009 fueron desencadenadas por eventos de inestabilidad. Esa cifra podría entenderse en ciudades "de montaña", pero resulta más difícil explicarla en una ciudad aparentemente "plana" como Bogotá.

Para explicarlo, basta reconocer que no toda la ciudad es plana y que por el contrario 11.500 hectáreas del territorio que hoy ocupa la Bogotá urbana se desarrollan sobre las faldas de los cerros orientales y surorientales y sobre los cerros de Suba. Una buena proporción de esos terrenos de ladera se consideran de **alta amenaza** por procesos de remoción de masa, de los cuales más de una tercera parte se encuentra habitada. Esto quiere decir que hay cerca de 500.000 personas expuestas a deslizamientos, muchos de ellos residentes en asentamientos informales.

Los conquistadores españoles diseñaron a Santa Fé según especificaciones de Sebastián de Belalcázar, en un terreno *"con alturas que ha menester y lo que no ha menester que le hiciera las calles dificultosas de andar"*, situado entre las fuertes pendientes del cerro de Guadalupe y las tierras inundables de las partes más bajas"[1], lejos de los principales asentamientos de los muiscas, ubicados entonces en lo que hoy son Bosa, Engativá y Fontibón. "En el piedemonte de los cerros orientales no había, al parecer, asentamientos de importancia".[2] Los muiscas sabían mejor que los españoles –y que nosotros: descendientes de ambos- a dónde podían encaramarse y a dónde no (Wilches, 2004).

Sin embargo, según relatan los historiadores de la ciudad, al poco tiempo de asentarse

[1] ESCOVAR, Alberto; MARIÑO, Margarita; PEÑA, César, "Atlas de Bogotá". Planeta – Corporación La Candelaria, Bogotá, 2004. Página 22
[2] VILLEGAS Editores, "Cerros de Bogotá". Bogotá, Julio 2000. Página 116

allí los españoles comenzaron a crecer en los cerros los barrios “informales”, asociados “desde los primeros años al trabajo de la población marginada, consistente en el abastecimiento de leña y agua, y la explotación de chircales y tejares necesaria para la construcción y para el funcionamiento de la ciudad.”[3]

Es decir, que el deterioro de los cerros y la marginalización de una gran parte de la población, fueron y siguen siendo, dos procesos que avanzan de la mano, aun hoy, cuando la migración de familias desplazadas a las grandes ciudades incrementa la vulnerabilidad de todo el conjunto social.

Cientos de antecedentes de eventos de inestabilidad a lo largo de decenios con consecuencias a un alto costo económico y social, ponen de manifiesto la necesidad de contar con unos instrumentos normativos en el planeamiento y condicionamiento en los usos del suelo como una primera herramienta en la prevención y en la gestión en el uso del suelo.

El insumo primario para este propósito es el de zonificación de amenaza por remoción en masa identificado en el Plan de Ordenamiento Territorial como el Plano Nº 3. Éste, delimita zonas con calificación de amenaza homogénea dentro de ciertos rangos o intervalos. De esta manera se establecen categorías de amenaza alta, media y baja.

No obstante, teniendo en cuenta el nivel y detalle de la información que sirvió de sustento para la zonificación, se entiende las limitaciones que esto representa; lo anterior permitió que se estableciera la zonificación de amenaza para el área urbana y de expansión del Distrito a escala 1:10.000.

Con este objetivo, se integraron las zonificaciones obtenidas a través de tres (3) contratos de consultoría que el FOPAE adelantara en 1997 con las firmas Ingeocim Ltda., Investigaciones Geotécnicas Ltda. (IGL) y GeoIngeniería Ltda. Es pertinente señalar que las metodologías empleadas en cada caso son abiertamente diferentes si bien se apoya en tipo y calidad de información similar.

Se trata de un insumo que fue elaborado a una escala semiregional lo que supone –como efectivamente se advierte- que se puede mejorar el nivel de resolución o escala del producto en la medida en que se cuente con información temática a mayor escala, tal como topografía, geología, identificación y delimitación de procesos geomorfológicos, caracterización de las cuencas y densidad de drenaje, influencia de las precipitaciones, efectos antrópicos, etc. Su importancia radica en que se trata de un instrumento de decisión en la gestión en el uso del suelo para las autoridades de planeación (SDP y curadurías urbanas).

El análisis de amenaza es una tarea compleja tanto como se quiera hacer más detallado, dado que muchos factores pueden jugar un papel importante en la ocurrencia del fenómeno (evento). El análisis demanda así de una gran cantidad de

[3] ESCOVAR, Alberto et. al., Op. Cit., Pág. 24

información y las técnicas de análisis pueden ser diversas y costosas además de requerir una gran cantidad de tiempo.

La condición de amenaza por inestabilidad en un entorno territorial depende de toda una gama de variables bajo unos parámetros (factores) y criterios específicos a tener en cuenta; su selección y evaluación se torna compleja y su resolución está estrechamente ligada con la técnica de evaluación y la escala de trabajo. En el caso de este trabajo se empleó una adaptación del Sistema de Evaluación Semicuantitativo de Estabilidad SES (Ramírez, 1989) y como parámetro de calibración el mapeo el procesos morfodinámicos; por la serie de adaptaciones que se hicieron a esta metodología y al existir una metodología SES modificada (Ingeocim, 1998), a lo largo de este documento se le denominará MERDUCAS, nombre que recoge las variables empleadas y las agrupa como factores intrínsecos y factores extrínsecos.

La evaluación más sencilla de la precisión y que como mínimo debe usarse, es la comparación de las zonas de amenaza con el inventario de FRM cartografiados. Ésta se basa en la hipótesis de que los deslizamientos tomen lugar en laderas que han sufrido fenómenos de remoción en masa. No obstante este procedimiento no debe aplicarse cuando la zonificación es hecha con técnicas que parten del inventario de FRM como base del estudio.

1.2 OBJETO

El presente informe tiene como propósito presentar y documentar la síntesis de las actividades, metodologías empleadas y los resultados obtenidos en cumplimiento del contrato PS-380-09 cuyo objeto es “Realización de la compilación verificación y evaluación de la información técnica para la actualización del Plano Normativo de Amenaza por Remoción en Masa”. En ese contexto, el presente documento pretende desarrollar el marco metodológico que establezca los criterios, decisiones involucradas y secuencia o procedimiento a seguir en cada caso.

En tal sentido, se presenta el sustento para ilustrar y describir de manera detallada la base teórica y los pasos a seguir a efectos de indicar la metodología general a desarrollar para la actualización del mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa del Distrito con el propósito de cumplir con las provisiones que en materia normativa le imponen tanto el Decreto Distrital 190 de 2004, como el Decreto Distrital 332 de 2004.

Entre otros, la elaboración del presente informe y sus productos persigue como objetivos:

- Proporcionar un insumo en el cumplimiento de las funciones misionales de la entidad como cuerpo rector en la gestión del riesgo en el Distrito, tal es el caso de la compilación y actualización de la zonificación de amenaza por remoción en masa

- Identificar y proponer las metodologías para la actualización periódica del mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa y la propia para evaluación y zonificación de amenaza

- Identificar las diferentes zonas de amenaza, delimitando aquellas que por su condición deben ser restringidas o condicionadas para asignarle cualquier tipo de uso urbano

- Definir y presentar una metodología que facilite posteriores actualizaciones de la zonificación de amenaza

- Proporcionar un insumo cuya confiabilidad constituya una herramienta de utilidad para la planificación y gestión en el uso del territorio

- Sirva de herramienta en la toma de decisiones en la gestión del riesgo como el quehacer de la entidad

1.3 JUSTIFICACIÓN

La intervención en un predio potencialmente desarrollable está condicionada a su localización dentro de las zonas de amenaza, buscando ante todo garantizar que el desarrollo de tal predio brinde condiciones de seguridad para el mismo, el entorno y la infraestructura existente así como para las personas dentro del área de influencia.

Una de las metas del componente 4 del objetivo general del Proyecto de Inversión 0561 "*Fortalecimiento de la Capacidad Técnica y Social para la Prevención y Manejo de! Riesgo*" articulado en el Programa "*Bogotá Responsable ante el Riesgo y las Emergencias*" del Plan de Desarrollo "Bogotá Positiva: Para Vivir Mejor" contempla la "*Evaluación y/o Zonificación de Amenazas y/o Vulnerabilidades y Riesgos*" y como función misional, el artículo 134 (Áreas urbanas por fenómenos de remoción en masa) del Decreto Distrital 190 de 2004, que compila el Plan de Ordenamiento Territorial, consagra, "*… La Dirección de Prevención y Atención de Emergencia (DPAE) mantendrá actualizada la información relacionada con las áreas urbanas en amenaza por fenómenos de remoción en masa*."; asimismo, el Artículo 137 (Áreas rurales en amenaza por remoción en masa) del Decreto 190 de 2004 establece que *la Dirección de Prevención y Atención de Emergencia (DPAE) ampliará la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa en las zonas rurales del Distrito Capital, no cubiertas por el mapa actual en el mediano plazo.*

1.4 ALCANCE

El trabajo se desarrolló desde dos ópticas generales: i) la metodología empleada para realizar la actualización del plano de amenaza describiendo, para el efecto, los pasos y criterios generales y ii) la descripción propiamente de la metodología empleada para la

realización de las zonificación de amenaza en aquellas zonas, donde se precisa modificarlas; esto mismo se ve reflejado en el documento.

Como resultado final el documento identifica, describe y aplica la metodología para llegar a establecer la zonificación final de amenaza por remoción en masa para el área de estudio a escala o nivel de componente o unidad de terreno (Escala 1:5.000) en los términos que se describen en el numeral 3.1.3.

Pretende indicar, sobre la base de las limitaciones que se lleguen a identificar, cuál constituye el detalle y la escala de los trabajos realizados. Se identifica e indican las necesidades de información o trabajos adicionales que se demanden a fin de ajustar los productos puntualmente en el tiempo y/o el espacio.

1.5 MARCO GEOGRÁFICO

La evaluación se circunscribe al área que abarca el actual mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá que consiste en la zona de ladera del suelo urbano y de expansión urbana de las localidades de Usaquén, Chapinero, Santafé, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Suba, Usme y Ciudad Bolívar así como parte del área rural de las dos últimas. Adicionalmente, se le incorporó un área en la localidad de Tunjuelito correspondiente a los socavones que se inundaron en julio de 2004 como consecuencia de la rotura de los tabiques - por cuenta de las crecientes asociadas a las intensas precipitaciones - que separaban muchas de las gravilleras del río Tunjuelo y que por lo mismo terminó intercomunicándolas. El estudio cubre un área total de 31.069,86 Ha.

1.6 MARCO NORMATIVO

La obligación de mantener actualizada la zonificación de amenaza por remoción en masa están contenidas en las provisiones del Plan de Ordenamiento Territorial (Decreto 190 de 2004), y de manera más específica los artículos 134 y 138:

> "***Artículo 134. Áreas urbanas en amenaza por remoción en masa*** *(artículo 78 del Decreto 619 de 2000).*
> *…*
> *Las áreas a que hace referencia el presente artículo se encuentran identificadas en el plano Nº 4 (sic) denominado "Amenaza por remoción en masa", el cual hace parte del presente Plan. La Dirección de Prevención y Atención de Emergencia (DPAE) mantendrá actualizada la información relacionada con las áreas urbanas en amenaza por fenómenos de remoción en masa.*"
> *[…]*
> "***Artículo 138. Zonas prioritarias sujetas a análisis de riesgo en el D. C****. (artículo 82 del Decreto 619 de 2000).*
>
> *La Dirección de Prevención y Atención de Emergencia (DPAE) complementará*

progresivamente los estudios para mantener actualizada la información que permita definir y adelantar acciones para la mitigación de riesgo en zonas identificadas de Riesgo de Remoción en Masa. Los estudios de riesgo permitirán actualizar la información sobre familias en alto riesgo no mitigable, por fenómenos de remoción de masa e inundación objeto del programa de reasentamientos y definidos en el Mapa de Zonas de Protección Actual por Riesgo.".
[…]

"***Artículo 146. Suelo de protección*** *(artículo 90 del Decreto 619 de 2000).*
…
Parágrafo 2. (Modificado por el artículo 116 del Decreto 469 de 2003). *La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE) complementará y actualizará periódicamente la información sobre delimitación de las zonas a declarar como suelo de protección por su condición de alto riesgo no mitigable. La determinación de tal riesgo obedecerá a resultados de estudios de riesgos y evaluación de alternativas de mitigación. Con base en estos estudios, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, elaborará el concepto técnico que delimite estas zonas, las cuales serán incluidas por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital en el plano denominado "Suelo de protección por riesgo de remoción en masa e inundación" y en el Anexo No. 2 del Decreto 619 de 2000.* ".
Subrayado fuera de texto

1.7 ESTRUCTURACIÓN DEL INFORME

Para su presentación y a efectos de un mejor entendimiento del contenido del presente informe, este se presenta en ocho (8) capítulos, los cuales en forma detallada presenta el sustento normativo, descripción técnica, datos o información procesada, resultados obtenidos.

El informe presenta en forma detallada el sustento normativo, descripción técnica, datos o información procesada, resultados obtenidos. Para su presentación y a efectos de un mejor entendimiento del contenido del presente informe, este se presenta en Resumen y ocho (8) capítulos definidos así:

- **CAPÍTULO 1.** INTRODUCCIÓN: contiene antecedentes generales, marco contractual, objeto, justificación, alcance, marco normativo, etc.

- **CAPÍTULO 2.** METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA. Describe e ilustra el proceso mediante el cual se propone actualizar el producto obtenido en desarrollo de este trabajo; de igual manera propone la periodicidad para hacerlo.

- **CAPÍTULO 3.** INVENTARIO DE METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A ESCALA REGIONAL O SEMIREGIONAL. Explora en la literatura y recopila varias de las metodologías empleadas para evaluaciones y zonificaciones de amenaza por movimientos en masa aplicables mediante técnicas de aproximación semicuantitativa o cualitativa

- **CAPÍTULO 4.** DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN CON METODOLOGÍA MERDUCAS. Se identifica y propone la metodología más adecuada para la escala necesaria y con el tipo y calidad de información disponible. Examina en detalle el funcionamiento de la metodología.

- **CAPÍTULO 5.**: RESULTADOS. Se recopila y presenta los resultados obtenidos

- **CAPÍTULO 6.**: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. Se relacionan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

2 METODOLOGÍA PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

En este capítulo se identifica y se describe la metodología a seguir para que la entidad periódicamente proceda a la actualización del mapa de zonificación de amenaza a partir de la información que la DPAE de manera directa o a través de consultores externos vaya generando a lo largo del tiempo.

Para su aplicación, es la entidad la que debe definir la periodicidad con la que se efectúa tal actualización, teniendo en cuenta las disposiciones en la materia y de manara particular el artículo 134 del Decreto Distrital 190 / 2004, que en concreto dispone "*La Dirección de Prevención y Atención de Emergencia (DPAE) mantendrá actualizada la información relacionada con las áreas urbanas en amenaza por fenómenos de remoción en masa*". A fin de hacer de este un ejercicio regular pero que a su vez no represente un desgaste significativo, se considera adecuado hacer tal actividad bianual.

2.1 NECESIDADES DE INFORMACIÓN

Se hará uso de información de diferentes fuentes, diversas escalas, detalles y entidades.

Las fuentes primarias de documentación consisten en:

- Texto
- Cartografía
- Estudios
- Metodologías de evaluación / zonificación de amenaza por remoción en masa

De acuerdo con lo indicado, esta información se consultará en las siguientes fuentes directas:

- Dirección de Prevención y Atención de Emergencias
  - Conceptos Técnicos, con énfasis en las zonificaciones establecidas en los conceptos de legalización y planes parciales
  - Diagnósticos
  - Estudios de riesgo efectuados por consultores a través del FOPAE
  - Estudios particulares de riesgo para trámite de licencias urbanísticas y/o de construcción
  - Base cartográfica de suelos de protección por riesgo
  - Base cartográfica de zonas de tratamiento especial por riesgo
  - Relación y base cartográfica del programa de reasentamiento de familias en riesgo alto no mitigable
  - Información de precipitación

- Inventario y caracterización de procesos morfodinámicos

- Ingeominas
  - Estudios geológicos del área urbana y rural del Distrito

- IDEAM
  - Información sobre registros de precipitación y caracterización de las mismas

- EAAB
  - Información sobre registros de precipitación y caracterización de las mismas
  - Trazado de cauces y zonas de ronda y ZMPA de cauces
  - Delimitación de hoyas o cuencas hidrográficas
  - Base topográfica

- Secretaría Distrital de Ambiente - SDA
  - Definición y delimitación de elementos de la Estructura Ecológica Principal, con énfasis en los suelos de protección, zonas de reserva forestal, zonas de ronda y ZMPA de cauces
  - Inventario y delimitación de canteras y parques minero industriales
  - Información temática de los Planes de Manejo Ambiental (PMA) y Planes de Manejo, Recuperación o Restauración Ambiental (PMRRA)

- Secretaría Distrital de Planeación - SDP
  - Base cartográfica barrial y predial
  - Planos topográficos

- Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD
  - Base cartográfica barrial y predial

2.1.1 ESCALAS DE TRABAJO

Teniendo en cuenta que se pretende adelantar la actualización del Plano Normativo Nº 3 del POT (zonificación de amenaza por remoción en masa) y en consideración de su importancia como instrumento de planificación en el uso de los suelos, idealmente se debe establecer y contar con una zonificación de amenaza lo más cercana posible a la mínima unidad de planeación como lo es el predio.

En este contexto, se empleará la información a las escalas disponibles. En principio se emplea como escala de trabajo 1:5000, pero en la medida en que la información disponible presente una escala mayor se mejorará el nivel de resolución llegando, si es el caso, a escala 1:2000.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología que se propone emplear para la actualización periódica de la zonificación de amenaza se desarrolla en unidades de planeación que pasan de escala global a escala de detalle; es así que, dependiendo de las unidades de trabajo se irá de lo general a lo particular.

En este contexto, una primera aproximación parte de dividir el territorio en zona plana y zona de ladera, considerando como plana aquellas áreas que en promedio tiene una pendiente inferior a 5% (2.0°). En estas áreas, teniendo en cuenta el principio general descrito por Terzaghi (1950)[4], según el cual el fenómeno de los deslizamientos se basa en que: "Toda masa de suelo situada debajo de la superficie de una ladera o talud natural, o bien debajo de la superficie del talud formado por un desmonte o excavación, tiene tendencia a desplazarse hacia abajo y hacia fuera por efecto de su propio peso…"

La esencia de este concepto, descarta el desplazamiento hacia afuera y hacia abajo en aquellas zonas que pos su escasa pendiente se consideran planas.

Esta circunstancia traslada el dominio de la evaluación a las zonas de ladera en cuya jurisdicción está condicionada su evaluación al emplazamiento o no en suelos urbanizables.

Se hace conveniente precisar que los suelos no urbanizables corresponden a aquellos definidos por normatividad urbana a usos distintos a cualquiera de las modalidades de urbanos; tal es el caso de los elementos de la Estructura Ecológica Principal como CER (Corredores Ecológicos de Ronda), suelos de protección, reservas forestales, parques minero-industriales, etc.

En tal escenario, en el que probablemente no se cuente con información temática detallada como geología, o que acaso es de gran evolución por la dinámica de los procesos extractivos que se desarrollen, se precisa de la recopilación y/o levantamiento de la información existente a las escalas disponibles; en tal caso se propone adelantar la reevaluación y zonificación de amenaza a las escalas que dicha información lo permita.

Si por el contrario, el escenario de evaluación lo constituye las áreas urbanizables, este hecho demanda más rigor en el empleo de la información temática. En este caso, los criterios de decisión los constituye la existencia o no de información a escala superior, en cuyo caso se pretende contar con insumos disponibles de manera particular en la DPAE como conceptos técnicos de legalización o planes parciales, diagnósticos, estudios de amenaza / riesgo contratados por la DPAE, estudios particulares de riesgo elaborados y presentados para trámite de licencias de urbanismo o construcción.

Alternativamente, y teniendo en cuenta su incorporación al uso urbano del suelo, en aquellos polígonos declarados por la autoridad ambiental y por el POT como de

[4] TERZAGHI, Karl, Soil Mechanics In Engineering Practice, New York, john Willy & Sons, 1950

suspensión de actividad minera se acudirá a información temática y secundaria derivada de los PMRRA presentados por los titulares de aquellas canteras.

Se precisa que antes de describir en detalle la metodología, se presente el significado de la simbología empleada en el texto y/o flujograma indicado en la Figura 1.

CTL: Concepto Técnico de Legalización o Planes Parciales
DT: Diagnóstico Técnico
ER: Estudio detallado de Amenaza y/o Riesgo
/d/ CTL: Fecha de emisión de CTL (o equivalente para diagnóstico o estudio)
w: Existe

Dependiendo de la información de detalle disponible en este campo, se plantean los siguientes escenarios de decisión (flujograma de la Figura 1):

- No se cuenta con CTL; en tal caso procede determinar la existencia o no de Diagnóstico Técnico, en cuyo caso la decisión toma una de dos vías:

  - Existe Diagnóstico; el hecho de no contar con Concepto Técnico de Legalización pero si la de Diagnóstico permite tomar una de dos decisiones respecto a la existencia de Estudio de Riesgo (ER)

    - Existe Estudio de Riesgo; se procede entonces, con la actualización de la zonificación (a partir de lo establecido en el DT), se hace uso de la información temática derivada del (los) estudio(s) y se procede a reevaluar y zonificar el área, con lo cual finaliza el proceso.

    - No existe Estudio de Riesgo; teniendo en cuenta que en su paso por este punto, es precisamente por la existencia de DT (sin CTL), se procede a incorporar a la zonificación del plano normativo la zonificación derivada del DT, posteriormente se hace recopilación o levantamiento de información temática de las fuentes y a las mejores escalas disponibles para, finalmente, hacer la reevaluación y zonificación; termina el proceso.

  - No existe Diagnóstico; descartada la existencia tanto de CTL como de DT no procede evaluar un condicionante adicional (decisión) dado que esto supone la no existencia de ER (su soporte lo constituye precisamente un DT); se hace entonces, recopilación o levantamiento de información temática de las fuentes y a las mejores escalas disponibles para, finalmente, hacer la reevaluación y zonificación; con lo cual termina el proceso.

Cualquiera de los escenarios aquí planteados corresponde a las posibilidades cuando no se dispone de Concepto Técnico de Legalización.

- En otro escenario y es cuando se cuenta con Concepto Técnico de Legalización o Planes Parciales (CTL), se evalúa la existencia o no de Estudio Detallado de

Amenaza / Riesgo para proceder de la siguiente manera:

- No existe Estudio Detallado de Amenaza / Riesgo
  - Existe Diagnóstico (DT)
    - El CTL es anterior al DT; se procede entonces a hacer la actualización de amenaza con la información resultante del DT y finaliza el proceso.
    - El CTL es posterior al DT; en este caso habrá finalizado el proceso
  - No existe Diagnóstico (DT)
    - La fecha del CTL es menor a 10 años; en este caso habrá finalizado el proceso
    - La fecha del CTL es mayor a 10 años; caso en el que se hace recopilación o levantamiento de información temática de las fuentes y a las mejores escalas disponibles para, finalmente, hacer la reevaluación y zonificación; termina el proceso.
- Existe Estudio Detallado de Amenaza / Riesgo
  - El DT se emitió con anterioridad al ER (Estudio de Riesgo)
    - El DT es anterior al CTL
      - El ER es anterior al CTL; en cuyo caso se conserva la zonificación existente y finaliza el proceso.

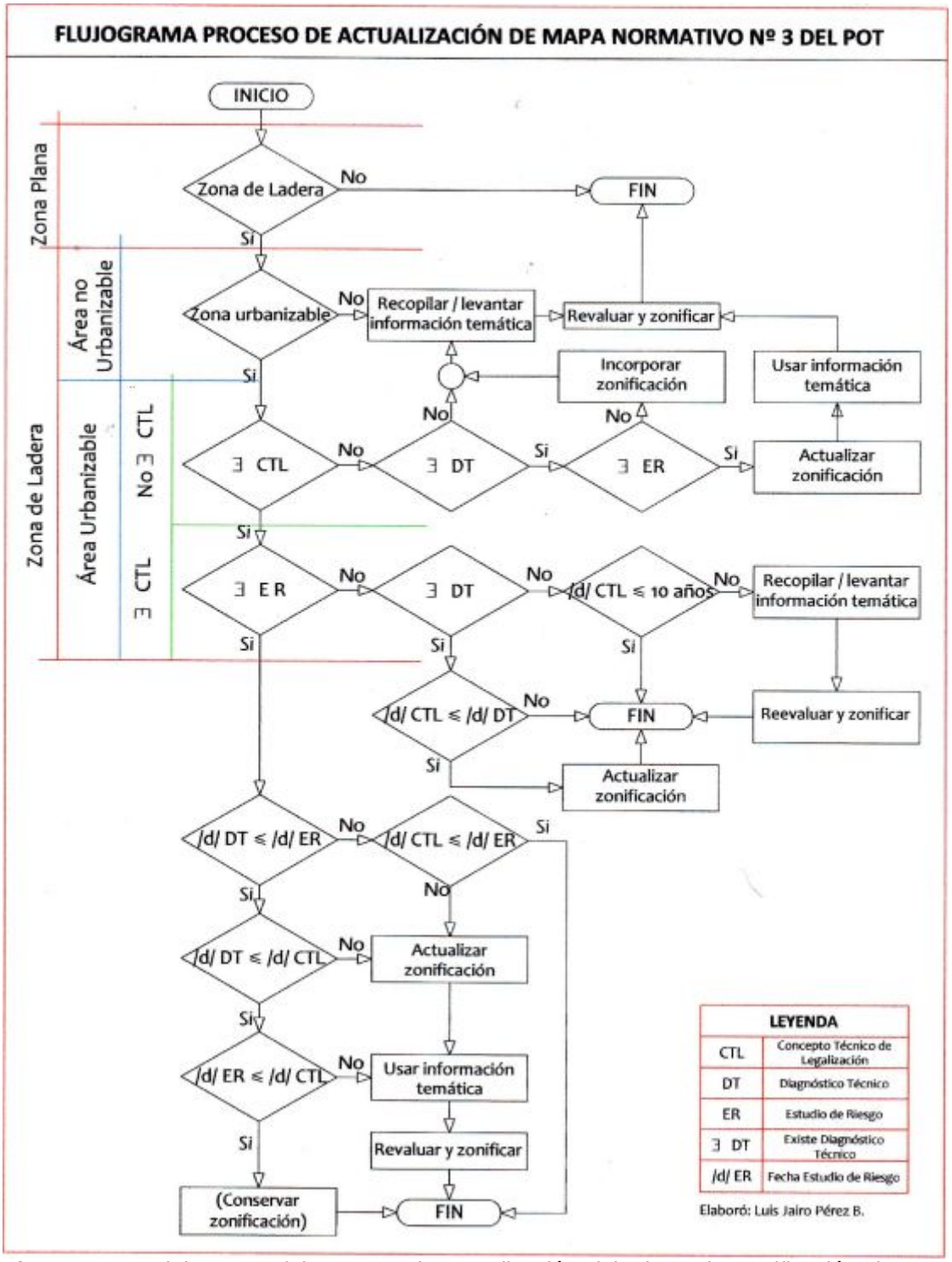


Figura Nº 1. Flujograma del proceso de actualización del Plano de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa

- El ER es posterior al CTL; en tal caso se hace uso de la información temática contenida en el (los) estudio(s) detallados, se hace la reevaluación y zonificación con lo cual finaliza el proceso.

- El DT es posterior al CTL; en este caso, se actualiza la zonificación con la resultante del DT, se hace uso de la información temática contenida en el (los) estudio(s) detallados, se hace la reevaluación y zonificación con lo cual finaliza el proceso.

- El DT es posterior al ER (Estudio de Riesgo)

  - El CTL es anterior al ER; En cuyo caso se conserva la zonificación existente y finaliza el proceso.

  - El CTL es posterior al ER; En tal caso, se actualiza la zonificación con la resultante del DT, se hace uso de la información temática contenida en el (los) estudio(s) detallados, se hace la reevaluación y zonificación con lo cual finaliza el proceso.

2.3 ÁREAS SIN INFORMACIÓN DETALLADA

En estas áreas, que principalmente corresponde a la localidad de Usme, se consultará información de distintas fuentes, especialmente en la EAAB, SDA, SDP, IDU. La información que se consultará consiste básicamente en la geología, usos del suelo y cobertura vegetal, topografía (para determinación de pendientes y relieve), drenaje, etc.

3 INVENTARIO DE METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE AMENAZA

En este capítulo se presenta una síntesis de algunas metodologías existentes para efectuar evaluación y zonificación de amenaza por movimientos en masa.

Estas cubren áreas a diferentes escalas que van desde regionales hasta semiregional y existe alta coincidencia en su tendencia cualitativa. También es recurrente el tipo de información que evalúa aunque difieren en su uso y su evaluación.

Los deslizamientos pueden ser considerados eventos de segundo orden debido a que son producidos por fenómenos naturales o artificiales, los cuales son causas de eventos de primer orden, diferentes magnitudes de estas causas provocan el evento con amenaza variable, dependiendo de los materiales in-situ y de la energía potencial gravitatoria de las masas susceptibles.

3.1 METODOLOGÍA DE CORTÉS (1989)

Corresponde a una metodología de amplio uso hace dos décadas para delimitar zonas geoténicamente homogéneas, en la región andina de Colombia. Esta clasificiación exige conocer los procesos naturales que se desarrollan en el paisaje, ya que estos establecen la selección natural de materiales, formas y acción de meteorización, erosión y acumulación, reflejando la dinámica a que esta sujeta la superficie terrestre.

3.1.1 Conceptos morfogenéticos

Los porcesos naturales (generados por factores exógenos y endógenos) determinan el paisaje. Cada uno de estos factores es una variable natural que cambia en distancia y en tiempo. Se requiere de un análisis con orden jerárquico partiendo de un nivel general a uno particular o de detalle.

Su aplicación se da a las siguientes escalas:

- Nivel general (escala 1:1.000.000 a 1:1.500.000), se contempla los modelos tecnóticos a escala continental, su evolución geológica incluyendo asociaciones petrológicas, estilos estructurales acumulaciones de material volcánico-detríco. Esto se llama Provincia del Terreno.

- Nivel regional (escala 1:250.000 a 1:100.000) se delimitan áreas ocupadas por una o varias vértices cuyo paisaje tiene geoformas similares. La vertiente corresponde a un estado evolutivo de la superficie del terreno, que va desde la conformación orográfica hasta llegar a su equilibrio. Este nivel se

denomina Patrón del Terreno

- Cuando se analiza en detalle los elementos que conforman una vertiente típica, agrupandolos en una serie de procesos y materiales distribuídos de alguna forma caracterísitica pasando el siguiente nivel, denominado Unidades de Terreno Este se realiza en escalas mayores a 1:25.000. Existen dos tipos de vertientes:

3.1.2 Morfometría de vertientes y laderas

Esta incluye la forma de perfil y su apreciación en planta, dependiendo de la dirección de las pendientes mayores según la disposición de los canales de drenaje. Esta clasificación se puede hacer rápidamente siguiendo la matriz de la **Tabla Nº 3**.

Tabla Nº 2. Clasificación de vertientes o laderas según forma y drenaje

PERFIL	CONVEXO (X)	RECTILÍNEO (R)	CÓNCAVO (V)
Divergente (d)	X (d)	R (d)	V (d)
Paralelo (p)	X (p)	R (p)	V (p)
Convergente (k)	X (k)	R (k)	V (k)

A continuación se presenta la clasificación de pendiente topográfica para laderas:

Tabla Nº 3. Clasificación de la pendiente Cortés (1989)

PENDIENTE (º)	CLASIFICACIÓN
0 - 2	Plana
2 – 5	Suavemente Inclinada
5 - 15	Fuertemente Inclinada
15 – 25	Montañosa
25 – 35	Muy Montañosa
> 35	Escarpada

3.1.3 Clasificación geomórfica de terrenos

Terreno está definido como una unidad del paisaje que tiene una composición definida y presenta cierta amplitud de variaciones en sus características físicas y visuales, que permiten su fácil identificación a escalas constantes (Cortés, 1989).

Para obtener una clasificación de terrenos, se debe considerar su definición y objetivo a la aplicación práctica en aspectos geotécnicos en áreas de posible agrupamiento debido a condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrológicas y en particular a los

procesos naturales. Se tienen cuatro niveles de clasificación.

- Provincia de Terreno: (Escala 1:1.000.000 a 1:500.000) Corresponde a una etapa de investigación a nivel general, considerada como exploratoria y representativa a escalas pequeñas. Se deben agrupar áreas que presenten asociaciones litológicas con desarrollo de estilo estructural homógeneo, evolución geomorfo-estructural a nivel tectónico regional y asociación de materiales no consolidados que representan variaciones climáticas. Cada grupo será denominado con números romanos (I, II, III...).

- Patrón de Terreno: (Escala 1:200.000 a 1:100.000) Corresponde a una etapa de investigación a nivel general, considerada útil a nivel de palneación. Se deben agrupar áreas de vertientes que estén contenidas dentro de una provincia del terreno y representen rocas sedimentarias, rocas ígneas de igual composición y unidades metamórficas de igual orígen. Además, se deben agrupar patrones de drenaje específicos con densidad constante y condiciones climáticas homogéneas.

  Se recomienda usar mapas topográficos escala 1:100.000, mapas agrológicos y ecológicos escala 1:500.000, mapas geológicos regionales entre escalas 1:250.000 1:100.000. Mapas de zonas de riesgo sísmico, imágenes de satélite y/o radar, así como informes o descripciones geológicas relacionadas al área de interés. La nomenclatura asignada a los patrones del terreno será con letra mayúscula (A,B,C...).

- Unidad de Terreno: (Escala 1:25.000) Corresponde a una etapa de investigación a nivel intermedio, considerada de toma de decisiones. Se deben agrupar áreas conformadas por: una litología a nivel de formación estratigráfica, cuerpo intrusivo o asociación metamórfica de igual grado y orígen, laderas o elementos de vertiente con amplitud de relieve y forma constante; acumulaciones diferenciadas por su génesis según estar o haber actuado procesos naturales, y estar marcada dentro de un patrón de terreno.

  Se recomienda usar mapas o bases topográficas geológica a escala no menor de 1:100.000, mapas agrológicos o agroecológicos y climas. Una vez definidas las Unidades de Terreno, debe procederse a delimitarse gráficamente sobre planos, con una numeración consecuente con la definida en los perfiles antes mencionados. Terrenos glaciados, 1G, 2G, 3G... y los montañosos 1,2,3,... La unidad de terreno quedará denominada según la provincia y el patrón, por ejemplo, IB3.

- Componente del terreno. (Escala 1:5.000 a 1:1.000). Corresponde a una etapa de investigación a nivel local y en sitios de condiciones complejas y críticas o para la construcción de obras que ocasionen cambios importantes en el medio natural. Puede ser un área ocupada por una o varias unidades de terreno, afectadas por una situación crítica de estabilidad y/o sitios a ejecutarse al paisaje.

  Se recomienda usar elementos de igual alcance para lograr su caracterización

geotécnica. Los planos topográficos y estudios geológicos requierán de levantamientos adecuados, así como el correspondiente muestreo y ensayos de laboratorio, que permitan obtener con la mayor exactitud los modelos geomecánicos y parámetros requeridos en los análisis de Estabilidad y de comportamiento de los materiales.

De lo anterior se deduce que la Unidad de Terreno, es la que evidencia una composición homogénea o selección de materiales, así como en donde se desarrollan procesos naturales propios. Al analizar estos, con sentido de estabilidad, se complementará y podrán establecer zonas geotécnicamente homogéneas.

3.1.4 Clasificación de condiciones de estabilidad

La clasificación de condiciones de Estabilidad se ha realizado en seis niveles que se presentan a continuación.

- Grado I: Laderas que no presentan evidencias de inestabilidad, salvo condiciones extremas. Se consideran estables a través del análisis comparativo. Suelos de bajo gradiente topográfico, que puede incluir quiebres locales. Suelos estables sobre rocas estables. Sin embargo, algunas condiciones pueden eventualmente disminuir la estabilidad cuando primero los depósitos de suelos son de espesores considerables, segundo en el caso de terremotos, las áreas vecinas a escarpes, cauces o lagos, pueden colapsar, tercero cuando altimétricamente en una posición más baja hay una ladera con menores condiciones de estabilidad, cuarto cuando la Unidad de Terreno queda atravesada por fallas tectónicas activas.

- Grado II: Laderas sin evidencia o con pequeños deslizamientos que pueden desarrollar procesos de erosión y deslizamientos futuros. Los comentarios aplicados en el grado anterior son aquí aplicables. Gradientes topográficos menores a 30%. La alteración de algunos metariales naturales puede provocar algunos deslizamientos.

- Grado III: Laderas con evidencia morfodinámica de antiguos deslizamientos. Se identifican los depósitos de los deslizamientos. Se puede incluir algunos deslizamientos grandes. El gradiente topográfico es mayor al 30%, aunque se puede incluir áreas del 15 a 30 %, infrayacidos por rocas inestables. El grado de inestabilidad puede aumentar, al considerarse los comentarios del Grado I, además de la alteración del drenaje natural, pérdida de vegetación y/o aumento en el nivel freático.

- Grado IV: Ladera con evidencia de deslizamientos y procesos de erosión o de inEstabilidad anterior. Aún son evidentes las formas de erosión. Se incluyen depósitos coluviales recientes con escasa matriz arcillosa y masas rocosas con amplias discontinuidades estructurales y moderadamente persistentes.

- Grado V: Laderas que presentan deslizamientos nuevos, o reactivación de antiguos en tamaños medianos y pequeños. Unidades asociadas a fallas tectónicas o regionales de actividad baja a moderada que afectan materiales líticos y/o frágiles. Pendientes mayores al 30%.

- Grado VI: Laderas con deslizamientos grandes y activos. Gradientes mayores al 30%. Depósitos de deslizamientos, cuyo material de tipo arcilla es dominante; intensidad pluvial de mdeia a alta; laderas asociadas a zonas de influencia de fallas regionales y evidencia de actividad reciente.

3.1.5 Clasificación de zonas geotécnicamente homogéneas

Las zonas de comportamiento homogéneo se establecen en la Unidad de Terreno, cuyo detalle a nivel intermedio es adecuado para obras lineales (Cortés,1989). La nomenclatura será la indicada anteriormente antecedida del grado de inestabilidad.

Aunque para cualquier nivel de investigación se puede usar esta investigación dependiendo del detalle que se desee tener. Esta evaluación usa el término de Unidad de Terreno por ser el más adecuado para el estudio.

La clasificación de condiciones de estabilidad, dividida en seis grados, permite detallar diferentes características que pueden ocurrir en una región. Esta diferenciación es muy importante para realizar análisis de amenaza, ya que cada una de ellas puede representar un grado o una probabilidad diferente.

3.2 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD PARA ZONAS HOMOGÉNEAS (Ramírez, Et. Al., 1989)

Este sistema tiene en cuenta el estudio de Unidades de Terreno de la clasificación geomórfica presentada en el anterior numeral, (Cortés,1989).

Se usa por lo tanto una escala de 1:25.000, definiendo áreas de terreno, con litología caractéristica de formaciones sedimentarias, igneas o metamórficas, con la misma composición y edad, agrupando suelos similares, pendientes caractéristicas y relieve constante.

El procedimiento consiste en la evaluación de ocho parámetros: tipo de Material (M), Relieve (R), Drenaje (D), Erosión (E), Clima (C), Vegetación (V), Sismicidad (S) y evidencias de procesos antiguos de inestabilidad (F).

Para cada parámetro se han establecido una serie de condiciones resultantes de la variación y combinación de los factores que determinan dichos parámetros. A cada condición le corresponde un puntaje o peso dado, dependiendo de su influencia

favorable o desfavorable a la estabilidad. En la **Tabla Nº 4** se muestran los parámetros y factores de evaluación.

Tabla Nº 4. Parámetros y factores de evaluación metodología de Ramírez

PARÁMETRO	SIMBOLO	FACTORES
Roca	M	• Tipo de material rocoso • Condición de fracturamiento
Material Intermedio	M	• Tipo de material intermedio • Influencia de las estructuras
Suelo	M	• Tipo de suelo • Condición in-situ
Relieve	R	• Pendiente • Forma del perfil longitudinal
Drenaje	D	• Densidad de drenaje • Pendiente promedio de cauces
Erosión	E	• Tipo de erosión • % área afectada
Clima	C	• Precipitación
Vegetación	V	• Pendiente • Tipo de erosión • % área cubierta
Sismicidad	S	• Riesgo sísmico • Tipo de material
Evidencias de inestabilidad	F	• % área afectada

La suma de los puntajes correspondientes a las condiciones existentes en una Unidad de Terreno, constituye la calificación de la estabilidad (CE) que está relacionada con una categoría de estabilidad tal como se señala en la **Tabla Nº 5**.

Tabla Nº 5. Categorías de Estabilidad y descripción

Categorías de Estabilidad	Calificación de Estabilidad	Descripción
I	>185	No representan evidencias de inestabilidad y se consideran estables a través del análisis comparativos con otras laderas
II	150 - 185	No presentan evidencias de deslizamientos, pero se pueden desarrollar procesos de erosión y deslizamiento en el futuro
III	120 – 150	Laderas con herencias morfodinámicas de deslizamientos antiguos que no han sufrido movimientos en el tiempo histórico conocido. Las formas de erosión no se conservan. Se identifican los depósitos de los deslizamientos
IV	85 – 120	Evidencias de deslizamientos y procesos de inestabilidad anteriores, pero que no han sufrido cambio en el tiempo histórico conocido. Las formas de erosión son evidentes
V	55 – 85	Laderas con deslizamientos frecuentes o reactivación de

Categorías de Estabilidad	Calificación de Estabilidad	Descripción
		deslizamientos antiguos. Los procesos de inestabilidad no son regulares y se asocian a eventos recurrentes con intervalos de varios años
VI	<55	Pendientes con deslizamientos activos; el material se presenta en movimientocontinuo y bien definido, con evidencia de actividad reciente. Los procesos de inestabilidad pueden ser contínuos o asociados a períodos lluviosos

La tabla de valores se encuentra en la referencia (Ramírez et. al.,1989). El valor máximo de la calificación de estabilidad será de 300 y el mínimo de 40. Las categorías de estabilidad están definidas en la siguiente forma:

En forma general se definen los factores que afectan la estabilidad de taludes y para ellos hay una evaluación, la cual se basa en la experiencia obtenida. Esta ponderación se puede tener en cuenta en el momento de ensamblar o cruzar información y así dar valoración o prioridad a algunos factores.

Este método presenta categorías de estabilidad que pueden ser complementadas con las presentas por Cortés (1989) para realizar un análisis de amenaza.

Dentro de las limitaciones que se tiene ante este sistema de evaluación se encuentran dos fundamentales: la naturaleza de los factores que determinan la estabilidad en un ladera, y la disponibilidad de información que permita fijar rangos de influencia de dichos factores. Además, esta calificación o puntaje supone un grado de incertidumbre, ya que si se hiciera rigurosamente se debería realizar un análisis estadístico complejo (Ramirez, et al, 1989).

Una modificación de esta metodología corresponde a la empleada por Ingeocim (1998) para la zonificación de amenaza por remoción en masa para el área de ladera de siete (7) localidades del Bogotá que se denominó Sistema Semicuantitativo de Estabilidad (SES). Las modificaciones sustanciales tienen que ver con la incorporación de la estimación de la actividad antrópica como variable con un peso significante así como el cambio de las categorías de estabilidad por categorías de amenaza en cuyo caso, además, los límites de cada intervalo se definieron a partir del tratamiento estadístico de la población de valores o calificadores de estabilidad (CE) derivados de la evaluación.

3.3 APLICACIÓN DE LOS SITEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (Escobar, 1992)

Todos los modelos del SIG presentan cuatro características comunes:

a) Entrada: Por medio de una mesa digitalizadora para la conversión de mapas en tinta a mapas de datos digitales. Además, tiene la capacidad de recibir información

de otros sistemas.
b) Almacenamiento: Guardar imágenes y gráficos digitales y tablas en una base de datos.
c) Manipulación: Elaborar modelos digitales, cruzarlos, combinarlos o adicionarlos.
d) Salida: Por medio de pantalla, impresora o graficador.

Además, se puede obtener señales digitales que pueden exportarse a otros sistemas.

Los datos de entrada son producto de una investigación y recopilación de la información que existe en entidades públicas, privadas, oficinas en donde se realicen estudios relacionados con el tema.

En el SIG existen varias formas de guardar la información, dependiendo del mapa. Este se digitaliza y se almacena en forma vectorial o en forma raster. Cuando se almacena en forma vectorial se hace referencia a mapas donde no se presentan unidades cerradas de mapeo como isoyetas, contorno estructural, isosistas, ubicación de obras, localización de infraestructura, etc. Cuando se almacena en forma raster o en polígonos se hace referencia a mapas que encierran unidades de terreno con características propias como el geológico, geomorfológico, uso de la tierra, suelos, etc.

Otra forma de datos en entrada corresponden a imágenes satélite, imágenes de radar y fotografías aéreas que pueden ser guardadas mendiante un barredor o un raster.

Después de tener todos los datos de entrada, se pueden realizar los siguientes análisis tal como lo define Escobar (1992):

Bajo esta modalidad y después de tener todos los datos de entrada se pueden reconocer varias técnicas de mapeo y evaluación que integra y estima parámetros diferentes; algunas de estas técnicas son:

3.3.1 Inventario de movimientos de remoción en masa (MRM)

Para realizar un análisis de amenazas por MRM, la forma más simple es la elaboración de un mapa inventario en donde todos los MRM son cartografiados. Esta información se obtiene por medio de aerofotointerpretación, inventario in-situ y datos históricos. Como resultado se obtiene una distribución espacial de MRM, clasificados en tipos y representados por símbolos o unidades cerradas de mapeo a escala.

3.3.2 Mapa de actividad de MRM

Los mapas de MRM tiene información en el momento en que el inventario fue realizado. No proveen el cambio temporal de la densidad. Este análisis multitemporal da a conocer los cambios de la estabilidad de pendientes como también de generación o reactivación de los MRM. Este método depende de la cantidad de aerofotos

multitemporales disponibles.

Los principales datos de entrada consisten en la fotointerpretación multitemporal con listas de verificción de MRM recientes y MRM antiguos.

3.3.3 Densidad de MRM

Consiste en presentar los MRM de tal forma que se relacionan con un porcentaje de unidad de mapeo. Este método también se usa para hallar la impotancia de cada parámetro en relación con los MRM. La densidad de los MRM se presenta por medio de un mapa de isopletas (líneas de igual densidad de MRM), utilizando un filtro de conteo móvil.

Los principales datos de entrada son:

- Mapa de distribución de MRM y su tabla adjunta.
- Mapa parámetro básico para desplegar la densidad de MRM (Mapa de unidades de terreno, geomorfológico o sub-unidades geomorfológicas).

3.3.4 Mapa cuantitativo de susceptibilidad

Se usa como base un mapa geomorfológico, pero también puede servir un mapa de unidades de terrerno. El principal criterio de base en la ponderación de cada uno de los factores de los diversos mapas que influyen en la amenaza. Es aquí donde es necesaria la presencia de un profesional, ya que esta valoración es bastante subjetiva y depende de la experiencia.

Dependiendo de la escala se pueden asociar una gran cantidad de mapas pero los más importantes son: unidades de terreno, geomorfológicas o sea los relacionados con geomorfología, mapa de movimientos de remoción de masas, pendientes, geológico, uso de la tierra y áreas de influencia a fallas y lineamientos y el drenaje.

La técnica que usa el SIG consiste en:

- Clasificar cada parámetro en pocas clases significativas
- Asignar los valores de ponderación a las clases de parámetros, preferiblemente de 1 a 10
- A decisión del profesional ponderar o no los diferentes mapas clasificados
- En función de la sumatoria de valores ponderados, clasificar los resultados en un número aceptable de clases (categorías)

Típicamente se obtiene como resultado amenaza alta, media o baja dependiendo del valor total.

3.3.5 Mapa semicuantitativo de amenaza

Se basa en la valoración de factores a través de datos de campo o laboratorio combinada con la experiencia del experto. Las formas de realizar la ponderación de cada factor son con la realización de un sondeo de opinión entre profesionales expertos, criterios personales del ejecutor o por normas o códigos nacionales. Los datos de entrada son los mapas y tablas relacionadas con geomorfología, MRM, pendientes, geológico, uso de la tiera, clima, suelos y sísmico.

3.3.6 Mapa de susceptibilidad de amenazas simples

La base de este método está en el cruce de mapas parámetro y el cálculo de densidades de MRM. La importancia de cada parámetro individual puede ser analizada separadamente o también se pueden analizar parámetros. Utilizando valores normalizados (parámetro de densidad de MRM / densidad de MRM sobre el área total) y sumando sus pesos, se puede hacer un mapa de amenazas general. Diferentes mapas parámetro pueden ser cruzados con un mapa de unidades homogéneas el cual es a su vez cruzado con un mapa de MRM, obteniendo como resultado una densidad por combinación única de parámetrods de entrada.

Los datos de entrada son:

- Mapa de distribución de MRM
- Dependiendo de la escala
- Regional: mapas de unidades de terreno, topografía, litología, uso de la tierra, cuencas y áreas de influencia de fallas y lineamientos, infraestructura reciente y drenaje
- Grande: mapas de geomorfología, topografía, taludes, pendientes, concavidad y convexidad, litología, secuencia de materiales, isolíneas sísmicas, uso de la tierra, bloques catastrales, cuencas y nivel freático y áreas de influencia a cambio de pendientes, fallas y lineamientos, infraestructura reciente y drenaje

3.3.7 Análisis estadístico multivariable

Este método de análisis estadístico de factores naturales para la ocurrencia de MRM da una contribución relativa de cada uno de estos factores al grado de amenaza en una unidad de terreno definida. Existen muchos métodos, entre ellos el mapeo de probabilidad de MRM, método valuativo de la información, regresión múltiple y análisis discriminate.

Todos estos métodos requieren de mapa de distribución de MRM y mapas de unidades de terreno; en escalas media o grande, el mapa de unidades puede ser el mapa de unidades geomorfológicas o el de sub-cuencas

Esta metodología explica muy claramente lo que se debe tener en cuenta para realizar un estudio de amenaza. Además, aplicando Sistemas de Información Geográfica se puede optimizar en tiempo y exactitud el estudio. Por otro lado, si no se tuviera acceso a un SIG se puede realizar este mismo análisis para obtener mapas de movimientos de remoción en masa, mapas de amenaza cualitativos y mapas de amenaza semi-cuantitativos, entre otros.

3.4 ANÁLISIS DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS (Hansen, 1984)

Cinco (5) aspectos se hacen necesarios para realizar la evaluación de la amenaza por deslizamientos a través de la metodología Hansen.

El primer aspecto es la definición de los tipos de amenaza, debido a que diferentes procesos geomorgológicos son tratables para diversos métodos de evaluación.

Por lo tanto, la amenaza puede ser subdividida en cuatro formas:

- peligro para la vida,
- peligro para las estructuras,
- peligro para la sociedad y
- peligro para el uso de la tierra.

Se debe considerar si esta amenaza es natural o inducida por el hombre; en la mayoría de los casos las modificaciones del hombre al medio ambiente hacen disminuir la estabilidad permitiendo que se desarrolle un evento natural.

Se debe escoger el alcance de la evaluación de la amenaza que depende de:

- el área de la región a ser consaiderada y la localización general,
- la disponibilidad económica,
- el tiempo en el cual el proyecto debe estar terminado y la disponibilidad de personal y
- el acceso a la región, es decir, el transporte del personal y del equipo.

Es la búsqueda de información, la cual puede obtenerse por medio de tres (3) métodos:

- método histórico,
- análisis geomorfológico y
- experimentos y cálculos.

Es la localización de la zona de amenaza en relación con el proceso amenazante. El terreno y la estructura pueden estar sujetas a diferentes formas de peligro.

3.4.1 Fuentes de datos para información

El trabajo inicial para cualquier evaluación de amenaza debe incluir un período de familiarización tanto con las necesidades del proyecto como del paisaje en consideración. Luego de tener anotaciones preliminares se empieza con la búsqueda de datos. Existen cinco (5) fuentes básicas de información:

- literatura,
- mapas existentes,
- sensores remotos,
- bases de datos específicos,
- muestreo y ensayos de laboratorio.

El nivel más básico de recolección de datos para realizar el análisis de amenaza se encuentra en informes publicados, registros y artículos que hacen referencia al área o sitio de interés. Se puede obtener, por ejemplo, información de clima, geología e hidrología. Además pueden consultar crónicas, artículos del periódico, minutas o informes de empresas de construcción; y por contacto directo con la gente que vive en el sitio.

Los mapas son una importante fuente de investigación, ya que por ejemplo en los topográficos y en los geológicos se encuentra la distribución espacial del área. Se debe recordar que estos planos necesitan de una verificación para poder ser usados en el análisis. Otros mapas de interés son los hidrogeológicos, es posible disponer de mapas geomorfológicos o de uso de la tierra; en general, se debe conseguir información con otras fuentes.

En muchas áreas las imágenes obtenidas por senores remotos son la fuente inicial para el análisis de amenaza por deslizamientos. Hay sistemas de fotografía o no-fotografía que registran la radiación reflejada sobre un rango de frecuencias, visibles con luces o infra-roja. Existen además, imágenes de radar ya que en cualquier tiempo son capaces de reproducir imágenes en forma de pulsos. Para realizar mapas de una sitio o un región, el uso de fotografías aéreas es la fuente más importante y sencilla. Con la interpretación de un experto del par estereoscópico se pueden obtener a bajo costo información de geología, relieve, drenaje, estructura, litología e historia del deslizamiento.

Una vez obtenida la información aérea y las causas de los deslizamientos potenciales, se debe hallar la amenza real. Se necesita realizar una inspección del área sobre el terreno, aunque se debe considerar que este trabajo de campo es más costoso que los datos preparatorios para el análisis. El formato para la recolección de datos debe ser optimizado para obtener los valores más relevantes y minimizar el número de días-hombre.

Se debe tener en cuenta si los ensayos se van a realizar en sitios remotos, ya que esto dificultaría el transporte de equipos. En culaquie técnica que se use se debe analizar

los costos.

3.4.2 Recolección de datos

Los parámetros que de deben considerar están divididos en causas externas e internas. Las causas externas producen aumento en el esfuerzo cortante (sismos, excavación hecha por el hombre), mientras que las internas producen cambios en la pendiente reduciendo la resistencia al corte (aumento de la presión de poros).

Para determinar las causas externas, se usa frecuentemente los sensores remotos o el trabajo de campo. La mayoría de variables internas son más difíciles de evaluar excepto por inspección directa, monitoreo o análisis de laboratorio. Cuando algunos parámetros son evaluados por extrapolaciones, el grado de precisión debe disminuir debido al aumento de la probabilidad de la variación local.

La mayoría de las técnicas de evaluación de amenaza usan combinaciones de los siguientes parámetros (pueden ser cualitativos o cualtitativos):

- Distribución de deslizamientos.
- Geología (litología, estratigrafía, estructura, neotectónica.
- Hidrología e hidrogeología
- Sismicidad
- Clima
- Vegetación y pedología
- Uso de la tierra
- Tiempo
- Datos geotécnicos.

Una característica común de estos factores es la variable espacial y su forma de presentación ya que puede ser cartografiable. Por lo tanto, una forma ideal para medir estos factores ambientales es por medio de unidades geomorfológicas o de sistemas de unidad de terreno, las cuales contienen un conjunto de condiciones que difieren de la unidad adyacente a través de límites definidos. En sistemas naturales la inter-correlación entre materiales, forma y procesos resultan en límites geomorfológicos los cuales reflejan frecuentemente las diferencias geomorfológicas. Los factores pueden ser representados en cualquier unidad geomorfológica, si estos ya han sido mapeados, o las unidades pueden ser derivadas de la superposición de los diferentes mapas. El número de combinaciones de variables posibles debida a la superposición de un conjunto de factores es igual al producto del número de variables de cada mapa. El mapa de amenaza final puede estar representado por la superposición de mapas, contornos o unidades (cuadrículas o grillas).

Existen también las listas de inspección o inventario las cuales tienen un formato estándar particular para el registro de deslizamientos en cada nación o región. Los datos registrados en las listas son guardados en los bancos de datos. Esta información

facilita realizar una agrupación de resultados sobre todo cuando se han hecho diferentes inspecciones por diferentes personas con diversos grados de experiencia.

3.4.3 Mapas directos

La forma más sencilla de obtener mapas directos es por medio del registro de deslizamientos locales. Estos son obtendios usualmente por medio de foto-interpretación o visitas de campo, y en la mayoría de los cuales forman la base para el estudio detallado o recolección de datos.

Los mapas geomorfológicos muestran deslizamientos a grandes escales (alrededor de 1:10.000) e incluyen información con respecto al tipo de deslizamientos, formas del terreno y procesos que existen en la región. En un libro guía de la UNESCO, se han escogido cuatro escalas de repesentación.

- Mapas sinópticos (1:100.000 y menores)
- Mapas a escala media (1:25.000 a 1:50.000)
- Mapas a gran escala (1:10.000 a 1:5.000)
- Mapas detallados (1:2.000 a 1:5.000)

Los mapas sinópticos distinguen la deformación del terreno por formaciones geológicas (coloreadas), acompañadas de su litología. Los mapas a escala media continen movimiento de pendiente y su clasificación respectiva. Los mapas a gran escala se preparan para áreas económicas importantes en la cuales el principal problema geotécnico es la inestabilidad. Finalmente los mapas detallados se realizan para resolver problemas específicos, por ejemplo el control de los deslizamientos. En estos mapas la estructura se detecta no solamente por sistema de mapeo sino por medio de trabajos técnicos como sondeos y ensayos.

3.4.4 Mapas indirectos

Los sistemas de tierra “land systems” están basados en que el paisaje puede ser subdividido en áreas las cuales predicen combinaciones seguras de formas del terreno, suelos y vegetación. (Este sistema es el resultado de un conjunto particular de condiciones ambientales asociadas a procesos que actúan sobre un conjunto particular de materiales para producir el patrón del paisaje que es diferenciable de patrones adyacentes).

Algunas de las generalizaciones más simples de la localización real de los deslizamientos es realizando un mapa de isopletas (curvas de igual densidad de los movimientos de remoción en masa). Estos mapas pueden ser sobrepuestos sobre mapas de suelos, geología, pendientes, lluvia, vegetación, zonas sísmicas, urbanización y otros factores, para determinar correlaciones entre estos factores y los depósitos de los deslizamientos y entonces realizar mapas más refinados de

estabilidad.

Existen análisis multivariado (técnicas estadísticas simples) para realizar líneas de igual amenaza y susceptibilidad a los deslizamientos.

La variación espacial de parámetros, además de la localización de los deslizamientos pueden ser sumados para construir líneas de igual amenaza. Cada factor tiene un peso dependiendo de su aparente importancia para producir deslizamientos. En una cuadrícula o rango determinado habrá entonces un peso total que dependiento de los valores adyacentes se pueden trazar líneas o contornos.

Otro método es el "*compartment-alizing*" donde se deben dar valores a los parámetros en cada unidad; las unidades deben ser bastante pequeñas para que los valores de los parámetros permanezcan aproximadamente constantes. Cuando se está considerando el proceso de deslizamiento los factores más importantes son geología y pendiente.

En general para realizar un buen análisis de inestabilidad se requiere una buena cantidad de datos de diferentes parámetros y con algo de monitoreo. Se pueden usar técnicas estadísticas (con base en una buena cantidad de datos) más complejas las cuales usan una función bivariada discriminante para distinguir la falla de pendientes e identificar pendientes potencialmente inestables. La forma de la escuación es:

$$y = a1x1+a2x2+a3x3+.....+anxn$$

donde,

y = función discriminante
a = coeficiente de peso de cada factor
x = valor dado para cada variable
n = número de factores seleccionados

Después de transformar algunas de las variables, se usan regresiones múltiples y análisis de varianza para establecer el coeficiente de cada factor.

El mayor problema con los mapas directos es la interpretación correcta del paisaje, mientras que con las técnicas de los mapas indirectos el problema es la construcción del modelo que abarque con precisión el sistema real del movimiento.

Hansen (1984), realiza un compendio de mapas que se deben recolectar, su forma de realizarlos y finalmente por medio de un cruce de ellos localiza gráficamente lugares con algún grado de amenaza. Además enfatiza que por medio de análisis estadísticos se puede encontrar una forma de comparación entre factores.

3.5 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA AMENAZA `POR DESLIZAMIENTOS, MAMELHAZ, (Mora et. al., 1992)

MAMELHAZ (Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination), es un sencillo sistema desarrollado para la evaluación rápida y económica de la amenaza a los deslizamientos en áreas tropicales y sísmicamente activas (Mora et. al. 1992).

Este método permite realizar una clasificación de deslizamiento potencial y por lo tanto de amenaza. En general el método contiene los factores relevantes que interviene en la inestabilidad y por lo tanto puede ser aplicable para cualquier región. Sin embargo, las tablas que el autor propone corresponden a datos aplicados solamente a Costa Rica. Para su aplicación en otro dominio territorial, se deben adecuar los valores dependiendo de las características regionales.

Se presenta un sistema experto basado en la información de cuadrículas para determinar amenaza por deslizamientos en áreas grandes, donde los datos de campo son escasos. Los datos de entrada se dividen en cinco (5) factores, donde con la combinación de los tres (3) primeros (relieve, litología y humedad), se defiene el indicador de "susceptibilidad intrínseca" y con los otros dos (lluvias y sismos), se obtiene el indicador de "detonante".

El indicador de susceptibilidad intrínseca SUSC, se determina por medio de la multiplicación del factor de pendiente (Sr), factor litológico (Sl) y factor relativo a la humedad del suelo (Sh).

El indicador de disparo TRIG, se halla por medio de la suma del factor sísmico (Ts) y el factor de intensidad de lluvia (Tp)

Para cada factor, se determina un índice de influencia a través de un valor de referencia para cada sitio particular a través de un proceso, Multiplicando los valores de susceptibilidad intrínseca y de disparo se obtiene el valor de amenaza relativo (Hl).

$$HI = SUSC \bullet TRIG, \text{ o sea,}$$

$$HI = (Sr \bullet Sl \bullet Sh) \bullet (Ts + Tp)$$

donde,

Sr: Factor de pendiente
Sl: Factor litológico
Sh: Factor de humedad
Ts: Factor sísmico
Tp: Factor precipitación (intensidad de lluvia)

La distribución espacial de estos factores e indicadores pueden ser plasmados en algún tipo de unidades de cuadrículas. La mayoría de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se aplica este proceso automáticamente.

3.5.1 Indicador de susceptibilidad (SUSC)

Este factor representa las propiedades intrínsecas del paisaje, materiales locales y su comportamiento pasivo.

El factor de relieve o de pendiente (Sr), indica la rugosidad natural del paisaje de una unidad de cuadrícula. Se defiene de la siguiente forma:

$$Rr = \frac{h_{max} - h_{min}}{A}$$

donde,

Sr: Factor de pendiente
Rr: Valor de pendiente (m/km^2)
h_{max}: Máxima elevación en una unidad de cuadrícula (m)
h_{min}: Mínima elevación en una unidad de cuadrícula (m)
A: Área de una unidad de cuadrícula (km^2)

Un análisis de sus valores y su distribución espacial permite observar la influencia de la litología y de la tectónica. Algunas correlaciones que se han hecho indican que hay un crecimiento exponencial en la susceptibilidad al deslizamiento cuando se alcanzan valores de Sr > 800 m/km^2. Estos valores han sido clasificados a través de distribuciones estadísticas para obtener (Sr) el factor de pendiente y su peso relativo puede ser usado en cálculos automáticos. Es aconsejable realizar histogramas de valores de Rr para definir tendencias locales.

El factor litológico (Sl), es el más difícil de hallar. En casos donde no se tenga información geotécnica detallada, se puede usar descripciones geológicas combinadas con un buen juicio geotécnico.

Se consideran diferentes factores, tales como, peso volumétrico, indices de clasificación, indicadores de esfuerzos de corte, grados de meteorización, distribución espacial, y discontinuidades características, relación con la pendiente, drenaje, presión de poros, comportamiento y posición de la tabla de agua, entre otros.

El factor de humedad (Sh), cuantifica la influencia acumulada de humedad a través de los años y puede ser vista como un punto de comienzo en el cual las lluvias fuertes pueden actuar. La mejor forma para determinar el contenido de humedad es a través de ensayos, seguido de un análisis detallado de balance de agua.

3.5.2 Indicador de disparo (TRIG)

Estos indicadores representan la actividad externa de fuerzas y su probabilidad de ocurrencia.

Para hallar el factor de intensidad sísmica (Ts), muchos deslizamientos ocurridos por sismos, fueron analizados para establecer la influencia de las intensidades sísmicas con litología, clima y geomorfología similar.

El factor de intensidad de precipitación (Tp), está basado en la determinación de valores máximos diarios de precipitaciones para un período de retormo de 100 años, ya que era necesario cubrir dos tipos de fenómenos:

- lluvias cortas pero muy intensas, causan deslizamientos en suelos residuales con pendientes empinadas y
- en caídas de roca son frecuentemente activados y/o acelerados con lluvias de menor intensidad pero largas en duración.

3.5.3 Determinación de la amenaza por deslizamientos

De acuerdo a los resultados obtenidos por la combinación de los parámetros mencionados se obtiene el valor de HI (indicador de amenaza) el cual debe ser clasificado.

3.6 AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS (Salinas, 1991)

Dado que los deslizamientos son frecuentes en diferentes zonas del país, el método se orienta a su probable ocurrencia. Existen cinco (5) factores principales que deteminan el grado de amenaza: i) morfometría, ii) unidades geomorfológicas, iii) formaciones superficiales, iv) procesos erosivos y, v) recurrencia de eventos desastrosos.

Dependiendo del tipo de amenaza, uno de los tres primeros factores morfometría, unidades geomorfológicas y formaciones superficiales se consideran como el factor clave, es decir, que es el que mayor influencia ejerce en la generación del evento, específicamente para los deslizamientos es la morfometría.

Los dos que no son considerados como claves: procesos erosivos y recurrencia de eventos tienen la propiedad de cambiar ese grado inicial de amenaza aumentándolo o disminuyendolo, dependiendo de las correlaciones que se puedan tener sobre ellos.

El comportamiento de los factores de procesos erosivos y de recurrencia de eventos desastrosos siempre son aditivos ya que ellos tiene relación con eventos pasados, en los cuales la naturaleza ya ha evidenciado su dinamismo.

Teniendo en cuenta lo anterior el método se reduce a encontrar el factor clave e iniciar el proceso con el grado de amenza proporcionado por él. Luego se va cambiando ese grado de acuerdo a su correlación con los otros factores de procesos erosivos y recurrencia para obtener el grado de amenaza final. Este grado de amenaza está

clasificado de la siguiente forma (**Tabla Nº 6**).

Tabla Nº 6. Clasificación del grado de amenaza según Salinas

PESO ESPECIFICO O VALOR	GRADO DE AMENAZA
Muy baja o ausente	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy alta	5

Se describe a continuación los criterios con los cuales se establecieron los pesos específicos de los factores de amenaza.

- Morfometría: En la generación de un movimiento en masa, la pendiente es uno de los factores más importantes tanto como para la ocurrencia como para la determinación de la magnitud del proceso. De allí que para los deslizamientos sea la pendiente el factor clave, o sea que es la que proporciona el grado inicial de amenaza en el cual se inicia el proceso. Los valores asignados son (**Tabla Nº 7**):

Tabla Nº 7. Peso Específico (PE) por Pendiente (metodo Salinas)

Pendiente (°)	Peso Específico
0 – 3	1
3 – 10	2
10 – 25	3
25 – 40	4
> 40	5

- Unidades Geomorfológicas: Dependiendo de la unidad geomorfológica en que se localice la zona se tiene el siguiente peso específico (**Tabla Nº 8**):

Los cañones tiene una doble designación, 5 si son cañones estrechos, profundos y de paredes subverticales ó 4 si es una geomorfa más evolucionada, ancha y erosionada.

Tabla Nº 8. Peso Específico (PE) por Unidad Geomorfológica (metodo Salinas)

Unidad Geomorfolgica	Peso Específico
Planicie aluvial, terrazas	1
Ladera baja	2
Ladera media	3
Ladera alta	4
Escarpes	5
Cañones	4 ó 5

- Formas superficiales: Se debe hacer una agrupación de acuerdo con rasgos y condiciones similares. Esta se presenta a continuación (**Tabla Nº 9**):

Tabla Nº 9. Peso Específico (PE) por Unidad Superficial (metodo Salinas)

Formación superficial	Peso específico
Depósitos de llanura de inundación	1
Terrazas y depósitos torrenciales	2
Depósitos de flujos de lodos y escombros de baja pendiente <25%	3
Depósitos de flujos de lodos y escombros de alta pendiente >25%	4
Suelos residuales (dunita, anfibolita, diorita,cuarzodiorita)	5

- Procesos erosivos: La presencia de cicatrices de movimientos de masa en una zona señala la susceptibilidad de la misma a los deslizamientos. Los eventos erosivos fueron interpretados como manifestaciones del dinamismo de eventos desastrosos de la naturaleza, de allí que el peso proporcionado por este factor sea aditivo.

Tabla Nº 10. Peso Específico (PE) por Proceso Erosivo (metodo Salinas)

Proceso Erosivo	Peso específico
Zonas con concentración de procesos de erosión superficial considerables	+1
Zonas con algunas cicatrices de deslizamientos	+1
Cañones con procesos de socavación y/o incisión activos	+1
Zona con concentración de cicatrices de deslizamientos	+2

- Recurrencia: Como en los procesos erosivos el peso específico es aditivo, y de la siguiente forma:

Tabla Nº 11. Peso Específico (PE) por Grado de Recurrencia (metodo Salinas)

Grado de recurrencia	Peso específico
Media	+1
Concentración de eventos de baja Recurrencia	+1
Muchos eventos desastrosos no recurrentes	+1
Alta	+2

Para la aplicación de la metodología es indispensable contar con un buen conocimiento del terreno, para el establecimiento del grado de amenaza final.

Esta metodología hace un manejo integral de actividades de prevención en áreas urbanas, aplicable a otras zonas del país. Emplea como mecanismo de trabajo la correlación de factores de amenaza a los cuales, se les ha asignado un valor que varía de acuerdo al fenómeno involucrado. Es importante que un experto o un grupo de ellos establezca los valores o pesos de cada factor.

3.7 ANALISIS DE AMENAZA UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (Van Westen, 1989)

El especial avance de los sitemas PC, permiten que institutos de desarrollo usen el SIG como medio importante para realizar planes desarrollo y tomar decisiones en una región o comunidad.

Es comunmente aceptado que los análisis de amenaza deben tener una estructura jerárquica como la siguiente:

- Mapas sinópticos o regionales (<1:100.000)
- Mapas a escala media (1:25.000 a 1:50.000)
- Mapas a gran escala (1:5.000 a 1:10.000)
- Mapas detallados (<1:5.000)

3.7.1 Escala regional (1:250.000 – 1:100.000)

Esta se usa como estrategia o planeación preliminar solamente. Interpretaciones de imágenes de satélite pueden ser usadas, combinadas con mapas geológicos de pequeña escala, para hacer una clasificación general del área con respecto a la geología y a la geomorfología.

La unidad de terreno describe una división natural que puede ser distinguido sobre una escala pequeña de fotografías aéreas y stereo (esteroscopios especiales, SPOT) y pueden ser verificadas en terreno. Esta es una unidad en la cual existe relación entre los grupos de forma del terreno, litología y suelo. Para cada unidad de terreno un número de parámetros es muestreando de aerofotografías a pequeña escala.

Las características son guardadas en la base de datos. Se desarrolla un sistema variado en los cuales para cada parámetro, se registra su importancia con respecto a varios tipos de amenaza. El mapa con las unidades del terreno es renumerado con los resultados del procedimiento anterior.

El mapa final muestra la susceptibilidad a varios tipos de movimientos de masa de cada unidad de terreno. Estos mapas pueden ser usados para planeación regional y para establecer zonas de investigación a gran escala.

3.7.2 Escala media (1:50.000 – 1:25.000)

Esta escala permite más análisis de datos en la evaluación de amenaza; esto es posible debido al uso de “Digital Terrain Models, DTM”, con una buena precisión. Requiere hacer observaciones suficientes de campo y así poder usar métodos estadísticos. El uso del DTM es de mucha importancia en los análisis de amenaza,

debido a que el ángulo de pendiente, un derivado del DTM, es uno de los parámetros más sensibles en la estabilidad de pendientes.

Un mapa generalizado de la geología sirve como un mapa de entrada. Este se junta con la base de datos geotécnica y con el mapa geomorfológico y su base de datos para obtener mapas de varios tipos de movimiento de masa. La actividad de los procesos de movimientos de masa es evaluada por la superposición del mapa geomorfológico actual y fotointerpretación de hace 4 ó 5 décadas.

Los mapas de movimiento de masas son cruzados con el de suelos y unidades de roca (provenientes del geológico general), con el de pendientes (del DTM) y con mapas de vegetación y uso de la tierra, por técnicas de filtro. El cruce de estos mapas y métodos estadísticos son usados en esta escala para mostrar las relaciones entre varios parámetros.

Lo primero que se hace es renumerar el mapa-resultado del cruce de dos parámetros con el porcentaje de movimientos en masa para cada combinación de dos mapas. Luego este mapa se superpone con el original mostrando los tipos de movimientos en masa. El mapa final muestra la susceptibilidad del movimiento de la masa dependiendo de la combinación de estos parámetros.

3.7.3 Gran escala (1:10.000 - 1:5.000)

A esta escala se pueden usar varios modelos determinísticos. El detalle derivado de mapas topográficos a escala 1:10.000 con líneas de contorno a cada 20m es suficiente para el uso de modelos de estabilidad de pendientes. En esta escala también es posible reunir una cantidad razonable de datos para cohesión, ángulo de fricción interna y densidad volumétrica, en la mayoría de casos estos se obtienen por medio de laboratorio y por análisis existentes de este deslizamiento.

Varios modelos determinísticos deben estar disponibles o en desarrollo, por ejemplo programas para determinar la distancia recorrida por un bloque que se desplaza. La entrada de datos para este es el DTM, es un mapa que muestra zonas de caídas de bloque de roca. Existen muchos más modelos determinísticos dependiendo de lo que se quiera hallar.

3.8 ZONIFICACION DE LA AMENAZA DEBIDA A LOS DESLIZAMIENTOS (Varnes, 1984)

Para realizar un estudio de amenaza por deslizamientos se deben tener en cuentas tres (3) principios básicos (Varnes, 1984):

⊙ El pasado y el presente son las claves del futuro.

Con la información obtenida, sobre la geología, geomorfología e hidrología, se

puede tener la posibilidad de estudiar el tipo, frecuencia, extensión y consecuencia de los deslizamientos que puedan ocurrir en el futuro. Claro está que donde no hayan ocurrido deslizamientos no significan que no puedan ocurrir en el futuro. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las modificaciones hechas por el hombre a la topografía y a las condiciones hidrológicas aumentan la susceptibilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

- Se deben identificar las principales condiciones que causan los deslizamientos.

  Las causas básicas de inestabilidad de taludes son bien conocidas de los casos específicos estudiados. Algunas son referentes a la roca o suelo, a su composición o estructura, otras como la inclinación de la pendiente que es relativamente constante o los niveles de la tabla de agua que son variables. También hay situaciones transitorias como la vibración sísmica y algunas son impuestas por nuevos eventos, como actividad debida a la construcción. También se deben considerar el factor de precipitación.

- Los grados de amenaza pueden ser estimados.

  Cuando las condiciones y los procesos han sido identificados, es posible estimar medidas relativas ya sea cualitativa o semi-cuantitativa, lugar por lugar. Luego, se puede realizar una suma de los grados de amenaza potencial en áreas, dependiendo del número de factores presentes, su severidad y su intersección. El procesamiento de datos varía desde evaluaciones simples y subjetivas hasta procesos sofisticados de bancos de datos extensos con el uso de los computadores modernos.

3.8.1 Identificación de las causas y procesos

La aplicación de los principios anteriormente mencionados requieren de investigadores con conocimientos y experiencia en los procesos y causas que afectan la estabilidad.

Los mapas geológicos, muestran las formaciones convencionales, con su respectiva nomenclatura acompañada de un texto explicativo del material que conforma la unidad geológica y a veces incluye información acerca de la estabilidad relativa. Este plano quedaría completo si las formaciones geológicas se agruparan por litología y en grupos o rangos de acuerdo a las condiciones de estabilidad observada.

La característica geomorfológica más importante a ser considerada es la presencia o ausencia de deslizamientos potenciales en la zona y la evidencia de deslizamientos pasados. Dentro de los mapas geomorfológicos se debe resaltar la pendiente y su forma, tipos de deslizamiento, su grado y actividad y características físicas asociados con ella como escarpes. Para propósitos de zonificación se deben realizar planos de pendiente en donde se agrupan rangos de porcentaje o grados de inclinación.

Diferentes tipos de deslizamientos varían en forma marcada de región a región, dependiendo de los patrones climáticos, de temperatura, precipitación y de los suelos o del producto de meteorización característica del clima de la región. Para el propósito de zonificación regional de amenaza por deslizamientos, se debe tener un registro de datos de precipitación que generalmente está incompleto. Debido a esto, no se tiene buena información a cerca de los niveles de agua y sus fluctuaciones. Es aquí donde los investigadores deben tener claro que las condiciones hidrológicas están afectadas por la litología, estructura, suelos, topografía, vegetación, clima y por movimientos de masa. Para esto se puede usar diferentes tipos de imágenes, en particular fotografías aéreas, imágenes infra-rojas o termo-infra-rojas, las cuales son usadas para detectar áreas donde la vegetación corresponde a cambios de condiciones hidrológicas o a cambios de temperatura. Por último se deberían considerar efectos de pasado climático y también hacer una zonificación microclimática para registrar deslizamientos pasados y determinar efectos cuantitativos de lluvia, para hacer predicciones estadísticas del futuro.

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de taludes, parece ser muy complejo, dependiendo de las condiciones locales como la profundidad del suelo, pendiente, tipo de vegetación. Sin embargo, la vegetación tiene efectos benéficos como:

- reduce la acción de agentes climáticos sobre masa naturales,
- intercepta y protege la masa de la acción del sol, lluvia y vientos,
- retiene la cantidad considerable de agua de lluvia,
- elimina el agua de la masa de vapor, por evapotranspiración,
- los residuos del vegetal y las flores inmobilizan una gran cantidad de agua disminuyendo la escorrentía y la erosión,
- el sistema radicular aumenta sustancialmente la resistencia al corte a través de la creación de pesión de poros negativos, aumentando por lo tanto la cohesión.

El esfuerzo en los taludes es raramente constante en períodos largos de tiempo. Las variaciones pueden ser lentas debido a las elevaciones, erosión gradual o deposición; estacionarias, reflejándose en los cambios de niveles de la tabla de agua, o rápidas en presencia de vibración sísmica, cortes o cambios en el uso de la tierra.

La disminución de la resistencia de los materiales se debe a los cambios meteorológicos (temperatura, vientos, clima entre otros) y a otras acciones físicas y químicas.

3.8.2 Investigaciones y desarrollo de la metodología

Estudios preliminares se deben realizar para la zonificación regional. Estos comprenden la investigación del motivo por el cual han fallado los taludes y si es el caso pensar en el diseño para corrección y prevención de deslizamientos presentes y futuros. Inicialmente se debe tener en cuenta el uso de la tierra, si es un problema regional o local, si abarca vivienda, agricultura, transporte, líneas vitales, o cuales son

las consecuencias económcas, sociales o ambientales, a que escala se debe atacar el problema, y qué información o mapas se tiene disponibles, entre otros.

Después de interpretar la literatura y mapas disponibles se continúa con el estudio de fotografías aéreas y de otras imágenes, para finalmente hacer una inspección por tierra, completar los mapa y obtener el plano definitivo con su informe correspondiente.

Existen diferentes técnicas para identificar áreas inestables o potencialmente inestables, como:

- Por medio de sensores remotos, los cuales recolectan información acerca de un fenómeno por medio de instrumentos sensores que no necesitan estar en contacto físico con el objeto bajo investigación y

- Estudios en tierra, los cuales permiten hacer una inspección más detallada de los que se encuentra en los planos, imágenes o fotografías aéreas.

El producto de la investigación consiste en la presentación de la información en formato especial, es decir, mapas, o un banco de datos de características de puntos o celdas que representan un terreno. Muchos esquemas de zonificación de amenaza emplean el concepto de superposición e integración de información espacial de mapas mostrando individualmente los factores que contribuyan a la inestabilidad. Comúnmente se incluyen mapas que muestran rangos de pendiente, depósitos de deslizamientos y sus características geomorfológicas; grupos de formaciones geológicas con la misma litología, estructura, propiedades geotécnicas o comportamiento; condiciones hidrológicas, lluvia y clima; y algunas veces actividad sísmica y respuesta sísmica esperada.

Algunos investigadores han encontrado que es de gran ayuda asignar un puntaje a los factores que contribuyan a dar inestabilidad a la pendiente para aplicar un sistema numérico.

3.9 METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE MAPAS DE RIESGO (Vargas, 1991)

Esta metodología tiene su mayor aplicación en estudios a escalas 1:10.000 a 1:5.000 y es necesario establecer para cada caso las condiciones básicas y los procesos que producen los cambios desfavorables.

Para realizar un correcto estudio o trabajo geotécnico, se deben seguir los siguientes pasos:

- Localización y reconocimientos de las áreas a evaluar.

- Exploración de campo y monitoreo. Dependiendo del reconocimiento y la exploración se recomienda si es o no necesario el monitoreo.

- Elaboración de planos detallados y locales. Tener especial énfasis en:
  - Levantamiento de formas, rasgos y procesos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, correlaciones sísmicas, etc.
  - Estadística de fenómenos geodinámicos presentes y su historia
  - Muestreo de suelos y rocas para determinar propiedades geomecánicas
  - Instrumentación en los sitios actualmente inestables
  - Análisis de resultados de laboratorio y de observaciones de campo
  - Se deben realizar mapas geológicos, geomorfológicos, de pendientes, hidrogeológicos de isoyetas y cálculo hídrico, estructurales y de dirección de esfuerzos tectónicos, de evaluación preliminar de estabilidad, geodinámicos, de suelos, etc.

- Identificación y clasificación de los tipos de movimientos en masa y descripción geotécnica de movimientos específicos

- Evaluaciones geotécnicas: Evaluando condiciones básicas que incluyen geología, estructura, hidrogeología, clima, litología, sísmica, geomorfología, etc, y los procesos y factores que incluyen cambios desfavorables, incluyendo cambios en las condiciones de los esfuerzos y cambio en la resistencia de los materiales. Con base en datos de un caso de estudio, se escogieron las condiciones y procesos más relevantes; para el caso de los suelos establece ocho (8) grupos con 45 parámetros específicos y para rocas seis (6) grupos con 18 parámetros específicos. Ambas clasificaciones se dividieron en cinco (5) rangos según el grado de inestabilidad. Estas tablas las presenta Vargas en su publicación (1991).

Para el uso de estas tablas se debe considerar:

  - Delimitación de los taludes o área de influencia, con base en los mapas geológico, topográfico y geomorfológico.
  - Se evalúa cada parámetro para cada talud de acuerdo a las manifestaciones que las formas, procesos y estructuras presentan.
  - Sumar los valores asignados según las evaluaciones para tener un resultado que indica el grado de susceptibilidad a la desestabilización, el riesgo que presenta el área así definida y el factor detonante más común que se presenta en la región.
  - Dibujo en los mapas de riesgo y evaluación geotécnica.
  - Toma de decisiones.

- Evaluación del factor de seguridad

- Correlación de las observaciones de campo y los resultados ya obtenidos

“Todo mapa de riesgo debe ser evaluado periódicamente con el fín de hacer el seguimiento de los casos y causas de inestabilidad, conocer su evolución, descubrir nuevas zonas afectadas y corregir omisiones”.

4 DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN MERDUCAS

4.1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con González, (1990):

"*Los fenómenos de remoción en masa, junto con la erosión, hacen parte de los procesos naturales de denudación de la corteza terrestre y como tales no se consideran susceptibles de total manejo, pero el riesgo que pueden generar sí puede ser eventualmente evitable o mitigable.*

Los deslizamientos pueden considerarse como fenómenos de segundo orden pues son producto de factores naturales o artificiales los cuales constituyen los eventos de primer orden o causas."

Reconociendo la problemática actual y en cumplimiento del marco normativo, la ciudad debe actualizar el mapas de zonificación en términos de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa (FRM), de particular utilidad para la planificación en el uso del suelo y el desarrollo urbano, identificando zonas de difícil y costosa intervención y que paralelamente representan probabilidades de pérdidas humanas, materiales y en consecuencia, económicas. Por tanto, se espera que sirva para facilitar la definición de estrategias para la racionalización del uso del territorio y para la conformación de un nuevo orden del mismo.

Los beneficios del empleo de los mapas de amenaza están directamente relacionados con la reducción de la exposición y de pérdidas económicas. Además, facilitan la clasificación de una zona, ayudan a establecer y reorientar los requerimientos necesarios de investigación para el diseño y construcción de cualquier obra de ingeniería y permiten la identificación rápida de zonas con restricciones o condicionamientos de uso, o en donde se hace necesario la formulación de planes específicos de reducción de los niveles de amenaza o riesgo en un sector.

El análisis de amenaza es una tarea compleja dado que muchos factores pueden jugar un papel importante en la ocurrencia del fenómeno (evento). El análisis requiere así de una gran cantidad de información y las técnicas de análisis pueden ser costosas y consumir una gran cantidad de tiempo.

Para estudios en áreas extensas (escala semiregional o regional), se ha experimentado y reconocido algunas dificultades en mayor o menor magnitud por cuanto el conocimiento de los procesos de movimientos en masa es incompleto y los mecanismos y causas diversas y complejas; en general porque los datos esenciales para la evaluación de estabilidad se recogen de manera parcial o no se recogen, por su elevado costo, limitación de tiempo disponible y/o o ausencia de información secundaria. Todo lo anterior redunda en que a menor escala las evaluaciones de

amenaza y riesgo presentan una menor definición o precisión.

De acuerdo con los propósitos del producto, la disponibilidad y escalas de información básica y temática así como especialmente la de recursos técnico y económico, se definió – conjuntamente con la DPAE y de acuerdo con el alcance del proyecto- como método de evaluación de la amenaza el modelo MERDUCAS, del que lo primero que hay que decir es que esta metodología es una adaptación y por tanto, toma en su esencia, la denominada "Evaluacion de Estabilidad para Zonas Homogeneas" (cruce cualitativo de mapas) propuesta por Ramírez y González, 1989[5], sistema que expresa la amenaza en términos de Calificadores de Estabilidad (CE) distribuidos dentro de unas categorías de posibilidad semicuantitativa de ocurrencia de movimientos en masa a partir del estudio de Unidades de Terreno de la clasificación geomórfica presentada por Cortés, 1989 (numeral 3.1), o SES (Sistema de Evaluación Semicuantitativa de Estabilidad) que corresponde a una modificación que Ingeocim (1998) hiciera de la misma para la zonificación de amenaza por remoción en masa para el Plande Ordenamiento Territorial de Bogotá, advirtiendo la práctica de adaptaciones de diversa índole atribuibles al dominio geográfico en el que se aplica y en la experticia del autor en el conocimiento del territorio del Distrito.

Lo anterior tampoco quiere decir que se trate de una metodología que no sea sujeta de examinar y revaluar sino que por el contrario, reconociéndole su virtud, es sometida a rigurosa evaluación en su esencia, sus partes, sus variables, parámetros y criterios de calificación.

Adicional a lo anterior, teniendo en cuenta la mejor resolución o escala de la información cartográfica se hizo extensiva la aplicación de la metodología a una escala mayor que la 1:25000 propuesta por Ramírez.

En este trabajo, como en la evaluación SES de Ingeocim se introduce la valuación de la variable Factor Antrópico.

Las adaptaciones que se le realizaron – que en su momento se describirán en detalle – consisten de manera general en la reevaluación de los ponderadores de cada variable, la redefinición de los parámetros de evaluación o en los criterios o valores de estabilidad (CE) en algunos de ellos.

La calidad o resolución de la zonificación aquí obtenida está en estrecho vínculo con la escala y la calidad de la información temática, la cual a su vez fue tomada de diversas fuentes, a saber: UAECD, SDP, SDA, DPAE, EAAB, CAR, IDU, etc. y evaluada cada variable de acuerdo con parámetros y criterios que adelante se explicarán.

[5] RAMÍREZ, F. y GONZÁLEZ G., A. J. Evaluación de Estabilidad para Zonas Homogéneas.- I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol. I, pp. 174- 192, Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989.

La selección de variables o factores que controlan los procesos de inestabilidad de una zona o región es un proceso muy importante dentro de la formulación estudio y está estrechamente ligada con la técnica de evaluación y la escala de trabajo.

Al igual que en la Evaluacion de Estabilidad para Zonas Homogeneas, para cada variable, se han establecido parámetros (factores) y criterios de evaluación asociados a las condiciones resultantes de la variación y combinación de los factores que determinan dichos parámetros. A cada condición le corresponde un puntaje o peso dado, dependiendo de su influencia favorable o desfavorable a la estabilidad. En la **Tabla Nº 12** se muestran de manera general los parámetros y factores de evaluación.

Es esta primera aproximación, la pendiente ya no se evalúa en tres (3) variables sino tan solo en la de Relieve. En esta adaptación se pasa de seis (6) categorías de estabilidad a tres (3) categorías de amenaza. En forma análoga a como lo establece la metodología de Ramírez, una vez identificados los factores de influencia en la estabilidad, su evaluación se basa en la experiencia cruzando información y dando valoración o prioridad a algunos factores.

Tabla Nº 12. Variable y parámetros considerados en la metodología MERDUCAS

PARÁMETRO		SÍMBOLO	FACTORES
Material	Roca	M	⌖ Tipo de material rocoso ⌖ Condición de fracturamiento
	Material intermedio		⌖ Tipo de material intermedio ⌖ Influencia de las estructuras
	Suelo		⌖ Tipo de material suelo ⌖ Condición in situ
Erosión		E	⌖ Naturaleza de la erosión ⌖ Área afectada (%)
Relieve		R	⌖ Pendiente ⌖ Forma de perfil longitudinal
Drenaje		D	⌖ Densidad de drenaje
Uso del suelo y cobertura vegetal		U	⌖ Tipo de uso o cobertura del suelo ⌖ Uso urbano ⌖ Zona rural y elementos de la EEP ⌖ Suelo urbanizable no urbanizado ⌖ Tipo de vegetación ⌖ Áreas mineras
Clima		C	⌖ Indicadores de precipitación ⌖ Lluvia crítica ⌖ Período de retorno de lluvia crítica
Factor Antrópico		A	⌖ Identificación de impactos antrópicos por escenario territorial ⌖ Descargas o sobrecargas por cortes / rellenos ⌖ Actividad minera ⌖ Intervención de rondas/adecuación hidráulica de cauces

PARÁMETRO	SÍMBOLO	FACTORES
		⌖ Condición de vías ⌖ Implementación de obras de estabilización ⌖ Redes de servicios públicos
Sismicidad	**S**	⌖ Tipo y espesor de material ⌖ Aceleración sísmica

En el caso de los deslizamientos, la susceptibilidad está controlada por factores intrínsecos (materiales, topografía, estado de esfuerzos, condiciones de drenaje) mientras que los eventos detonantes pueden considerarse externos (lluvias, sismos, excavación por erosión, socavación, obras, etc.).

Por su parte, la energía potencial está controlada tanto por el índice de fragilidad (e.g. Bishop, 1966, 1973), la deformabilidad, la resistencia residual (e.g. Skempton, 1964, 1985) y el volumen de la masa (las que son propiedades internas), como por la altura de posición y la posible trayectoria desde el deslizamiento hasta el punto amenazado, los cuales son factores externos.

Generalmente los factores internos y externos no son fácilmente separables en todos los casos, por lo que, a nivel mundial aún no ha sido fácil plantear modelos de amenaza cuantitativos totalmente válidos en los términos requeridos de probabilidad de potencial destructivo.

Debido a que la amenaza debe expresarse como una probabilidad de potencial destructivo, es conveniente aclarar que la máxima probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento no sucede necesariamente con la máxima magnitud del evento detonante y que el hecho de que un talud falle, tampoco conlleva necesariamente, un máximo grado de amenaza.

Dentro del ciclo de generación de procesos de inestabilidad se pueden identificar unas causas que desencadenan en eventos intermedios o de orden secundario o terciario (Shuk y González, 1994)[6]; ejemplo de estos se consideran evapotranspiración, escorrentía e infiltración (derivada a su vez de las lluvias), amenazas de segundo o tercer orden derivadas del anterior como crecientes, erosión y deslizamientos y en un tercer orden de amenazas (resultados a su vez, de la anterior) inundación, avalanchas o destrucción de edificaciones con pérdidas y daños materiales y físicos sobre personas e infraestructura.

Consecuente con lo anterior, las avalanchas pueden interpretarse como eventos de tercer o cuarto orden, pues usualmente se presentan como consecuencia de deslizamientos o de rotura de represamientos de corrientes creados también

[6] SHUK E., T. y GONZÁLEZ A. J. Quantification of Slope Instability Risk and Cost Parameters for Geotechnical Applications in a Highway Project and in a Regional Study (Sixth Intl. Conference on Structural Safety and Reliability) - Vol. 3, Innsbruck - August 1993

normalmente por obstrucciones de movimientos en masa (Schuster, 1986)[7].

El modelo MERDUCAS que se empleará en desarrollo de este trabajo comprende fundamentalmente la evaluación de ocho (8) variables, donde cada uno de ellos es el resultado de medir diversos parámetros o factores asociados según su naturaleza. Así, para cada factor se fijan intervalos de variabilidad de acuerdo con su influencia (en mayor o menor grado) en la estabilidad de las laderas (advirtiendo que se trata de ponderadores que corresponden a estimaciones derivadas de la experiencia y criterios de diversos profesionales), Ramírez, 1988[8]. La combinación de los diferentes factores otorgan condiciones particulares de estabilidad (favorables o desfavorables), los cuales se evalúan asignándoles una "Calificación de Estabilidad", CE. De esta forma, a cada parámetro le corresponde un determinado "valor" de estabilidad resultante de la suma ponderada de "valores" de cada factor asociado a éste. El "valor final" de estabilidad será la sumatoria de los valores de estabilidad de cada parámetro (ecuación 1 y Tabla 4), Lozano y Millán (1995)[9].

Los resultados de la zonificación de susceptibilidad y amenaza del terreno por fenómenos de inestabilidad presentados en este documento son puntuales en el tiempo y en el espacio. La zonificación se basa en las características del terreno determinadas a partir de información secundaria principalmente, con un control limitado con la evidencia de campo, pero con la fortaleza de emplear información temática validada procedente de diversas fuentes. Los procesos geomorfológicos son complejos y dinámicos y algunos de ellos fueron incorporados (localidad de Ciudad Bolívar) en desarrollo de la zonificación aquí presentada. Por esta razón los resultados del estudio sólo se deben utilizar como guía para estudios más detallados y para la planeación regional.

4.1.1 Consideraciones básicas de estabilidad de laderas[10]

El carácter dinámico de los procesos actuantes en la naturaleza, y el amplio rango de variabilidad de los factores que influyen en la estabilidad, conllevan a que la interacción entre ellos sea altamente compleja. Por tal razón, las condiciones de estabilidad de una región o de una vertiente son el resultado de la combinación espacio-temporal de diversos factores que actúan separadamente o combinados.

---

[7] SCHUSTER, R. L. Landslide Dams: Processes and Mitigation - Geotechnical Special Technical Publication STP Nº 3- ASCE, 1986

[8] RAMÍREZ, F. y GONZÁLEZ G., A. J. Op. Cit.

[9] LOZANO, J y MILLÁN, J. Evaluación de susceptibilidad y análisis de susceptibilidad geotécnica a fenómenos de remoción en masa del sector de Ciudad Bolívar, en: Memorias VIII Jornadas Geotécnicas (II Foro sobre geotecnia de la Sabana de Bogotá). SCI – SCG. Bogotá. Septiembre de 1995

[10] Ibid. pp. 13.

El resultado de dicha interacción tiene dos efectos importantes, bajo los cuales el talud puede alcanzar la falla (Terzaghi, 1950).

- Incremento de los esfuerzos cortantes (causas externas)
- Disminución en la resistencia al corte del material (causas internas)

Dentro de las causas externas se identifican:

- Cambios geométricos por erosión, incisión de corrientes, excavaciones artificiales.
- Descarga por erosión, incisión, excavaciones artificiales.
- Carga por adición de material e incremento de altura.
- Cargas dinámicas por sismo o artificiales
- Variación en los niveles de agua
- Cambio en el régimen de aguas por infiltración de aguas lluvias, incrementando el peso y las presiones de poros.

Dentro de las causas internas se identifican:

- Falla progresiva por expansión lateral o fisuramiento y erosión
- Meteorización, disminuyendo la cohesión, removiendo el cementante, por desecación y procesos de congelamiento deshielo
- Erosión por flujo, creando fenómenos de solución y tubificación

4.1.2 Recopilación y análisis de información disponible

Se revisó y evaluó información técnica con diferentes grados de detalle y a diferentes escalas y cartográfica de las fuentes citadas previamente así como derivada de estudios geotécnicos y de riesgo de diversos consultores.

La recopilación de información resultó un proceso dinámico y no se limitó a la etapa inicial, sino que se efectúo durante todo el proyecto, cada vez que se consideró necesario hacerlo para mejorar el modelo de evaluación.

Se generan mapas de diferente orden resultantes de cada una de las etapas que se abordan en una secuencia. Así pues, hay:

- Mapeo de primer orden; mapas temáticos a saber: topografía, hidrología, drenaje, geología, cobertura y uso del suelo

- Mapas de segundo orden; erosión, factor antrópico, materiales, densidad de drenaje, clima (evaluación de precipitaciones)

- Mapas de tercer orden; isoprecipitaciones, efecto sísmico

- Mapas de cuarto orden; susceptibilidad, amenaza

”*Es importante mencionar, que la información secundaria puede resultar con un grado de confiabilidad muy bajo o en algunos casos no es veraz, ya sea por aspectos metodológicos, sistema de muestreo, análisis estadísticos no adecuados, año de publicación o edición y estudios con diferentes objetivos.* “, Ingeocim (1998)[11].

4.1.3 Identificación preliminar general del riesgo actual

La evaluación más sencilla de la precisión y que como mínimo debe usarse, es la comparación de las zonas de amenaza con el inventario de FRM cartografiados. Ésta se basa en la hipótesis de que los deslizamientos tomen lugar en laderas que han sufrido fenómenos de remoción en masa. No obstante, este procedimiento no debe aplicarse cuando la zonificación es hecha con técnicas que parten del inventario de FRM como base del estudio.

Esta labor la ha ido adelantando mediante la realización de conceptos técnicos, diagnósticos y estudios detallados de amenaza y/o riesgo generados de manera directa o indirecta por la DPAE. Estos fueron espacializados sobre la cartografía urbana existente, sirviendo de herramienta para ajustar la zonificación obtenida mediante la evaluación con la metodología MERDUCAS. Estos documentos incluyen el registro histórico de movimientos en masa.

Complementario con lo anterior, la DPAE tiene identificados los sitios que son y han sido prioritarios de intervención; en efecto, la base de datos y cartografía de sitios críticos contiene en forma muy resumida las zonas de tratamiento especial por riesgo y que han sido el resultado de la identificación y priorización de los sitios a intervenir mediante obras de estabilización o mitigación en estratos socioeconómicos 1 y 2, o, en su defecto, reasentamiento de familias en alto riesgo.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta que la evaluación de amenaza por remoción en masa se hace sobre una metodología que ha probado su validez comoquiera que la zonificación actualmente vigente, ha servido de soporte durante un decenio como insumo para la planificación y gestión en el uso del suelo con razonable precisión; teniendo en cuenta las obvias limitaciones derivadas de la escala de la información base y sometido, además, a la calibración resultante de la naturaleza como laboratorio y el tiempo y la intervención antrópica como agentes, se procede a emplear el modelo MERDUCAS

[11] INGEOCIM LTDA. Zonificación por inestabilidad del terreno de Las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santafé, Chapinero, Usaquén y Suba, de Santafé de Bogotá D.C., Vol. Cobertura vegetal y uso actual del suelo. pp. 3.

como una adaptación de la Evaluacion de Estabilidad para Zonas Homogeneas, Ramírez, 1989 para la actualización de la zonificación de amenaza por remoción en masa.

El procedimiento adoptado en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, aplicando como técnica de mapeo el modelo MERDUCAS, (cruce de mapas), se definió teniendo en cuenta que la misma evaluación es un proceso de generación de cartografía y como tal debe partir de una base topográfica acorde con la escala del estudio, sobre la cual se plasman los diferentes mapas temáticos insumos de la zonificación.

Las etapas desarrolladas en el proceso de evaluación, se pueden resumir en:

- Identificación y valuación de variables
- Evaluación de susceptibilidad
- Evaluación de agentes detonantes
- Evaluación de amenaza por movimientos en masa

La metodología MERDUCAS, responde en su nombre a las variables que evalúa y en su esencia a la denominada Evaluacion de Estabilidad para Zonas Homogeneas, Ramírez, 1989. En efecto, con respecto a lo primero, el nombre está dispuesto de tal modo que constituya una herramienta mnemotécnica en la que su nombre trata de recoger las iniciales y, por tanto, sugiere las variables a evaluar a la vez que las ordena según sean factores intrínsecos y extrínsecos.

Algunos de los ajustes significativos en el modelo MERDUCAS respecto del sistema SES están relacionados con:

- Redefinir el peso o ponderador de algunas variables en relación con la influencia que estas marcan en la estabilidad de la ladera en el territorio distrital, así pues, a variables como Erosión (E) y Uso del Suelo y Cobertura Vegetal (U) se les redujo de manera sustancial su peso, en tanto que, por redestribución, se les subió a Material (M), Relieve (R), Drenaje (D), Clima (C) y Factor Antrópico (A)

- Revisión de criterios en su aplicación, tal es el caso de las variables Drenaje (D) y Uso del Suelo y Cobertura Vegetal (U) en las cuales, a diferencia del sistema SES, no se tuvo en cuenta el parámetro pendiente

4.2.1 Evaluación de Susceptibilidad y Amenaza Preliminar

La metodología MERDUCAS presenta un sistema experto basado en la información de cuadrículas para determinar amenaza por deslizamientos en áreas grandes, donde los datos de campo son escasos y hace una valoración cuantitativa de las ocho (8) variables las que definen en ese orden en factores intrínsecos y factores extrínsecos, tal como lo interpreta la teoría de Mamelhaz (Mora, 1992, numeral 3.5) y se indica en la

Tabla Nº 13; los primeros como su denominación lo sugiere, corresponde a aspectos íntimamente ligados a la naturaleza de los materiales y de su medio físico en tanto que los externos se trata de agentes que impactan modificando algunas de las características propias del medio natural; algunos de estos pueden actuar como agentes detonantes de movimientos en masa. Con base en la información básica de los cuatro primeros parámetros se delimitan semicuantitativamente Zonas Homogéneas de Susceptibilidad, empleando la metodología de Ramírez (1989) para obtener coma resultado intermedio mapa de Susceptibilidad o Preliminar de Amenaza por remoción en masa[12], entendida esta como la condición intrínseca que le facilita o le dificulta desarrollar eventos de remoción en masa, Lozano y Millán (1995)

Tabla Nº 13. Variables a evaluar en la metodología MERDUCAS

F. INTRÍNSECOS		F. EXTRÍNSECOS	
M	Material	**U**	Uso del suelo
E	Erosión	**C**	Clima
R	Relieve	**A**	Factor antrópico
D	Drenaje	**S**	Sismicidad

4.2.2 Variables, Ponderadores y Evaluación de Estabilidad

La calificación de estabilidad (CE) es el resultado de la sumatoria ponderada de los valores de estabilidad asignados a cada parámetro, a partir de la cual se definieron los diferentes niveles de amenaza. El nivel de amenaza se establece a partir del valor de esta Calificación de Estabilidad en tres (3) categorías de amenaza baja, media o alta.

Esta es una metodología de naturaleza acumulativa en la que cada una de las variables o parámetros genera un CALIFICADOR DE ESTABILIDAD (CE_i) ponderado, el cual se va adicionando hasta obtener un CALIFICADOR DE ESTABILIDAD GLOBAL (CE_G) como la sumatoria de los valores individuales de estabilidad, de este modo a cada condición le corresponde un puntaje, según ésta influya favorable o desfavorablemente en la estabilidad. Para su evaluación, una variable obtiene los mayores CE para las condiciones o parámetros que favorecen la estabilidad en tanto asigna valores bajos (pero siempre mayores a cero) para las condiciones más desfavorables. La suma de los puntajes correspondientes para las condiciones existentes en la Unidad de Terreno, constituye la Calificación de Estabilidad (CE) que está correlacionada con las categorías de estabilidad o amenaza (Ramírez y González, 1989[13]), para el efecto se apoya en la siguiente expresión:

$$CE_G = \Sigma\, CE_i$$

De igual manera y adicional a lo anterior se considera la existencia de la variable Procesos Morfodinámicos (PM), la cual no arroja un valor numérico, por lo cual no se

[12] LOZANO, J. y MILLÁN, J. Op. Cit.

[13] RAMÍREZ, F.; GONZÁLEZ., A. J. Op. Cit.

incluye en la anterior expresión; su efecto consiste en que se emplea para calibrar o castigar el resultado; quiere esto decir que, independientemente de cualquier resultado obtenido en la evaluación, una zona cualquiera, cuando está afectada por un proceso de inestabilidad, automáticamente se califica como amenaza alta.

El CE_i de cada una de las variables se establece a partir de parámetros, criterios y calificaciones de estabilidad dentro de cada variable. Se precisa entonces, aclarar en este punto el empleo de los términos Variable, Parámetro y Criterio que se usarán con regularidad a lo largo de la descripción y documentación de la metodología.

Con el término Variable se hace referencia a las ocho (8) categorías generales que representan un tipo de información específico, que marca influencia directa en la estabilidad de las laderas y que pueden ser valoradas a partir de los parámetros y criterios. Alcocer (1997)[14], la define como entidad observable que puede adoptar más de un valor o característica.

Por parámetros se entiende las subcategorías o niveles de información más específicos a considerar y evaluar dentro de cada variable teniendo en cuenta la posible coexistencia de varios componentes, parámetros, aspectos o tendencias a evaluar dentro de una misma variable. Para Martínez (2000)[15], se trata de todas aquellas medidas que describen numéricamente la característica de una población.

Por su parte, se considera criterio como el discernimiento para definir cómo se toma y valora la influencia de un parámetro dentro de la variable de cara a la estabilidad de una ladera.

La **Tabla Nº 14** resume la asignación de puntajes o Calificadores de Estabilidad (CE) a aplicar para cada variable; estos valores fueron ajustados y adaptados a partir del sistema SES y no son el resultado del azar sino que se trata de estimaciones a partir del criterio y experiencia del especialista y son propuestos para su aplicación en el dominio territorial del Distrito.

Tabla Nº 14. Ponderadores de evaluación en la metodología MERDUCAS

VARIABLE		PONDERADOR	
		PUNTAJE	%
M	Material	55	18,33
E	Erosión	26	8,67
R	Relieve	40	13,33
D	Drenaje	38	12,67
U	Uso del suelo	25	8,33
C	Clima	48	16,00
A	Factor Antrópico	46	15,33

[14] ALCÓCER, A. Diccionario estadístico. Madrid. 1997.

[15] MARTÍNEZ, C. Estadística básica aplicada. ECOE Ediciones. Bogotá. 2000.

S	Sismicidad	22	7,33
Total		**300**	**100**

En la tabla se observa que los parámetros de mayor impacto en la estabilidad de las laderas las constituyen Material (M), Clima (C) y Factor Antrópico (A), en tanto que representan baja influencia Sismicidad (S) y Erosión (E) y Uso del Suelo y Cobertura Vegetal (U), esto como ya se mencionara, en estricto apego al criterio del experto

La adecuación del modelo de evaluación para ser aplicada en un entorno urbano se refiere a la inclusión del factor antrópico como parámetro que contribuye en la estabilidad de una ladera. Al respectó se tomo como lineamiento el trabajo de Amenaza Preliminar de un Sector Sur de Santafé de Bogotá, realizado por Millán y Lozano (INGEOMINAS, 1995)[16].

4.2.3 Criterios de aplicación

En su estimación siempre se busca que un parámetro no se evalúe más allá de lo estrictamente necesario e idealmente no más de una vez, así por ejemplo, la pendiente del terreno se consideró únicamente en la variable Relieve, a diferencia de la metodología SES que además la valora en las variables Drenaje y Uso del Suelo (Cobertura Vegetal).

En la **Tabla Nº 15** se presenta una síntesis de las variables, criterios y valores establecidos en el modelo MERDUCAS para la calificación de los diferentes parámetros.

Para las de ocho variables, éstas deben tener zonificada la totalidad del territorio, lo que quiere decir que todo el territorio debe tener asignado un Calificador de Estabilidad (CE), cualquiera que este sea.

El procedimiento que se siguió consiste en revisar y analizar con criterio juicioso y riguroso los parámetros, criterios y calificaciones propuestos para cada variable en la metodología SES, reconociendo que algunas de ellas habían sido

Como se ha mencionado, el modelo MERDUCAS está concebido como una adaptación de la metodología Evaluación de Estabilidad para Zonas Homogéneas (EEZH) y el sistema SES, en el que se valora cada variable a partir de CE asignados según parámetros y criterios definidos procurando además no duplicar la valoración de un parámetro más allá de lo estrictamente necesario y no cargar o hacer uso excesivo de criterios, acaso innecesarios para variables que no se consideran determinantes sino aportantes en la inestabilidad de las laderas. . En este sentido, se buscó simplificar el ejercicio de identificación, definición de criterios, validación y calificación de parámetros dentro de cada variable.

[16] LOZANO, J. y MILLÁN, J. Op. Cit.

Tal simplificación se hizo bajo tres consideraciones:

i) La determinación como parámetro determinante o contribuyente
ii) La validación a través de su aplicación en ejercicios de evaluación a escala de detallada
iii) Evitar la duplicidad en la evaluación de un parámetro, hasta lo estrictamente necesario

En efecto, en el primer caso se consideró, a juicio, y sobre base del criterio y experticio del autor, que en la metodología SES empleada por Ingeocim Ltda., existen parámetros excesiva e innecesariamente recargados para su valoración; es así que para Uso del Suelo (Cobertura Vegetal), existen demasiadas discriminaciones según el tipo de vegetación y la densidad o segmentación de especies vegetales. Similar circunstancia rodea la valuación de las vías.

Con respecto a la segunda consideración, previamente se habían desarrollado evaluaciones aplicando la metodología bajo esquemas simplificados de estas variables con resultados considerados adecuadamente aceptables.

Finalmente, en la tercera consideración se puede mencionar, que calificaciones para parámetros o criterios en la valuación de Usos del Suelo y Factor Antrópico en el que se hacen discriminaciones por pendiente del terreno, fueron ahora revaluados sobre la base de que este parámetro fue considerado como variable independiente, lo que se traduciría en castigar doble o triple este aspecto.

Tabla Nº 15. Modelo MERDUCAS, Resumen de variables, adaptado de SES, Ingeocim 1998

PARÁMETRO M - (Material) Puntaje Máximo: 55

ROCA

TIPO DE ROCA							CONDICIÓN DE FRACTURAMIENTO *			
ORIGEN	Textura	FABRICA					Masiva > 100 cm	Ligeramente fracturada (10-100 cm)	Modera mente facturada (1-10 cm)	Intensamente facturada (< 1 cm)
		NO ORIENTADA			ORIENTADA					
		Entrelazada	Cementada	Consolidada	Foliada	Cementada	Consolidada				
ÍGNEO	Cristalino	R 1								
	Piroclástico		R 2							
METAMOR.	Cristalina masiva	R 1								
	Cristalina Foliada				R 2					
SEDIMEN.	Cristalina	R 2								
	Clástica		R 3	R 3		R 4	R 4			
	ROCA TIPO 1	(σ_c > 2000 Kg/cm²)						55	42	27	17
	ROCA TIPO 2	(1000 Kg/cm² < σ_c < 2000 Kg/cm²)						43	33	21	13
	ROCA TIPO 3	(500 Kg/cm² < σ_c < 1000 Kg/cm²)						30	23	15	9
	ROCA TIPO 4	(σ_c < 500 Kg/cm²)						19	14	10	6

* Separación entre discontinuidades (según Miller)

MATERIAL INTERMEDIO

ROCA PARENTAL		Erodabilidad de la mMatriz				Influencia de las Estructuras *			
		Baja	Media	Alta	Muy alta	Baja	Media	Alta	Muy alta
MATERIAL RESIDUAL	Ígnea	I-2	I-3	I-4	I-4				
	Metamór	I-1	I-2	I-3	I-4				
	Redimen	I-1	I-2	I-3	I-4				
MATERIAL TRANSPORTADO	Talus o material coluvial	I-2	I-3	I-4	I-4				
Tipo I-1						39	30	17	7
Tipo I-2						29	22	12	6
Tipo I-3						18	14	8	3
Tipo I-4						9	7	3	1

* Ver tablas A y B

SUELO

Tipo de Suelo	RESIDUAL			
	SUELO		SUELO SAPROLÍTICO	
Roca Parental	G	F	G	F
Ígnea	S 2	S 3	S 3	S 4
Metamórfica	S 1	S 2	S 2	S 3
Sedimentaria	S 1	S 2	S 2	S 3
Volcánica	S 2	S 3	S 3	S 4

TRANSPORTADO								
Por acción directa de la gravedad		Por agentes naturales						
		AGUA		VIENTO		HIELO		
G	F	G	F	G	F	G	F	
S 3	S 4	S 2	S 3	S 2	S 3	S 2	S 3	

(G) Composición predominante granular (> 65% ret. T 2000) - (F) Composición predominante fina (> 35% pasa T 2000)

TIPO DE SUELO	CONDICIÓN EN EL TERRENO					
	Granular (Densidad)			Fino (Consistencia)		
	Alta	Media	Baja	Dura	Media	Blanda
Tipo S 1	28	18	8	25	15	7
Tipo S 2	21	13	6	20	12	4
Tipo S 3	12	8	3	12	8	3
Tipo S 4	6	3	2	6	3	1

TABLA A. IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS HEREDADAS

ESTRUCTURAS HEREDADAS	densi. baja	densi. alta
Sistemas de diaclasamiento (rellenos o no, estriados o no)	4	8
Contactos litológicos y estratificación depositacional (inherente a la roca parental)	5	10
Superficies de meteorización pronunciada (a lo largo de diaclasas y contactos)	5	10
Diques y otras intrusiones	2	4
Discontinuidades o disposición errática de los materiales	3	6
Antiguas superficies de deslizamientos (Generalmente asociados a una o varias de las estructuras anteriores)	6	12

TABLA B. INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS

INFLUENCIA	Suma de los valores de las estructuras identificables
Baja	0 - 10
Media	10 - 20
Alta	20 - 30
Muy Alta	> 30

Tabla Nº 15. Modelo MERDUCAS, Resumen de variables (Continuación)

PARÁMETRO R - Relieve- (R = A + B) Puntaje Máx. 40

Sub-zonas	Pendiente	A
Interfluvio	0-2	34
Ladera con infiltración	3-7	22
Ladera con reptación	18-58	9
Escarpe o ladera rectilínea	>58	22
Ladera intermedia de transporte	36-58	7
Ladera coluvial	9-36	7
Aluviones	0-7	25
Ladera de cauce	>84	7

Perfil	B
Cóncavo	0
Rectilíneo	4
Cóncavo	6

PARÁMETRO D (Drenaje) Puntaje Máx. 38

Categoría	DD (Km / Ha)	CE
Muy baja	DD □ 0,772	38
Baja	0,772 □ DD □ 2,828	□□
Media	2,828 □ DD □ 6,940	24
Alta	6,940 □ DD □ 8,997	16
Muy alta	8,997 < DD	9

* DD: Densidad de Drenaje

PARÁMETRO E (Erosión) Puntaje Máx. 26

Tipo de erosión	CE
Inexistente	26
Laminar	22
Diferencial (surcos)	17
Concentrada	11
Socavación (cárcavas)	8
Tubificación	7

PARÁMETRO U (Uso del Suelo) Puntaje Máx. 25

PENDIENTE	0-36	36-100	>100
Bosque nativo, secundario, rastrojo alto.	32	25	19
Rastrojo bajo, cultivos permanentes o semipermanentes. (Zona urbana pavimentada) *	27	17	7
Pastos o vegetación herbácea. (Zona urbana sin pavimentar) *	25	14	6
Cultivos limpios o desmonte. (Canteras) *	20	8	3

Nota : Se debe escoger la condición de vegetación más dominante presente en el terreno

PARÁMETRO C (Clima-Precipitación) Puntaje Máx. 48

PRLC *	Muy Bajo	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	Muy Alto
Tr	< 2	< 10	10-15	15-20	20-25	> 25
CE	38	33	26	20	14	8

* PRLC: Período de retorno lluvia crítica

PARÁMETRO A (Factor Antrópico) Puntaje Máx. 46

ZONAS DE AFECTACIÓN				GRADO DE		
				Bajo	Medio	Alto
ZONAS DE EXPLOTACIÓN	Canteras	Actuales	Urbanizadas		16	
			Sin urbanizar			6
		Abandonad	Urbanizadas		18	
			Sin urbanizar			10
	Chircales		Urbanizadas		22	
			Sin urbanizar			12
RONDAS			Intervenidas			2
			Poco interv.	38		
ZONAS URBANAS			Sin urbanizar	40		
			Con servicios	35		
			Red aguas lluvias		26	
			Red aguas negras		30	
			Sin servicios			4

PARÁMETRO S (Sismo) Puntaje Máx. 22

Riesgo sísmico Perfil material**	Valores de Aa*						
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
P1	22	22	21	21	20	20	19
P2	20	19	16	12	10	6	4
P3	12	10	8	7	6	4	2
P4	5	4	4	3	3	1	0

*Aa : aceleración pico efectiva

P1: Depósito en área plana
P2: Roca
P3: Depósito con pendiente < 25°
P4: Depósito con pendiente > 25°

CALIFICACIÓN DE ESTABILIDAD CE Puntaje Máx: 300
CE = M + E + R + D + U + C + A + S

*Adaptada de Ramírez y modificada González - Millán (1998) para el territorio del Distrito Capital

A continuación se examina en mayor detalle la descripción de cada una de las variables:

4.2.3.1 MATERIAL (M) - Puntaje Máximo: 55

La naturaleza y la génesis de los materiales que conforman la superficie terrestre (rocas, suelos residuales, depósitos, etc.), así como sus diferentes relaciones, composiciones, fenómenos o eventos que la modelan y determinan sus características físicas y mecánicas son decisivos en muchos de los procesos que a partir de estos se generan; así la litología, la secuencia, el marco tectónico y las estructuras asociadas, los estados de esfuerzos, la permeabilidad de los materiales, entre otros, van a caracterizar una ladera en un área dada.

El modelo MERDUCAS de evaluación de estabilidad, dentro de los factores de evaluación, considera al material como el de mayor incidencia en la estabilidad de una zona o región, por lo mismo le asigna el mayor ponderador. Su valoración en términos cualitativos, desde el punto de vista del comportamiento geomecánico lo aborda en función de la litología por el tipo de material según sea roca, material intermedio o suelo; a su vez, valora la influencia de los patrones estructurales.

- **ESTRATIGRAFÍA**

En los estudios de zonificación de amenaza por inestabilidad del terreno es de vital importancia la realización de estudios geológicos detallados, con el propósito de conocer en primera instancia la litología de las rocas y depósitos que constituyen el terreno y su grado de fracturamiento y alterabilidad. Estas últimas características están directamente relacionadas con los esfuerzos a los cuales han sido sometidos los materiales de la corteza terrestre, los cuales se evidencian en el plegamiento, fallamiento y diaclasamiento de los macizos rocosos. Para la evaluación del parámetro Material (M) es vital identificar la unidad estratigráfica (Unidad de Terreno) en que se enmarca, así como tener conocimiento suficiente de sus características texturales (fábrica, fracturamiento, alteración).

- **CRITERIOS**

Desde el punto de vista del comportamiento geomecánico, el material que conforma la Unidad de Terreno debe clasificarse como: roca, material intermedio o suelo. De acuerdo con esto y con las condiciones que se encuentre el material, se obtiene un puntaje del parámetro M el cual es característico de la correspondiente Unidad de Terreno.

La estimación del parámetro Material (M) se valora según se trate de:

- **Roca**, en cuyo caso se considera su origen y textura (e.g. rocas sedimentarias clásticas), resistencia del material rocoso y condición de fracturamiento;

- **Material intermedio** se valora la matriz y la influencia de las estructuras heredadas; en tanto que,
- **Los suelos** se clasifican en residuales y transportados, valorando su consistencia o compacidad, si son finos o granulares respectivamente.

Se debe tener cuidado en identificar de manera clara el material superficial, ya sea que se trate de roca, suelo o una transición entre las dos facies; para su valoración se siguen los lineamientos y criterios de las **Tabla Nº 16** a la **Tabla Nº 24**.

4.2.3.1.1 Roca

Se entiende dentro de roca los macizos rocosos, correspondientes a los niveles I y II de los perfiles de meteorización definidos por Dearman (1974)[17],[18], Deere & Patton (1995) (**Figura Nº 2** y **Tabla Nº 17**) y el estado de las masas rocosas se evalúa bajo dos (2) aspectos principales: litología (y/o resistencia del material rocoso) y condición de fracturamiento (Ramírez, 1989[19]).

En cuanto a la litología, el material rocoso que conforma la Unidad de Terreno deberá clasificarse en alguno de los cuatro tipos establecidos en el Sistema de evaluación de acuerdo con la resistencia a la compresión simple (Ic) o a la litología propiamente dicha (Montero et. al., 1989), tal como se precisa en la **Tabla Nº 16**.

> *"… Posteriormente se debe evaluar la condición de fracturamiento, para lo cual se considera desde rocas masivas hasta rocas intensamente fracturadas o cizalladas. En esta evaluación se considera el espaciamiento de las familias de discontinuidades más desfavorables para la estabilidad según su posición espacial* ", (Ramírez, 1989).

- **ORIGEN Y TEXTURA**

Tratándose de rocas, éstas desarrollarán diferente textura o fábrica según sea su origen sedimentario, ígneo (fanerítico, afanítico, etc.) o metamórfico (granoblástica, lepidoblástica etc.).

- **RESISTENCIA**

Los rangos de resistencia a la comprensión simple dada por Ramírez (1988), fueron

---

[17] DEARMAN, William Robert. Engineering geological mapping. London. 1991.

[18] DEARMAN, W. R. 1974a. Weathering classification in the characterisation of rock for engineering purposes in British practice, Bulletin International Association of Engineering Geology (No. 9), 33–42

[19] RAMÍREZ, F. Evaluación de Estabilidad para Zonas Homogéneas: en memorias de I Simposio Suramericano de Deslizamientos. Paipa. Agosto de 1989. pp. 174.

modificados por Ingeocim (1998) debido a que con dichos rangos no se discriminaba el parámetro. Se tomó como clasificación del material rocoso la escala propuesta por Deerly Miller, donde el límite de roca de resistencia muy baja es 280 kg/cm^2, el cual está más acorde con el tipo de rocas presentes en el área del proyecto. En la **Tabla Nº 16** se muestran los rangos utilizados.

- **DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO**

Determina de manera un tanto subjetiva la densidad de fracturamiento clasificándola en categorías a partir de su proximidad a estructuras tectónicas existentes en el medio (fallas, pliegues).

La evaluación de la condición de fracturamiento para un tipo de material rocoso (establecido previamente) modifica la calificación del parámetro M para dicho macizo.

4.2.3.1.2 Material Intermedio

Se define coma material intermedio aquel que posee menos de 70% de matriz (Tamiz #.4) y corresponde a los niveles III y IV del perfil de meteorización de Dearman (**Figura Nº 2 y Tabla Nº 17**) y algunos depósitos de sedimentos. Se evalúan tres características principales: litología, erodabilidad de la matriz e influencia de las estructuras (Ramírez 1989, Op. Cit.).

Tabla Nº 16. Calificador de Estabilidad (CE) para la variable Material (M) en caso de roca superficial

TIPO DE ROCA								CONDICIÓN DE FRACTURAMIENTO *			
ORIGEN	Textura	FÁBRICA									
		NO ORIENTADA			ORIENTADA						
		E / F	Cem	Con	E / F	Cem	Con				
ÍGNEO	Cristalino	R 1						Fracturamiento (cm)			
	Piroclástico		R 2								
METAMÓR.	Cristalina							Masivo	Ligero	Moderado	Intenso
	Masiva	R 1									
	Cristalina							> 100 cm	10 – 100 cm	1 – 10 cm	< 1 cm
	Foliada				R 2						
SEDIMEN.	Cristalina	R 2									
	Clástica		R 3	R 3		R 4	R 4				
ROCA TIPO 1	(I_c > 1120 Kg/cm²)							55	44	25	11
ROCA TIPO 2	(560 Kg/cm² < I_c <1120 Kg/cm²)							43	34	19	9
ROCA TIPO 3	(280 Kg/cm² < I_c < 560 Kg/cm²)							27	22	13	5
ROCA TIPO 4	(I_c < 280 Kg/cm²)							13	10	6	3

E / F Entrelazada o Foliada
Cem Cementada
Con Consolidada
* Separación entre sistemas de discontinuidades (según Millar)

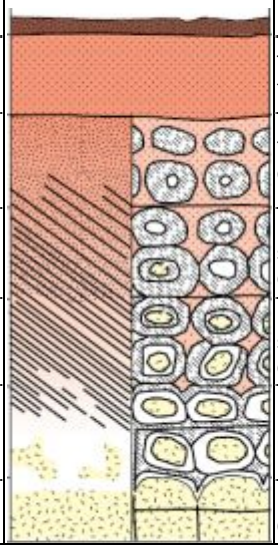
Grado de Meteorización		Descripción de la masa
Humus/suelo sup.		
VI Suelo Residual		Todo el material rocoso está convertido en suelo. La estructura de la masa y la fábrica del material está destruido.
V Completamente meteorizado		Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa está
IV Altamente meteorizado		Más de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. La roca fresca o descolorida está presente ya sea como un cuerpo continuo o como un dique
III Moderadamente meteorizado		Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. La roca fresca o descolorida está presente ya sea como un cuerpo continuo o como un dique
II Levemente meteorizado		La decoloración y superficies discontinuas indican intemperismo del material rocoso. Todo el material rocoso puede estar decolorado por meteorización.
I Roca fresca		No hay signos visibles de meteorización del material rocoso; talvez leve decoloración en las principales superficies de discontinuidad

Figura Nº 2. Escala o perfil de meteorización en roca según Dearman (1974)

Tabla Nº 17. Descripción de los perfiles de meteorización (Deere & Patton)

Grado	Estado Roca	Descripción
VI	Suelo	No aparece textura de roca reconocible Las capas superficiales pueden contener materia orgánica y raíces
V	Completamente descompuesta	Roca completamente descompuesta pero aún aparece textura de roca ligeramente reconocible
IV	Muy descompuesta	Pedazos grandes que pueden ser destruidos con las manos
III	Moderadamente descompuesta	Pedazos grandes que no pueden ser destruidos con las manos (muestras tomadas con broca a rotación)
II	Algo descompuesta	Aparece como roca sana pero tiene manchas que muestran descomposición
I	Sana	Textura original

⊙ **TEXTURA**

El ensamble de las partículas corresponde a la forma como interactúan las partículas unas con respecto a las otras. El ensamble presupone la existencia de una matriz, la cual puede ser arcillosa o granular y se forma por la agregación o la unión de las partículas.

⊙ **ERODABILIDAD**

La disolución y lavado de la matriz o las uniones y la cementación conducen al

desarrollo de una estructura porosa. Este efecto es producto de la frecuente ocurrencia de lluvias y por esto es necesario analizar el efecto de las lluvias sobre los poros y uniones entre las partículas. El ensamble puede ser modificado por el flujo de corrientes de agua.

La litología se considera a partir del tipo de roca parental de los materiales saprolíticos, ya sea esta ígnea, metamórfica o sedimentaria.

Dependiendo de la litología y de la erodabilidad de la matriz, se establecen cuatro (4) condiciones de material intermedio, del más favorable en términos de estabilidad (Tipo I-1), al más desfavorable (Tipo I-4) de acuerdo con los criterios de la **Tabla Nº 18**. Esta apreciación deberá hacerse mediante el análisis comparativo de la condición de erodabilidad de la matriz en los diferentes tipos de material intermedio que se encuentran en el área que se esté estudiando.

Tabla Nº 18. Calificador de Estabilidad (CE) para la variable Material (M) en caso de material intermedio

ROCA PARENTAL		Erodabilidad de la Matriz				Influencia de las estructuras *			
		Baja	Media	Alta	Muy alta	Baja	Media	Alta	Muy Alta
MATERIAL RESIDUAL	Ígnea	I-2	I-3	I-4	I-4				
	Metamórfica	I-1	I-2	I-3	I-4				
	Sedimentaria	I-1	I-2	I-3	I-4				
MATERIAL TRANSPORTADO	Talus o Material coluvial	I-2	I-3	I-4	I-4				
Tipo I-1						39	30	17	7
Tipo I-2						29	22	12	6
Tipo I-3						18	14	8	3
Tipo I-4						9	7	3	1

* ver tablas 20 y 21

La influencia de la tectónica y las estructuras generadas en la matriz de los materiales intermedios, se determina a partir de la suma de estructuras identificables por unidad de área de acuerdo con los rangos indicados en la **Tabla Nº 19** en correspondencia con los presentados en la **Tabla Nº 18**.

Tabla Nº 19. Clasificación de influencia de las estructuras tectónicas para Material Intermedio

Influencia	Suma de los valores de las estructuras identificables
Baja	0 - 10
Media	10 - 20
Alta	20 - 30
Muy Alta	> 30

A estos materiales, a efectos de determinarle el CE, se les debe afectar por la severidad en la erodabilidad de la matriz, asociada a la densidad de las estructuras heredadas de acuerdo con los seis (6) tipos de estructuras heredadas identificadas en

la **Tabla Nº 20**. Quiere esto decir que al valor previamente obtenido, se le resta los valores indicados es esta tabla. Como en el caso de macizos rocosos, se deberá calificar el o los sistemas de discontinuidades más desfavorables para la estabilidad según su posición espacial.

Tabla Nº 20. Afectación del Calificador de Estabilidad (CE) para Material Intermedio por presencia de estructuras heredadas

ESTRUCTURAS HEREDADAS	DENSIDAD	
	Baja	Alta
Diques y otras intrusiones	2	4
Discontinuidades o disposición errática de los materiales	3	6
Sistemas de diaclasamiento (rellenos o no, estriados o no)	4	8
Contactos litológicos y estratificación depositacional (inherente a la roca parental)	5	10
Superficies de meteorización pronunciada (a lo largo de diaclasas y contactos)	5	10
Antiguas superficies de deslizamientos (generalmente asociados a una o varias de las estructuras anteriores)	6	12

4.2.3.1.3 Suelo

En cuanto a su origen, se tienen dos (2) tipos de suelo: residual y transportado (Ramírez, 1989[20]).

Los suelos residuales se diferencian según la roca parental sea sedimentaria, ígnea o metamórfica. En aplicación del perfil de meteorización de Dearman (1974), Op. Cit. (**Figura Nº 2** y **Tabla Nº 18**), se diferencia suelo propiamente dicho (horizonte VI) y saprolito (horizonte V), en este último a diferencia del primero, se advierte características estructurales y texturales inherentes a la roca parental.

Por su parte, entre los suelos transportados se pueden diferenciar aquellos cuya depositación se asocia estrictamente con la gravedad de aquellos en los que intervienen agentes naturales de transporte. Dentro de los primeros se puede mencionar coluvión, talus, flujos (lodos, detritos) y en general depósitos de ladera con contenido de matriz por encima del 30%; a su vez, en el segundo contexto se enmarcan aluviones, depósitos lacustres, loess, dunas, morrenas, cuyos agentes son el agua, el viento o el hielo.

Desde luego, cada tipo de suelo desarrolla sus propias características que afectan de manera particular la estabilidad. Entendiendo esto, se establecen cuatro (4) tipos de

[20] RAMÍREZ, F. Op. Cit. pp. 182.

suelo de modo tal que abarcan desde las condiciones más favorables (Tipo S1) hasta las desfavorables (Tipo S4) tal como se indica en la **Tabla Nº 23**.

En un primer filtro se estima la condición in-situ de los suelos según su génesis; de este modo, si se trata de suelos residuales se les aplica los lineamientos esbozados en la **Tabla Nº 21**; a su vez, si se trata de suelos transportados se emplea la **Tabla Nº 22**. La aplicación de estas tablas genera un código (S1 a S4); el código así obtenido se cruza en la **Tabla Nº 23** contra densidad (para suelos granulares) o consistencia (para suelos finos) para finalmente obtener el CE. Es pertinente advertir que los suelos originados por intemperismo de rocas ígneas resultan levemente menos favorables que otro tipo de suelo residual.

La calificación de estabilidad será función del tipo de suelo (**Tabla Nº 23**, S1 a S4) y de la condición in-situ del mismo. Es válido notar que no se registra la existencia de suelo transportado tipo S1.

Tabla Nº 21. Codificación de suelos residuales

TIPO DE SUELO / ROCA PARENTAL	ESTADO SUELO			
	SAPROLITO		RESIDUAL	
	G	F	G	F
Ígnea	S1	S2	S2	S3
Metamórfica	S2	S3	S3	S4
Sedimentaria				

Tabla Nº 22. Codificación de suelos transportados por agente de depositación

GRADACIÓN	AGENTE DE TRANSPORTE	
	NATURALES (A, V, H) *	GRAVEDAD
GRANULAR	S2	S3
FINO	S3	S4

* A, V, H: Agua, Viento, Hielo

G : Composición predominante granular (< 35% pasa T 200)

F : Composición predominante fina (> 35% pasa T 200)

Tabla Nº 23. Calificador de Estabilidad (CE) de la variable Material (M) para suelo

TIPO DE SUELO	CONDICIÓN EN EL TERRENO					
	DENSIDAD (GRANULAR)			CONSISTENCIA (FINO)		
	ALTA	MEDIA	BAJA	DURA	MEDIA	BLANDA
TIPO S 1	28	18	8	25	15	7
TIPO S 2	21	13	6	20	12	4
TIPO S 3	12	8	3	12	8	3
TIPO S 4	6	3	2	6	3	1

* Ver Tablas Nº 21 y Nº 22

4.2.3.2 EROSIÓN (E) - Puntaje Máximo: 26

⊙ **CONCEPTUALIZACIÓN**

Con el fin de ampliar los criterios en su estimación, vale la pena tener en cuenta los siguientes conceptos, González (1990)[21].

Socavación: se concentra en las riberas de los afluentes principales del río Tunjuelo, originados por la dinámica de las corrientes y la deforestación de las márgenes. Entre los sectores más destacados por este tipo de fenómenos se tienen las rondas de las quebradas: Chiguaza, Santa Librada y Limas; sin embargo, existen problemas de socavación en otros drenajes, pero de menor magnitud.

Erosión Pluvial: se constituye en un proceso importante en las áreas de actividad minera. Se presenta en forma generalizada erosión laminar y los surcos. El carcavamiento intenso se destaca especialmente en la media de la microcuenca de la Olla del Ramo, y en sectores aislados diseminados en la zona de estudio.

Erosión Antrópica (González, 1990): constituyen un factor importante en la degradación de las laderas y se concentra principalmente en la industria extractiva. Acelera la erosión pluvial y potencia problemas de inestabilidad.

⊙ **CRITERIOS Y CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

En erosión, se evalúan dos factores fundamentales: tipo de erosión y porcentaje de área afectada por cada uno de ellos.

Se consideran al menos seis (6) tipos de erosión: sin presencia de erosión, laminar, diferencial, concentrada (cárcavas), tubificación, socavación. Para su evaluación se debe considerar aquel tipo que evidencie mayor impacto sobre la unidad de terreno y dependiendo del área afectada se obtendrá la calificación de la variable E. A fin de eliminar un aspecto que lo puede hacer subjetivo y sesgar su estimación se reducirá cada unidad de erosión a su forma y área más precisa. Su estimación se hará sobre los valores indicados en la **Tabla N° 24**.

Tabla N° 24. Asignación Calificador de Estabilidad (CE) del mapa erial

TIPO DE EROSIÓN	E
Inexistente (Sin erosión)	26
Laminar	22
Diferencial (surcos)	17
Concentrada (cárcavas)	11
Socavación	8
Tubificación	7

[21] LOZANO, J. Y MILLÁN, J. Op. Cit.

4.2.3.3 Relieve (R) (R = A + B) - Puntaje Máximo: 34

⊙ **CONCEPTUALIZACIÓN**

⌗ **Geomorfología**

Las geoformas o morfología superficial de un área refleja el pasado (historia) y presente de la acción de los diferentes agentes que han actuado o actúan sobre la superficie modelándola y dejando formas de relieve como testimonio de su paso por ella.

Geomorfológicamente, las unidades de terreno dependen tanto de factores endógenos (constructores de corteza) como de factores exógenos (destructores de relieve). Como resultado de esta contraposición de fuerzas naturales pueden registrarse una serie de geoformas diferentes, de acuerdo a su génesis, dimensión y distribución.

Las fuerzas endógenas originan las montañas a partir de petrogénesis y tectónica, mientras que las fuerzas exógenas, es decir, los agentes geomorfológicos, son las responsables de los procesos erosivos y los fenómenos de remoción en masa, los cuales afectan la superficie terrestre, degradándola o construyendo nuevos paisajes.

A partir de los rasgos genéticos del relieve se dividió el área de estudio en diferentes unidades geomorfológicas, dependiendo de sus características.

⊙ **CRITERIOS Y CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

La condición de estabilidad de una vertiente o ladera está asociada, en términos de relieve, a las características morfométricas y a los procesos morfodinámicos actuantes sobre ellas. La evaluación del relieve parte, entonces, del modelo morfológico de una vertiente propuesto por Dalrymple et. al. (1969), donde se distinguen nueve (9) unidades hipotéticas, definidas en función de su forma y de los procesos morfodinámicos dominantes sobre la respectiva unidad. De esta manera es posible describir una pendiente así como cada unidad con relación a su papel en la formación, transporte y desarrollo de eventos de remoción en masa (**Figura Nº 3y Figura Nº 4**) [22].

Esta variable tiene en cuenta como criterios, en primer lugar, la naturaleza del tramo bajo una mirada morfométrica, la magnitud de la pendiente media del tramo o unidad en examen y la curvatura o forma (perfil longitudinal) de la unidad de terreno en los términos indicados en la **Tabla N° 25**, (Ramírez, 1989[23]).

[22] LOZANO, J. Y MILLÁN, J. Op. Cit. pp. 13

[23] RAMÍREZ, F. Op. Cit. pp. 182.

La evaluación de la pendiente promedio (Factor A) de la Unidad de Terreno, se hace empleando el perfil hipotético de vertientes propuesto por Dalrymple, et. al. (1968), que se ilustra en la **Figura Nº 4**. A su vez, la forma de la Unidad de Terreno (factor B), se evalúa por medio de su perfil longitudinal representativo. Para ello se consideran como formas principales: convexo, rectilíneo (lineal) y cóncavo.

Tabla N° 25. Criterios para aplicación del CE para unidades de **R**elieve

Sub-zonas	Pendiente (°)	A
Interfluvio	0 – 2	29
Ladera con infiltración	2 – 4	19
Ladera con reptamiento	10 – 30	8
Escarpe o ladera rectilínea	> 30	19
Ladera intermedia de transporte	20 – 30	6
Ladera coluvial	5 – 20	6
Aluviones	0 – 4	21
Ladera de cauce	> 40	6

Perfil	B
Convexo	0
Rectilíneo	3
Cóncavo	5

Los talus y coluviones son depósitos de ladera: el talus es clasto-soportado y el coluvión matriz-soportado. Ambos están en ladera de acumulación (por lo que su agente de depositación lo constituye la gravedad). La infiltración se da en la ladera convexa donde se origina el reptamiento (**Figura Nº 3**). La ladera rectilínea es denudativa y exhibe los horizontes I y II del perfil de Dearman, Duque**,** 2003[24].

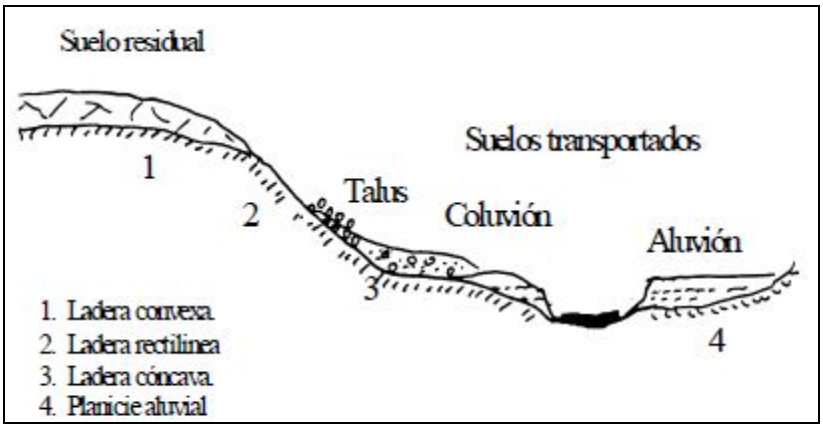


Figura Nº 3. Tipos de Formaciones de suelo, Tomado de Duque Villegas

La **Figura Nº 5** identifica algunos rasgos geomorfológicos de utilidad para apoyar la

[24] DUQUE VILLEGAS, Gonzalo. Geotecnia y Medio Ambiente. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Especialización en Geotecnia. Manizales. Noviembre de 2003.

determinación de las unidades de Relieve.

4.2.3.4 DRENAJE (D) - Puntaje Máximo: 38

⊙ **CONCEPTUALIZACIÓN**

⌗ **HIDROGRAFÍA**

Se refiere a la caracterización de cuencas y subcuencas, su naturaleza, densidad de drenaje, pendientes, identificación de su régimen hidráulico, capacidad de drenaje.

⌗ **DENSIDAD DE DRENAJE**

Es uno de los parámetros físicos de la forma de la cuenca y se define como: la relación entre la longitud total de los cauces dentro de una cuenca y el área total de drenaje o longitud de canales por unidad de área.

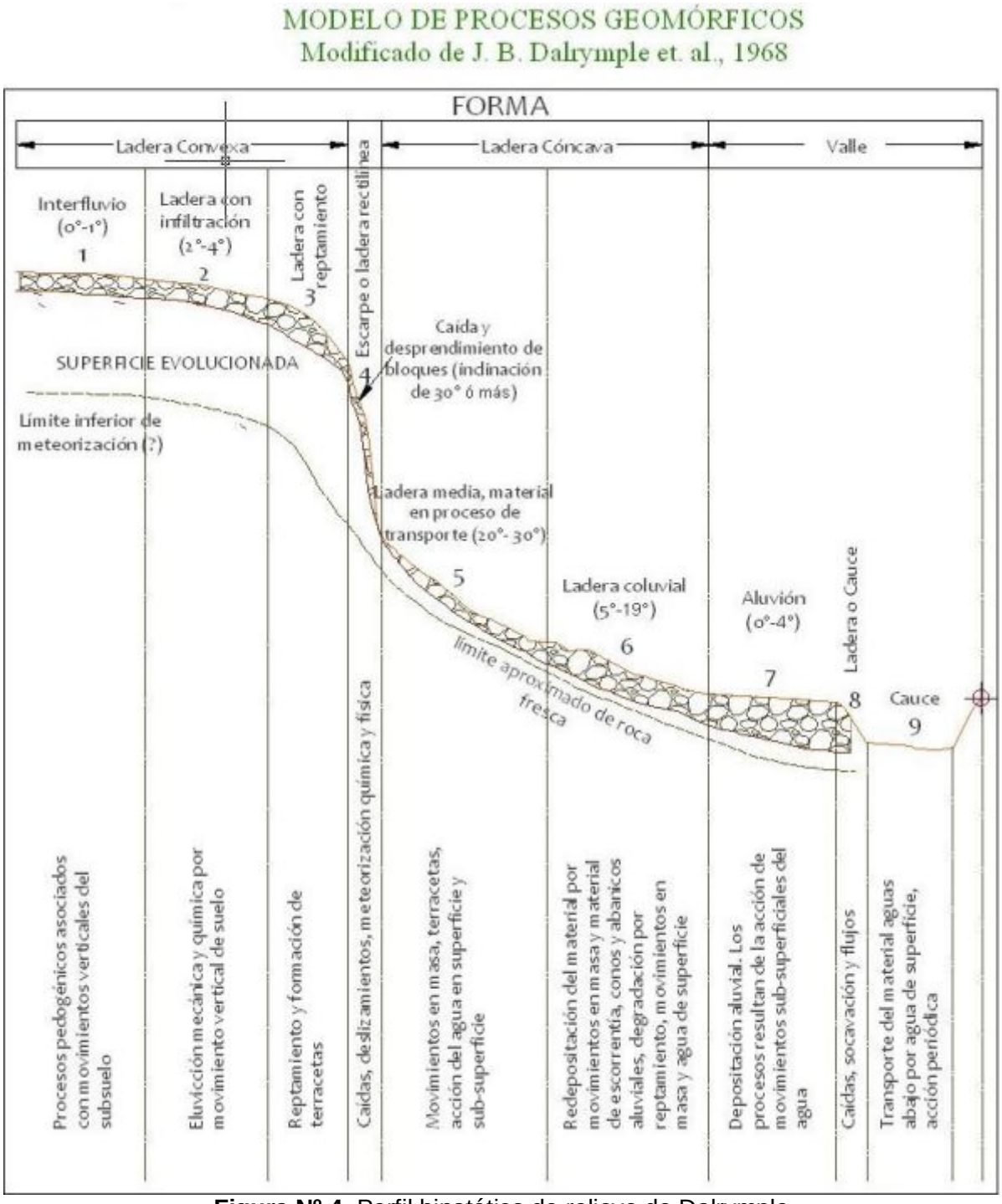
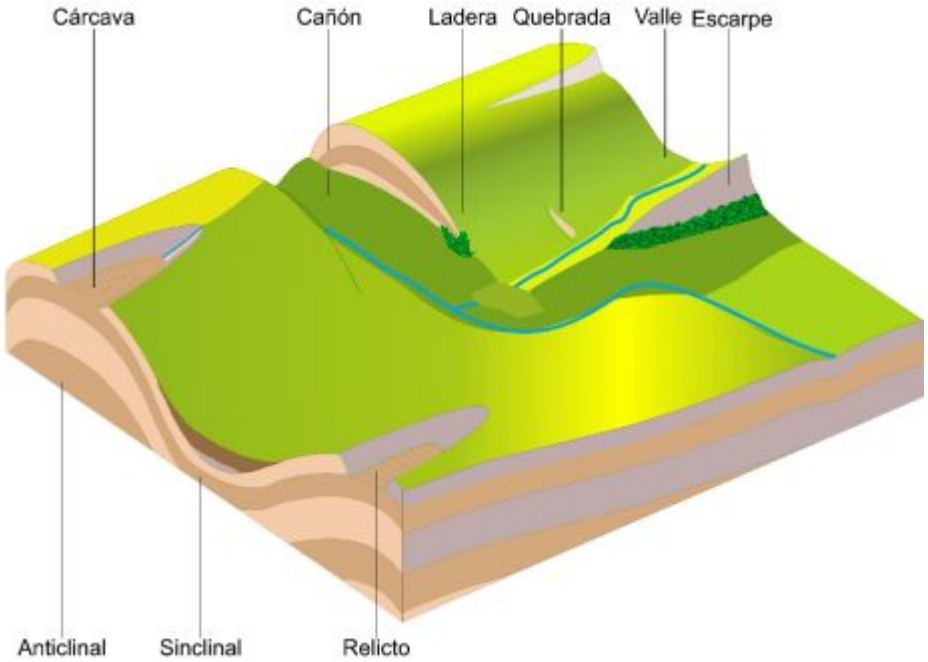


Figura Nº 4. Perfil hipotético de relieve de Dalrymple
Tomado de Dalrymple, 1968



Tomado de: http://geografia.laguia2000.com/wp-content/uploads/2007/02/jurrassique.png&imgrefurl

Figura Nº 5. Rasgos geomorfológicos para definir unidades de Relieve

Una densidad alta refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación; por el contrario, una cuenca con baja densidad refleja un área pobremente drenada con respuestas hidrológicas muy lentas, González (1989)[25]. Como consecuencia de lo anterior, una microcuenca con numerosos cauces (o bien drenada), supone el incremento del área expuesta a agentes erosivos como la socavación y puede, en casos especiales, ocasionar la pérdida de soporte a las unidades de terreno adyacentes.

En sitios donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables y donde el relieve es bajo se presentan densidades de drenaje bajas. Esto es observable en la cartografía al cruzar mapa de densidades y/o trazado de la red de drenaje contra topografía. Los valores altos de la densidad reflejan generalmente áreas con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal.

- **PENDIENTE DEL CAUCE**

Los rangos de pendiente de cauces Alta, Media y Baja, se asocian a los tipos de drenaje de montaña, intermedios y de planicie respectivamente.

⊙ **DESCRIPCIÓN**

[25] GONZÁLEZ, A. Op. Cit.

Reconociendo que el modelo de disección (drenaje) es función de las características litológicas, climáticas, y topográficas del terreno, debe establecerse la densidad de drenaje como la relación de la longitud total de drenaje por superficie tomando como unidad de medida el área de la microcuenca en Km/Ha. Los rangos de valores para las condiciones de densidad de drenaje baja, media o alta, deberán establecerse para cada ambiente geológico e hidrológico en particular[26].

Ésta, para su estimación se apoya en la determinación de Densidad de drenaje de la microcuenca y bajo el entendido que González (1989) expone en el sentido de "un área bien drenada supone unas condiciones de menor humedad en el subsuelo de la microcuenca";

Con la información poblacional propia del área de estudio se determina la función de distribución y con ello los valores para determinar los límites de intervalo para las categorías de densidad de drenaje alta, media y baja.

⊙ CRITERIOS Y CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

A diferencia de la metodología de Evaluación de estabilidad para zonas homogéneas y el sistema SES y consistente con la premisa planteada en el numeral 4.2.2 de reducir la duplicidad en la evaluación de ciertos parámetros, al abordar en el modelo MERDUCAS la estimación de la variable Drenaje, se descarta la evaluación del parámetro pendiente (ya evaluado dentro de la variable Relieve), como consecuencia se aborda la evaluación de esta variable bajo los criterios expuestos en la **Tabla Nº 26**.

Los valores indicados en la **Tabla Nº 26** son el resultado de un tratamiento estadístico sobre la población de datos obtenidos mediante el software SIG a través de una herramienta estadística para el efecto; en este caso se trata de una distribución normalizada.

Tabla Nº 26. Criterios para estimación de CE para Drenaje según su densidad

CATEGORÍA	DENSIDAD DRENAJE (Km / Km^2)	CE
Muy baja	D D ≤ 0,963	38
Baja	0,963 < D D ≤ 2,806	31
Media	2,806 < D D ≤ 6,492	24
Alta	6,492 < D D ≤ 8,33	16
Muy alta	8,33 < D D	9

[26] LOZANO, J. Y MILLÁN, J. Op. Cit. pp. 13

4.2.3.5 Uso del Suelo y Cobertura Vegetal (U) - Puntaje Máximo: 25

⊙ **CONCEPTUALIZACIÓN**

Se trata de una variable que se torna un tanto difícil de evaluar comoquiera que se traza una línea divisoria tan delgada en su evaluación que eventualmente se hace difícil discretizarla de la evaluación de la variable Factor Antrópico en ciertos parámetros.

Corresponde a una de las variables con menor peso dentro de la evaluación de estabilidad; en efecto, al tratarse de un factor aportante antes que determinante, se le asigna un CE de 25.

⌖ **USOS URBANOS**

Corresponden a los que reconoce la normatividad urbana establecida en el mismo POT y varios de los instrumentos que lo desarrollan y que están contenidos en los diferentes tratamientos urbanísticos (desarrollo, consolidación, renovación urbana, conservación, mejoramiento integral). En tal caso, se resumen en sus áreas de actividad a saber: residencial, industrial, dotacional, comercio y servicios, central, urbana integral, actividad minera, suelo protegido (Plano Nº 25 del POT).

Son varios los elementos superficiales que pueden contener los diferentes usos urbanos y comunes a cada uno, entre otros: superficies impermeables (construcciones, vías pavimentadas, áreas duras de parques de escala vecinal especialmente), superficies semipermeables (superficie de vías en afirmado), superficies permeables (vías en tierra, zonas verdes).

⌖ **COBERTURA VEGETAL**

La cobertura vegetal, en general, constituye un factor fundamental en las condiciones de estabilidad, particularmente en lo referente al control de la erosión (interceptación, retención, retardo, infiltración, transpiración) y contribuye a prevenir movimientos en masa (deslizamientos superficiales).

Bishop y Alaska (1964), concluyen que la destrucción y la pérdida gradual del sistema interconectado de raíces, es la causa principal del incremento de deslizamientos en zonas inestables.

Respecto a la influencia de la capa vegetal en la estabilidad, vale citar algunos conceptos de Gray (1982)[27]:

- Los sistemas de raíces ayudan al refuerzo mecánico del suelo, por la

[27] LOZANO, J. Y MILLÁN, J. Op. Cit. pp. 13

transmisión de esfuerzos de corte en el suelo a la resistencia a la tensión de las raíces
- El sistema vegetativo modifica el contenido de humedad del suelo por efecto de la evotranspiración
- Los sistemas de raíces invaden grietas, fisuras y canales en la masa de suelo o roca pudiendo generar esfuerzos locales que contribuyan con la inestabilidad
- El movimiento de los árboles por acción del viento, se traduce en efectos de momento sobre la superficie
- El peso de la vegetación ejerce sobre la ladera efectos tanto estabilizadores (fuerzas normales a la pendiente) como inestabilizadotes (fuerzas en el sentido de la pendiente)

Como consecuencia de lo anterior, es claro que el sistema radicular contribuye favorablemente en la estabilidad de los suelos al actuar éste como método de anclaje penetrando las capas subyacentes.

El mismo Gray (1973), estudió el efecto de la vegetación en los esfuerzos de succión en suelos parcialmente saturados, concluyendo que la succión se recobra en áreas cubiertas por vegetación después de eventos pluviométricos mucho más rápido, en adición al hecho que en estas áreas, las laderas son mucho más estables durante períodos lluviosos. Brenner (1973), citado por Ramírez (1988), encontró que la cobertura vegetal acelera la pérdida de humedad del suelo.

- **DESCRIPCIÓN**

Partiendo de un ejercicio de validación que se hiciera sobre la base de la aplicación de la metodología en una evaluación a escala detallada, pero simplificándolo para su uso práctico, se observó que tal simplificación reproduce y representa de manera adecuada este parámetro dentro de la evaluación global de estabilidad.

La evaluación de la variable se aplica sobre escenarios territoriales, a saber: suelo cubierto por usos urbanos, cubierta vegetal (especialmente elementos de la Estructura Ecológica Principal - EEP) y usos mixtos u otros usos (minería, cuerpos de agua), tal como se relaciona en la **Tabla Nº 27**.

En este caso se hacen consideraciones i. e. que el estado de permeabilidad de la vía tiene alguna influencia (con mayor o menor favorabilidad) independientemente de que el suelo urbano tenga uso residencial, comercial, institucional, etc. A diferencia del estudio de Ingeocim, en el que se definieron polígonos generales de acuerdo con la naturaleza y el estado de las vías, en desarrollo del ejercicio aquí planteado, se individualiza la cobertura de la superficie discriminando en el territorio (a partir de información de IDU y UAECD) las áreas que corresponden a predios construidos, a vías ó zonas descubiertas (zonas verdes, zonas de cesión Tipo A o Tipo B, Zonas de Control Ambiental, etc.); de otro lado, a fin de agilizar su evaluación sin sacrificar la calidad en su evaluación, se determinaron superficies en los corredores viales

(vehiculares o peatonales) como impermeables, semipermeables o permeables orientado a fijar un indicador cualitativo de grado de infiltración.

Por otra parte, revalúa la estimación que se hace por pendiente para la presencia de canteras al considerar que se evalúa y castiga doble este parámetro cuando lo que realmente se está examinando es la destinación que se le está dando a un predio específico y, máxime, teniendo en cuenta que la pendiente ya se valoró como tal en una variable independiente.

Dentro de esta variable se manejó como uno de los parámetros el de cobertura vegetal. Consecuente con este análisis se fijaron las categorías y valores presentados en la **Tabla Nº 27**.

Es pertinente hacer precisión que, en apariencia, el drenaje está siendo objeto de doble evaluación, pero se hace necesario comoquiera que se trata de un elemento que inevitablemente cubre la superficie, lo que obliga a asignarle alguna calificación (CE).

⊙ **CRITERIOS Y CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

En desarrollo de esta metodología, y como criterio principal, se busca asignarle un CE a cada uno de todos los posibles usos que puedan cubrir el suelo, sea este urbano, de expansión, rural o de la Estructura Ecológica Principal. En este contexto, el valor adoptado está orientado ante todo, a representar la permeabilidad del medio físico y por tanto el potencial de que las aguas de infiltración impacten las propiedades del medio físico.

En esta variable, al no tratarse de una variable determinante sino aportante en la inestabilidad del suelo, se retomó en buena medida los parámetros considerados en el estudio de Ingeocim (1998), pero se reorganizó bajo criterios diferentes para lo cual se clasificó el área de estudio en escenarios territoriales: en efecto, la evaluación se abordó definiendo parámetros y criterios para suelo con uso urbano, suelo con cobertura vegetal (elementos de la Estructura Ecológica Principal – EEP, suelo rural y suelo de expansión urbana) y usos mixtos u otros usos especialmente en suelo urbano donde se alternan los dos anteriores y se hace extensivo a la actividad extractiva. Como patrón general, se buscó simplificar la evaluación para no cargar, de manera excesiva y acaso innecesaria, de criterios para su evaluación.

Se hace preciso aclarar que aunque en ciertos casos no conserva el uso considerado como parámetro, su evaluación si se sesga así por la condición en que pueda haber quedado, tal es el caso de las canteras ya que a pesar de haberse suspendido la actividad extractiva, en la gran mayoría de los casos ni siquiera se realizó el correspondiente plan de manejo, restauración o recuperación ambiental (PMRRA).

A diferencia del sistema SES, en el modelo MERDUCAS no se evaluó el parámetro pendiente para esta variable, por el criterio expuesto en el numeral 3.3.

En cada escenario de estos, se evalúan elementos o parámetros como:

- Suelo con urbano
  - Predio construido
  - Cobertura impermeable (pavimento)
  - Cobertura semipermeable (afirmado / adoquín)
  - Cobertura permeable (vía en tierra o predio sin construir)
  - Zonas de cesión

- Estructura Ecológica Principal (Estructura Ecológica Principal, suelo rural o suelo de expansión urbana)
  - Tipo de cobertura vegetal por especies de bosques, rastrojo, vegetación herbácea, pastos, cultivos

- Otros usos / usos mixtos
  - Sin cobertura
  - Degradación en diversos medios
  - Explotación minera
  - Cuerpos de agua

La valoración en puntajes (CE) están definidos en un rango de 8 a 25 puntos (para cobertura diferente a agua en cuto caso tiene un CE de 1) donde el menor valor corresponde a zonas limpias deterioradas (como canteras) y el mayor a bosque nativo.

Para las fuentes de información cartográfica empleada se buscó que fuera idealmente la de mejor resolución o escala, así pues, para uso del suelo se descartó la base de SDA (Atlas Ambiental) al estar a una escala muy general (posiblemente 1:100.000), mientras que la que preparó Ingeocim Ltda., está disponible a 1:5000.

Todas las categorías de pastos (naturales, plantados, pastoreo, protección) se unificaron en pastos (P).

Tabla Nº 27. Parámetros y Criterios para estimación de CE para la variable Uso del Suelo y Cobertura Vegetal

Categoría	Descripción	Cód	CE
Suelo cubierto por usos urbanos			
Suelo uso urbano U	Cobertura impermeable (pavimento)	U_1	21
	Cobertura semipermeable (afirmado / adoquín)	U_2	15
	Cobertura permeable (tierra) o predio sin construir	U_3	12
	Predio construido	U_4	17
Zonas de cesión ZC	Zona Verde	ZC_1	16
	Zona de manejo ambiental	ZC_2	18
	Zona arbolada	ZC_3	20

Categoría	Descripción	Cód	CE
	Z. V. deteriorada	ZC_4	8
Cubierta Vegetal			
Arbóreo	Bosque	AB	25
	Plantación forestal	AF	24
	Arbolado disperso	AA	22
Rastrojo	Rastrojo alto	RA	22
	Rastrojo bajo, matorral, misceláneo de cercas vivas	RB	20
Parches de bosque	Misceláneo de parches de bosque ligeramente fragmentado	MFba	24
Matorral, misceláneo de parches mixtos	Matorral cerrado, misceláneo de parches de matorral, rastrojo o cordón ripario aceptablemente fragmentado	MFmi	18
Misceláneo de parches fragmentados de mixtos	Misceláneo de parches de bosque, matorral, rastrojo o cordón ripario intensamente fragmentado	MFbi	16
Hierba	Vegetación de páramo	H_{VP}	16
	Pastizal, chuscal, helechal, misceláneo	H_H	16
Cultivo	Cultivo, misceláneo de cultivos	C	15
Desmonte	Cultivos limpios o desmonte (canteras)	S_3	8
Otros usos / Usos Mixtos			
S	Sin cobertura, afloramiento rocoso	S_1	10
	Zona degradación severa	S_2	8
	Explotación minera	S_3	8
	Zona quemada	S_4	10
W	Cuerpos de agua	W	1
Parcialmente sin cobertura	Degradación severa en área construida	S_2-U_4	13
	Degradación severa en pastizales	S_2-P	11
	Degradación severa en cultivos	S_2-RC_2	12
	Explotación minera con rastrojo	S_3-RC_1	12
	Explotación minera con cultivos	S_1-RC_2	12
	Zona quemada sobre afloramiento rocoso	S_1-S_4	10
	Construcción urbana en zona de cantera	S_3-U_4	12
Pastizales y otros	Construcción en pastizales	P-U_4	17
	Pasto con rastrojo bajo	P-RC_1	16
	Pasto / cultivo tecnificado	P-RC_2	16
	Z. degradada sin cobertura / pasto	P-ZC_4	12

4.2.3.6 Clima - Precipitación (C) - Puntaje Máximo: 48

⊙ **CONCEPTUALIZACIÓN**

Se trata de una variable de la mayor influencia en la estabilidad de una unidad de terreno. Coherente con esta tesis, y en consideración de que se trata de un agente determinante como factor detonante, se le asigna un CE de 48. Corresponde, a su vez, a un factor extrínseco en la generación de deslizamientos.

La intensidad y la duración de la lluvia necesarias para disparar el movimiento dependen en cada caso de las condiciones iniciales de humedad y de la posición del nivel freático en la zona del mismo modo que la litología de la unidad de terreno; estas variables guardan una estrecha relación con la precipitación precedente, la cuál se puede describir de la siguiente manera[28]:

Cuando la precipitación cae sobre una ladera o talud, un porcentaje de ella es interceptado por la vegetación, otro se filtra en el suelo o se almacena en las depresiones para luego infiltrarse en él. El proceso de infiltración continúa aún después de que cesa la lluvia y en algún momento pueden crearse condiciones críticas para la ladera o el talud, ya que la humedad del suelo y la posición del nivel freático han aumentado, generando altas presiones de poros y disminuyendo los esfuerzos efectivos y la resistencia al cortante. Si ocurre otra precipitación, así sea leve, pero que contribuya a la condición de presurización del subsuelo, se pueden alcanzar los umbrales de inestabilidad que disparan el movimiento de una parte de la ladera.

El aumento de humedad del suelo y la posición del nivel freático también están relacionadas con el factor antrópico, ya que en el proceso de urbanización se elimina la cobertura vegetal y en los asentamientos subnormales no se controla adecuadamente el agua superficial y subterránea; esto hace que la erosión hídrica y la infiltración aumenten, creando frentes erosivos y fenómenos de remoción en masa en estas últimas zonas, en especial en aquellas que corresponden a antiguas áreas de explotación minera.

En Bogotá, poco se ha trabajado para tratar de conocer de qué manera la precipitación influye sobre la estabilidad de taludes y por consiguiente no hay correlaciones ni estudios para estimar la periodicidad de los eventos o los niveles críticos de precipitación que disparan los movimientos en masa.

- **CLIMA (C)**[29]

  Los factores climáticos: precipitación, temperatura, humedad relativa, evapotranspiración, entre otros, influyen en las condiciones de inestabilidad de una ladera modificando la estructura y composición de los materiales y por consiguiente su comportamiento geomecánico.

  La valoración del parámetro clima se realizó en función de la precipitación, por

[28] INGEOCIM LTDA. Op. Cit., Vol. Cobertura vegetal y uso actual del suelo. pp. 3.
[29] INGEOCIM LTDA. Op. Cit., Vol. Evaluación de Amenaza. pp. 38.

considerar que las lluvias en muchos casos, actúa como factor detonante de la inestabilidad, aunque en ocasiones es solo un factor contribuyente, y por ser una variable factible de ser medida o cuantificada con relativa facilidad.

- **LLUVIA CRÍTICA**

Es el volumen de la precipitación acumulada o el valor límite para que se presente un deslizamiento. *La lluvia acumulada o de larga duración,* también denominada en Castellanos (1.996) como *lluvia crítica*. Esta lluvia se evalúa como la resultante de la precipitación acumulada durante los últimos ciento ochenta días anteriores a la ocurrencia del deslizamiento.

La lluvia evento o de corta duración. Esta lluvia se define como la precipitación registrada durante las veinticuatro horas anteriores a la ocurrencia del deslizamiento.

- **DURACIÓN CRÍTICA**

La duración crítica es el tiempo de duración necesario para que la precipitación alcance el valor de volumen crítico.

- **RELACIONES LLUVIA CRÍTICA - DURACIÓN**[30]

La evaluación de los parámetros de lluvia crítica para movimientos en masa es un proceso complejo en el cual intervienen numerosas variables. Sin embargo, a nivel mundial se ha tratado de obtener diversos tipos de relaciones (e.g. Caine (1980), Vargas (1983), Da Costa Nunes et. al. (1983), Guidicini et al (1984), Wieczorek et.. al. (1990), etc.), las cuales se han aplicado localmente con relativo éxito y las cuales involucran la precipitación antecedente acumulada y la precipitación diaria o una intensidad dada en el día del evento. Estas relaciones inclusive, se han usado para establecer sistemas de alerta (e.g. d'Orsi et al, 1997).

Existen dos tipos de relaciones lluvias-deslizamientos: i) aquellas lluvias que normalmente son de alta intensidad y relativa corta duración (usualmente no superior a 72 horas) que ocasionan "eventos de lavado"; se trata de lluvias que disparan movimientos pequeños y poco profundos y que generan gran erosión y/o flujos de detritos, y ii) las que se relacionan con los deslizamientos de cierta magnitud, en los cuales las lluvias detonantes son las acumuladas en el tiempo en el área aferente al talud, normalmente son de mayor duración y tienen mayor incidencia que la precipitación que ocurre poco antes del movimiento, existiendo un retraso entre los picos de lluvias y el movimiento (e.g. Gómez Isidro, 1990) en este caso parte de la lluvia acumulada puede generar todos los eventos (erosión, flujos y deslizamientos) y pueden presentarse simultánea o secuencialmente a causa de un solo evento de precipitación. La separación de los dos tipos de relaciones es una labor muy difícil y no se conocen en el momento metodologías para hacerlo.

[30] INGEOCIM LTDA. Op. Cit., Vol. Hidrología. pp. 15.

Las relaciones entre duración y lluvia antecedente acumulada y entre lluvia antecedente acumulada y lluvia media anual presentadas por Ingeocim Ltda., surgieron en la Tesis de Maestría en Geotecnia del Ing. Ramiro Castellanos en la Universidad Nacional (Castellanos, 1996; Castellanos y González, 1997), del análisis de la información disponible para Colombia y se trata de relaciones totalmente empíricas que resultaron del estudio de la información sobre deslizamientos y lluvias disponibles en el país en ese momento.

- **RELACIÓN ENTRE LOS DESLIZAMIENTOS Y LA LLUVIA ACUMULADA**[31]

Castellanos & González (1.997), explican que: "*antes de ocurrir el movimiento la ladera se encuentra en equilibrio y presenta un nivel freático dado por las lluvias anteriores y el ciclo hidrológico imperante en la región. Inicialmente el agua que cae como precipitación se convierte en interceptación, retención de humedad y humedad del suelo, luego comienza a aparecer las componentes debidas al movimiento del agua dentro del suelo como son el flujo subsuperficial (por encima del nivel freático) y el agua subterránea (por debajo del nivel freático); al mismo tiempo se genera la escorrentía. La escorrentía ocasiona erosión superficial; el flujo subsuperficial introduce la fuerza de infiltración y provoca erosión interna o tubificación, el ascenso del nivel freático por aumento del agua subterránea satura los materiales que conforman la ladera, aumenta la presión de poros y disminuye los esfuerzos efectivos; el aumento de humedad elimina las tensiones capilares y las presiones de poros negativas; y todas las componentes del agua precipitada sobre la ladera aumentan el peso de la masa, favoreciendo de esta manera la ocurrencia de movimientos*" (**Figura Nº 6**). Según lo anterior, si el factor causante de los deslizamientos es la precipitación, la cantidad e intensidad necesarias para que ocurra el movimiento depende en cada caso de las condiciones iniciales de la humedad y del nivel freático de la zona, los cuales están claramente relacionadas con las lluvias precedentes. De aquí la importancia de la precipitación acumulada en la inestabilización de la ladera.

Algunas conclusiones relevantes de este trabajo son:

- El umbral de lluvia detonante se alcanza cuando se presenta un volumen de lluvia acumulado conocido como "lluvia crítica", que se obtiene en una duración específica, la cual se denomina "duración crítica".

- La cantidad de lluvia requerida para desencadenar los deslizamientos tiende a ser mucho mayor en las zonas donde la precipitación anual es alta que en aquellas zonas donde es baja.

- La lluvia crítica se puede relacionar con la lluvia anual en forma lineal por lo que es posible establecer la expresión matemática respectiva.

[31] MAYORGA M., R. Op. Cit. pp. 55

Descripción detallada del modo de operación de la metodología aparece descrita en Castellanos (1996) y Mayorga (2003).

Mayorga (2003) concluye en su trabajo de posgrado que "*La lluvia detonante, de algunos movimientos en masa, es la lluvia evento mientras que la lluvia acumulada es poco significativa***"** y documenta esta conclusión en resultados de precipitaciones de múltiples estaciones según los cuales la precipitación del día del evento es significativa, es decir, mayor o aproximada a 40 mm; mientras que los periodos de retorno de la lluvia acumulada no lo son, es decir, son bajos o con valores entre uno y dos años.

De acuerdo con los estudios de la Japanese Geotechnical Society (1.997) y D´Orsi y otros. (1.987), en la metodología para determinar la relación entre la precipitación y los deslizamientos, consideran que existen dos tipos de efectos principales de la precipitación: "*El efecto acumulativo de la lluvia o precipitación de largo plazo y el efecto inmediato de la lluvia o precipitación de corto plazo, la cual se presenta justo antes de la ocurrencia del deslizamiento"* [32].

⊙ **DESCRIPCIÓN**

En el análisis se deben establecer algunas relaciones estadísticas de periodos de lluvia asociados a la ocurrencia de deslizamientos, en los cuales se cuantifique la intensidad y duración de este fenómeno, con el fin de pronosticar los deslizamientos que se puedan presentar si ocurren ciertas condiciones o límites críticos de lluvia, denominados "umbrales" [33].

Tal como lo expresa Ramírez (1989)[34], "…*Es indudable y aceptado que a mayor intensidad y duración de estas (lluvias), mayores serán las posibilidades de que se desarrollen procesos de degradación en las laderas*"

En Colombia, las causas de los eventos desastrosos son meteorológicas en un 96% y concuerdan con su régimen pluviométrico, el cual es uno de los más abundantes del mundo. El 56% de dichas causas se le atribuyen a la lluvia prolongada, el 37% a lluvias intensas pero de corta duración y en menor porcentaje a las tormentas tropicales o huracanes (Castellanos, 1.996[35]).

---

[32] MAYORGA M., RUTH. Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. Tesis de Postgrado, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias U. N. Bogotá. 2003. pp. 57.

[33] MAYORGA M., R. Ibid. pp. 70.

[34] RAMÍREZ, F. Op. Cit. pp. 191.

[35] CASTELLANOS, R. & GONZÁLEZ, A. Relaciones entre la lluvia anual y la lluvia crítica que dispara movimientos en masa. IX Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. SCG. Santa Fe de Bogotá. 1996. pp. 57.

Esto deja ver la influencia directa de la precipitación en la incubación de deslizamientos lo que permite suponer que resulta válido asignar los mayores CE a aquellas zonas donde históricamente hay mayor concentración de eventos.

⊙ **CRITERIOS Y CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

La metodología consiste en delimitar zonas en las cuales se tiene un efecto de comportamiento homogéneo del medio como consecuencia de la ocurrencia de las precipitaciones.

Estas zonas de efecto similar se especializan para su representación en un mapa. Para el modelo MERDUCAS se empleó el período de retorno de la lluvia crítica (Tr_{llc}) como elemento discriminante para el factor lluvia. Con los períodos de retorno de la lluvia crítica, se clasificó el área en zonas de mayor influencia de la lluvia en la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa. *Así, los sectores más críticos se definen donde los períodos de retorno son menores, es decir la posibilidad que se presente la lluvia precedente es mayor, y viceversa.*

En el ejercicio de obtención de valores y CE de la variable se procedió así: a partir de los eventos identificados en la bitácora de la DPAE, de los cuales se conoce su localización y fecha de ocurrencia, se ubica la estación climática más próxima. Con los datos de lluvias diarias se determinan las series de lluvias acumuladas más desfavorables como la secuencia acumulada de mayor valor en días sucesivos previos a la ocurrencia del evento; con esto se determina el umbral de la lluvia crítica y posteriormente su período de retorno (Tr).

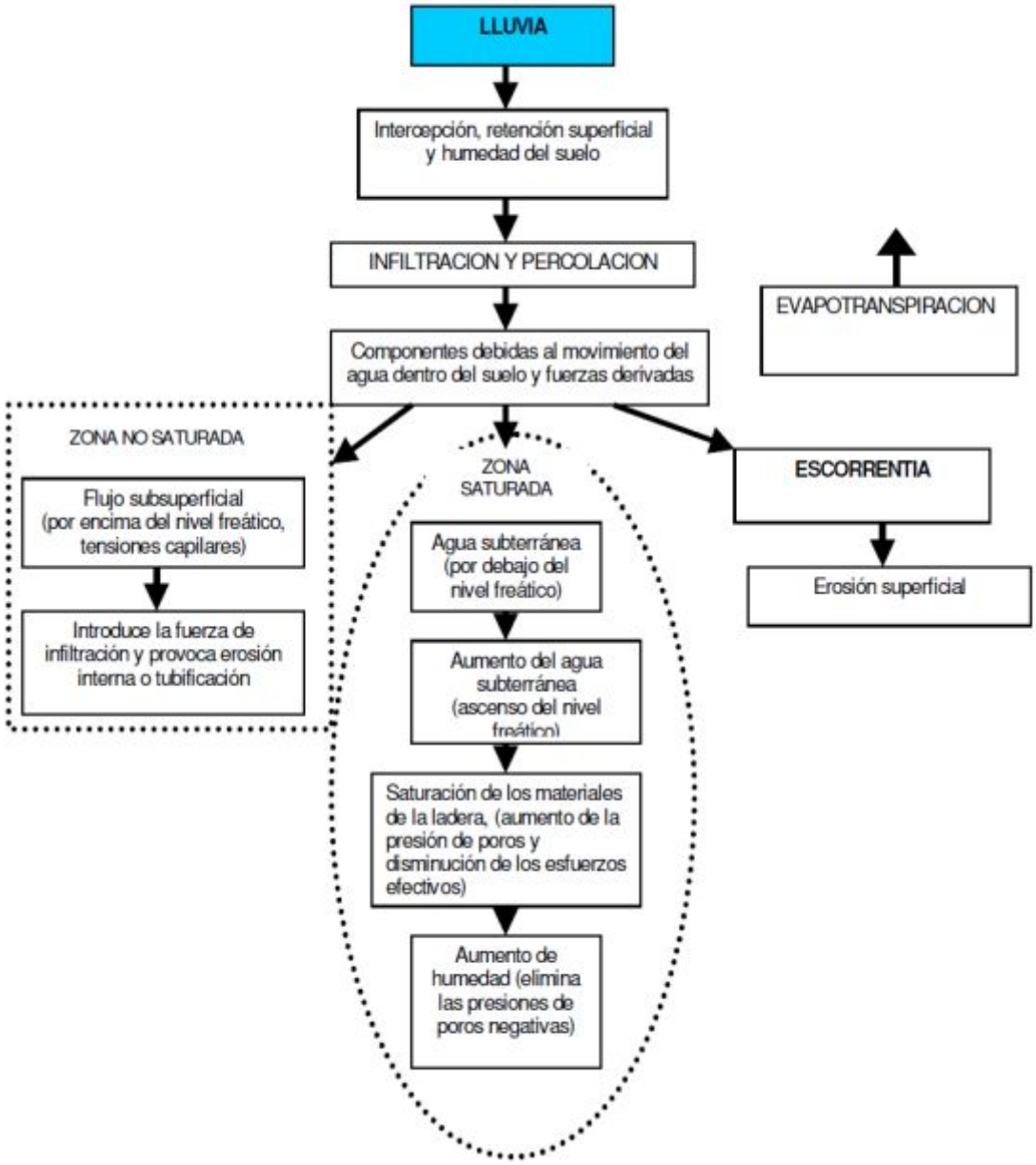


Figura Nº 6. Relación entre los deslizamientos y lluvia acumulada (tomado de Mayorga, 2004)

No obstante, surge aquí una diferencia sustancial con la forma de aplicar la evaluación; en efecto, mientras en el sistema SES "*..los sectores más críticos se definen donde los períodos de retorno son menores, es decir la posibilidad que se presente una lluvia precedente es mayor, y viceversa*"; pues bien, al examinar la espacialización de los resultados de esta variable, se advierte que los menores CE están asociados a las áreas donde menor precipitación se presenta y viceversa, ó lo que es lo mismo, las mejores condiciones de estabilidad por precipitación, estarían asociadas a aquellas

zonas en donde se concentran la mayoría de eventos de inestabilidad, lo cual desde luego, resulta contradictorio. Advirtiendo esto, en el modelo MERDUCAS, se empleó el criterio contrario consistente en asignarle los CE más favorables a los menores períodos de retorno, lo cual resulta consistente con la naturaleza acumulativa de la metodología según la cual se asignan los mayores CE a las condiciones más favorables en cada variable, tal como se indicara en el numeral 4.1.2.

Entonces, la cuantificación del parámetro clima se definió como se muestra en la **Tabla Nº 28**:

TABLA Nº 28. Valoración y estimación de CE para variable Clima

T RETORNO (Años)	CLASIFICACIÓN	CE
< 2	Muy Alta	48
2 – 10	Alta	42
10 – 15	Media Alta	33
15 – 20	Media	25
20 – 25	Baja	18
> 25	Muy Baja	10

4.2.3.7 FACTOR ANTRÓPICO (A) - Puntaje Máximo: 46

⊙ **CONCEPTUALIZACIÓN**

Corresponde, después de Material, a la variable de mayor influencia en el modelo MERDUCAS y se considera un factor determinante a la vez que se identifica como agente extrínseco con característica de detonante o aportante al cual se le asigna un CE de 46.

Esta variable recoge la identificación y valoración de cualquier intervención de origen humano, sea esta positiva o negativa.

Los efectos antrópicos como detonante de deslizamientos son múltiples y van desde el simple hecho de pararse en un lugar muy susceptible (sobrecarga), hasta la explotación intensiva y extensiva de recursos minerales (erosión, en el término lato) [36].

Algunas de las causas que se consideran son:

i) Deforestación
ii) Conformación de rellenos
iii) Excavaciones por explotaciones u obras
iv) Descargas de efluentes

[36] INGEOCIM LTDA. Op. Cit., Vol. Evaluación de amenaza por fenómenos de remoción en masa. pp. 21.

v) Implementación de obras de urbanismo y el urbanismo mismo
vi) Implementación de medidas estructurales de control o reducción del riesgo (construcción de obras de mitigación)

Estas introducen modificaciones al medio físico, normalmente adversas por lo que en la mayoría de los casos trae consigo deterioro del mismo, por efectos como relajación de esfuerzos del suelo en los sitios de descargas, aumento de presiones hidrostáticas, incremento en el peso de la masa de suelo y debilitamiento de la misma por acción de las aguas de infiltración, aumento de la carga por acción de rellenos, alteración al drenaje, entre otros.

- **FACTORES (AGENTES) ANTRÓPICOS**

La intervención del hombre sobre el medio físico puede considerarse como agente contribuyente o detonante de procesos de inestabilidad del terreno: su acción se refleja de diferentes maneras y magnitudes en la deforestación, en cambios morfológicos, y en intervención sobre los drenajes naturales.

Su evaluación dentro del análisis de estabilidad de grandes extensiones resulta difícil de estimar o cuantificar por su variada naturaleza y por involucrar bastantes parámetros, no tan fácilmente medibles. Resulta acaso más precisa su estimación para escalas grandes cuanto más se puedan determinar y medir el tipo y magnitud de las intervenciones (cortes/excavaciones, descargas de agua, etc.).

Para el propósito del presente trabajo se desarrolló como el cruce cualitativo de mapas (de diferentes parámetros) aplicados en cuatro (4) escenario territoriales: suelo urbano, uso industrial de alto impacto (minería), suelo urbano no urbanizado y zona rural o Estructura Ecológica Principal. El mapa resultante establece zonas donde el efecto del hombre sobre el medio físico tiene efectos de intensidad similar.

- **ESCENARIOS TERRITORIALES**

Para los propósitos de este documento se denomina así a la clasificación del territorio en cuatro divisiones espaciales de acuerdo a la carga de uso atribuible a los demandas del hombre sobre el medio físico. Así pues, se divide en usos urbanos, industria de alto impacto, área rural o Estructura Ecológica Principal (EEP).

- Escenario urbano

Corresponde, de manera análoga a como se había indicado para la variable Uso del Suelo en el numeral 4.2.3.5, a lo que reconoce la normatividad urbana y contenidos bajo los diferentes tratamientos urbanísticos (desarrollo, consolidación, renovación urbana, conservación, mejoramiento integral).

Sin embargo, se excluyen de ésta, para clasificarlo en otra categoría: las áreas de actividad minera, suelo protegido del Plano Nº 25 del POT.

Se caracteriza por estar dotado de infraestructura para soportar la carga que el uso urbano demanda, a saber: infraestructura vial, redes de servicios públicos (acueducto, alcantarillado, electricidad, etc.), construcciones, elementos de uso dotacional, mobiliario urbano, etc.

- Uso industrial de alto impacto (Minería)

Corresponde a una de las áreas de actividad del suelo urbano y se caracteriza por - como su nombre lo indica – provenir de una actividad que por su naturaleza impacta de manera significativa el medio físico y, habitualmente, de manera negativa.

Se trata de canteras, activas o inactivas, recuperadas o no, especialmente de arena, puesto que son éstas las que introducen las modificaciones topográficas y morfológicas más severas.

- Zonas urbanizables no urbanizadas

Se trata de una categoría particular de uso de suelo urbano o de expansión urbana y en el que como característica principal se distingue que se trata de áreas superiores a una (1) hectárea, sin construir, sin infraestructura urbanística, con moderada intervención y cuya vocación es eminentemente urbana. Muchos de ellos corresponden a extensiones a ser desarrolladas como plan parcial.
.
Su medición se establece a partir de la valoración cualitativa de la intervención que el hombre pueda haber ocasionado sobre estos predios que puede ir desde nula o escasa hasta severa.

- Zona rural o Estructura Ecológica Principal

En esta categoría se enmarcan suelos que tienen una vocación vegetal en suelo rural, de expansión urbana o urbano pero que cuenta con elementos de la Estructura Ecológica Principal – EEP, como zonas de reserva forestal, Corredores Ecológicos de Ronda – CER, parques de escala metropolitana, local o zonal.

Su medición se hace a partir del impacto que ha tenido sobre estos elementos la probable intervención humana, medidas desde la no intervención.

- **ELEMENTOS INTERVENIDOS**

Se identifican y describen los elementos expuestos a intervención relacionando los tipos de actividad a los que se hallan sujetos

- Rondas: casi en su totalidad han sido deforestados y en su zona de ronda y

ZMPA (Zona de Manejo y Preservación Ambiental) ha sido invadida con la construcción de vivienda, no resulta extraño que sus riberas hayan sido destinadas para la disposición de residuos de diferente índole como desechos domésticos, escombros de construcción, adicionalmente, es común encontrar vertimientos indiscriminados de aguas residuales sin control alguno.

La intervención sobre las rondas se considera como una de las más críticas por la conjugación de los diversos factores mencionados y porque los moradores de las riberas, además de los potenciales eventos de inestabilidad, están expuestos a crecientes inusitadas de los cuerpos de agua.

- Áreas de explotación minera: involucran canteras, chircales y gravilleras. El impacto y degradación sobre el medio físico es intenso reflejado, ante todo, en la modificación severa de la morfología con la generación de taludes de considerable pendiente y altura; son muy escasos los ejemplos de canteras que hayan sido objeto de la implementación del PMRRA (Plan de Manejo, Recuperación o Restauración Ambiental). Independientemente del grado actual de actividad, su valoración se realiza a partir del estado de recuperación morfológica y ambiental

Los principales efectos sobre el medio físico son: menoscabo de las condiciones de estabilidad por pendiente y altura de los frentes mineros, exposición de los materiales a agentes de intemperismo, mala disposición de estériles, invasión de rondas de los cuerpos de agua, entre otras.

- Zonas urbanas: se entiende en un contexto análogo al que se expusiera en el acápite anterior como los elementos espaciales que permiten habilitar la superficie para el goce colectivo de la comunidad lo cual implica la disposición de vivienda, mobiliario urbano, infraestructura vial, redes de suministro de servicios públicos domiciliarios, elementos de uso dotacional, etc. No obstante, son muchas los frentes urbanos que no cuentan con redes de alcantarillado sanitario y pluvial, en los que las aguas circulan libremente sobre las superficies de las vías desarrollando infiltración, frentes erosivos y ablandamiento de la masa superficial de material.

- Excavaciones / rellenos: define cortes o rellenos que se puedan realizar como parte del acondicionamiento para cualquiera de las obras de urbanismo, a saber: vivienda, vías o como parte de la adecuación en los frentes cuando de minería se trata.

- Deforestación: entendido como la tala de árboles con el propósito de asignarle al suelo otros usos como el agrícola, vivienda o industrial.

- Obras de estabilización: se presenta cuando constructores institucionales o privados acatan con responsabilidad las disposiciones en la materia e implementan obras adecuadas de estabilización previa o simultáneamente con

las obras viales o urbanísticas con base en estudios y diseños específicos. Consiste en una combinación en cualquier orden de obras de contención, de reconformación, drenaje, protección. Se trata en este caso, desde luego, de una intervención positiva.

Con base en el conocimiento de la problemática ambiental del Distrito se definen cuatro (4) categorías generales de intervención, adaptado de Lozano y Millán (1995)[37]:

- Alta: define sectores con degradación severa del medio físico el cual se ha acondicionado para el desarrollo o activación de fenómenos de inestabilidad. Por orden jerárquico de intervención se encuentran la invasión e intervención de rondas, zonas urbanizadas sin contar con licencia de urbanismo o construcción, canteras activas o inactivas, áreas de excavación, áreas de botaderos o escombreras, chircales.

- Media: en esta categoría clasifican áreas sin evidencias claras de problemas de inestabilidad, pero en condiciones actuales aceptables para la generación de deslizamientos. Estas son: canteras o chircales abandonados urbanizados y zonas urbanas con cobertura adecuada de redes de alcantarillado y pluvial. Incluye además, centros poblados de las ruralidades.

- Baja: agrupa sectores urbanos consolidados, urbanizados bajo condiciones adecuadas de protección ambiental con infraestructura completa de servicios públicos, redes funcionales de aguas superficiales, adecuado tratamiento de vías; se incluye también zonas de reserva forestal con escaso o nulo estado de intervención y zonas rurales.

- Positiva: da cuenta de implementación de obras de urbanismo bajo prácticas adecuadas de diseño e intervención en los espacios urbanos y cuerpos de agua, o en su defecto, de recuperación morfológica y ambiental cuando de canteras se trata.

Grosso modo, en la evaluación del Factor Antrópico, se reconocen como impactos negativos[38]:

- La alteración de los taludes naturales por actividad minera y de explanación para procesos de urbanización.
- La ocupación de rondas por viviendas, parques, centros educativos y por la disposición de basuras.
- La construcción antitécnica de asentamientos en áreas de antiguas canteras y chircales.
- La eliminación de la cobertura del suelo por los procesos de urbanización.

[37] LOZANO, J. Y MILLÁN, J. Op. Cit. pp. 15

[38] INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS LTDA - DPAE. Zonificación de riesgo por movimientos de remoción en masa en 101 barrios de la localidad de Usme. Bogotá, 1998. pp. 27.

- La recolección antitécnica de las aguas lluvias y sanitarias en las áreas urbanas.
- La conducción y suministro de agua potable por mangueras en mal estado.

⊙ **DESCRIPCIÓN**

Para su evaluación, se divide la totalidad del territorio en los cuatro (4) escenarios territoriales descritos en el numeral anterior y sobre cada uno de ellos se hace una estimación propia, dependiendo del impacto sobre la superficie, de los diferentes usos asociados a actividades humanas.

No obstante, para los escenarios de uso urbano y minería se evaluaron los mismos parámetros teniendo en cuenta que en uno u otro se pueden establecer muchas actividades comunes aunque con severidad diversa, así pues, es posible identificar antiguos predios mineros en los que se ha desarrollado urbanismo de origen ilegal en el que se pueden identificar actividades como: construcción de vías, viviendas, suministro de acueducto, alguna forma de drenaje de aguas lluvias y servidas (así sea esta vertimientos directos sobre la ladera), eventuales obras de estabilización (que en el caso de las canteras lo constituye la implementación del Plan de Manejo, Recuperación o Restauración Ambiental - PMRRA), etc.

En las zonas urbanizables no urbanizadas, como otro escenario territorial, bajo el entendido de que no se desarrollan la gran mayoría de las actividades identificadas en los otros escenarios territoriales, la evaluación se simplifica haciendo una estimación cualitativa relacionada con el estado de intervención o deterioro del predio.

Finalmente, para el escenario agroforestal, se incorpora el suelo rural, las zonas de reserva de la Estructura Ecológica Principal incluyendo los parques de escala diferente a la vecinal; en este contexto, se evalúa por el tipo y densidad de la cubierta vegetal.

Acorde con los lineamientos de evaluación planteados para el modelo MERDUCAS, en cada parámetro de los escenarios urbano y minero, se establecieron diferentes tipos de intervención sobre el medio los cuales se van acumulando para dar un gran total (cuyo máximo corresponde al tope de la variable), cada uno de estos va tomando mayor valor en la medida que el impacto desfavorable va disminuyendo. Es preciso hacer claridad que para estos escenarios la totalidad de su territorio tiene asociada un valor CE para cada uno de los parámetros, cualquiera que este sea.

A fin de simplificar esta evaluación y no hacer múltiple evaluación de ciertos parámetros, se descartan actividades de beneficio o transformación, habida cuenta de que el impacto por tal actividad ya se consideró como zona degradada o deteriorada en el uso del suelo (en el parámetro Uso del Suelo); así las cosas, se reduce el esquema a la identificación, espacialización y evaluación de las áreas mineras únicamente desde le punto de vista de su estado de actividad como activa, inactiva (suspendida, abandonada) o recuperada[39].

[39] PÉREZ B., Luis Jairo. Contrato DPAE PS-380/2009. Informe Agosto de 2010.

En la **Figura Nº 7** se presenta de manera esquemática los parámetros generales considerados para evaluar la variable Factor Antrópico.

La valoración procura determinar la magnitud del impacto humano sobre el medio, por lo cual en cada parámetro propone una serie de criterios que reflejan precisamente ese impacto, así, por ejemplo, valora la posible influencia de la existencia o inexistencia de redes de alcantarillado y fija como escala para su valuación (impacto severo, fuerte, moderado, incipiente, positivo), desde el más desfavorable hasta el más favorable: inexistencia (con descargas directas de aguas residuales sobre las laderas), redes conformadas por mangueras, redes provisionales (implementadas por el usuario sin diseños, materiales de baja calidad y escasas especificaciones técnicas de construcción) hasta redes definitivas instaladas y conectadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB.

⊙ **PARÁMETROS, CRITERIOS Y CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

La metodología consiste en delimitar zonas en las cuales se tiene un efecto de comportamiento homogéneo del medio como consecuencia de las intervenciones humanas identificadas.

Se precisa hacer claridad en cuanto a la valuación del parámetro obras de mitigación dentro del escenario urbano (o PMRRA para canteras); en efecto, dado que este demanda hacer una evaluación de cada uno de los parámetros en la totalidad del territorio lo que significa que forzosamente deber haber una calificación para este parámetro, teniendo en cuenta además que en la mayor parte del territorio no van a existir obras de mitigación, su evaluación se plantea como su existencia de cara a la posible necesidad de la obra; quiere lo anterior decir que si no existe la necesidad de obra de estabilización, su calificación será la máxima, como si esta existiera.

TABLA Nº 29. Valoración y estimación de CE para variable Factor Antrópico

ESC. TERRIT.	Tipo Intervención	Elemento	Nom_Uni / Descripción	Código	CE
ESC. USO URBANO	O. Urbanismo	Obras de estabilización	Definitiva	UEd	15
			Provisional	UEp	7
			Inexistente	UEi	0
		Superficie (estado) vías	Pavimento	UVp	7
			Afirmado	UVa	5
			Tierra	UVt	2
		Vivienda	Pr. construido	UCc	7
			Pr. sin construir	UCs	4
	Manejo aguas	Obras de drenaje superficial y subsuperficial (A. pluvial)	Completa	ADc	7
			Deficiente	ADd	4
			Inexistente	ADi	0
		Acueducto	Oficial	AAo	5

ESC. TERRIT.	Tipo Intervención	Elemento	Nom_Uni / Descripción	Código	CE
			Provisional tubería	AAt	2
			Provisional manguera	AAm	1
			Sin redes	Aas	4
		Alcantarillado	Oficial	ASo	6
			Provisional	ASp	4
			Sin alcantarillado	ASs	0
	Intervención de cauces	Adecuación y recuperación		Cr	8
		Sin intervención		Cs	6
		Vertimientos		Cv	5
		Obstruido		Co	3
		Invasión		Ci	2
ESC. USO INDUSTRIAL ALTO IMPACTO (MINERÍA)	O. Urbanismo	Recuperación morfológica y ambiental	Definitiva	MEd	12
			Provisional	MEp	6
			Inexistente	MEi	0
		Superficie vías	Pavimento	MVp	6
			Afirmado	MVa	4
			Tierra	MVt	1
		Vivienda	Pr. construido	MCc	6
			Pr. sin construir	MCs	4
	Manejo aguas	Obras de drenaje superficial y subsuperficial (A. pluvial)	Completa	MAdc	6
			Deficiente	MAdd	4
			Inexistente	MAdi	0
		Acueducto	Oficial	MAao	4
			Provisional tubería	MAat	1
			Provisional manguera	MAam	1
			Sin redes	MAas	4
		Alcantarillado	Oficial	MAso	5
			Provisional	MAsp	4
			Sin alcantarillado	MAss	0
	Intervención de cauces	Adecuación y recuperación		MCr	5
		Sin intervención		MCs	4
		Vertimientos		MCv	3
		Obstruido		MCo	2
		Invasión		MCi	1

TABLA Nº 29. Valoración y estimación de CE para Factor Antrópico (continuación)

ESC. TERRIT	Tipo Intervención	Elemento	Nom_Uni / Descripción	Código	CE

.					
ZONAS URBANIZABLES NO URBANIZADAS		Intervención (deterioro) escasa o nula		NUn	45
		Intervención (deterioro) baja		NUb	38
		Intervención (deterioro) moderada		NUm	32
		Intervención (deterioro) alta		NUa	25
		Intervención (deterioro) extrema		NUe	18
AGROFORESTAL		Zona rural / zona de reserva	Árboles y arbustos	RA	42
			Matorral	RM	33
			Hierbas	RH	28
			Cultivos	RC	25
			Asentamiento urbano	RU	26
			Erial	RE	15
		EEP*	CER* recuperado	ECr	45
			CER sin intervención	ECs	32
			CER con vertimientos	ECv	22
			CER obstruida	ECo	12
			CER invadida	ECi	14
			Z. V.* / parque arbolado	EPa	42
			Z. V. / parque herbáceo	EPh	32
			Z. V./ parque construido	EPc	30
			Z. V. / parque erial	EPe	20

***Nota**

EEP	Estructura Ecológica Principal
CER	Corredor Ecológico de Ronda
Z. V.	Zona Verde

Si bien a lo largo de este documento se ha expresado que se ha procurado evitar la evaluación doble de ciertos parámetros, en la evaluación de esta variable, se ha justificado llevarlo a cabo. En efecto, en el caso de Factor Antrópico, a diferencia de otras variables, se puede acumular calificaciones de 2 ó más parámetros en su valoración, i.e. por que en otras variables, una unidad dada está cubierta, por ejemplo, por una sola unidad geológica, tiene un solo rango de pendiente, una sola densidad de drenaje o una sola cobertura del suelo, mientras que en Factor Antrópico es posible la coexistencia de varias actividades, e.g., una cantera, a la vez que modifica la topografía, puede presentar inadecuado manejo de aguas sanitarias, intervención de cauces, entre otros. Como consecuencia, se establece la calificación de la variable como una sumatoria de las calificaciones individuales de la actividad derivada de cada parámetro en un escenario territorial; vale la pena tener en cuenta que estos valores se suman sin exceder el valor máximo de la variable; en esto hay que tener cuidado en el concepto y uso de valor negativo; dado que se trata de una metodología acumulativa,

las intervenciones negativas pueden tener valor de cero o cercano a él (en ningún momento se presentarán valores negativos), en tanto que aspectos que favorecen la estabilidad tendrán valores significativamente más altos. En la **Tabla Nº 29** se relacionan los parámetros, criterios y CE para la evaluación de la variable Factor Antrópico.

4.2.3.8 SISMICIDAD (S) - Puntaje Máximo: 22

⊙ **CONCEPTUALIZACIÓN**

Corresponde, a una variable con baja incidencia en la ocurrencia de deslizamientos no por resultar despreciable sus efectos sino por su baja probabilidad de ocurrencia en un escenario de corto plazo, por lo que se considera un agente extrínseco con característica de detonante o aportante al cual se le asigna un CE de 22.

Se adoptan las siguientes definiciones[40]:

- **AMENAZA SÍSMICA**

  Es el valor esperado de futuras acciones sísmicas o de los fenómenos físicos asociados con un sismo que pueden producir efectos adversos al hombre y sus actividades. Se entiende también como el parámetro que cuantifica la ocurrencia de futuros eventos sísmicos y las acciones sísmicas asociadas. Es expresada en términos de probabilidad de excedencia de determinado valor, por ejemplo la intensidad o aceleración, en un lapso de tiempo dado.

- **ACELERACIÓN**

  Aumento de la velocidad del movimiento del suelo en función del tiempo.

  Se utiliza en la ingeniería sísmica para definir el movimiento vibratorio del suelo o de las estructuras; se expresa en fracción de gravedad (g)

- **ACELERACIÓN ESPECTRAL**

  Espectro de amplitud de Fourier de la aceleración del terreno.

- **ACELERACIÓN SÍSMICA**

  Aceleración del movimiento del terreno producido por las ondas sísmicas generadas por un terremoto.

[40] http:// www.proteccioncivil.es/.../vademecum/vdm0259.htm

⊙ **DESCRIPCIÓN**

Su evaluación se lleva a cabo sobre dos factores: tipo de material y amenaza sísmica. Los niveles de amenaza sísmica a partir de los valores de aceleración superficial (Aa) del mapa de microzonificación sísmica de Bogotá.

Se tomó como presupuesto que se incluyó, una 'unidad' a la que se asignó un puntaje o CE relativamente alto en razón a su conformación morfológica y se trata de los depósitos recientes localizados de la zona de piedemonte hacia abajo en su transición a los depósitos lacustres y aluviales, la justificación es que se trata de zona plana (pendientes inferiores a 2°) en las que resulta muy improbable el desarrollo de deslizamientos ante la ocurrencia de ondas sísmicas.

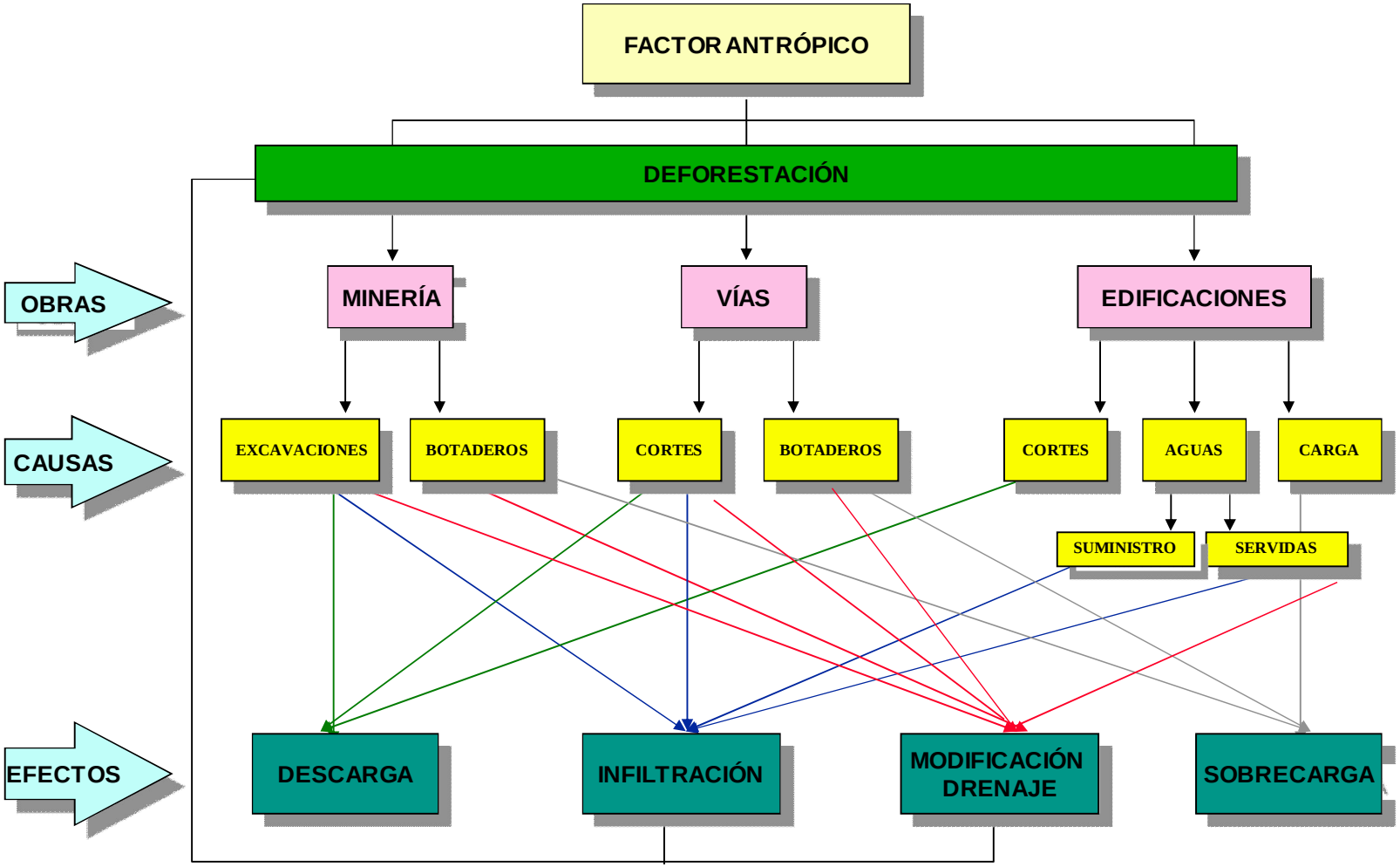


Figura Nº 7. Esquema de parámetros que intervienen en la estimación de Factor Antrópico. Tomado de Ingeocim (1998)

⊙ PARÁMETROS, CRITERIOS Y CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

Para la clasificación de los materiales según su susceptibilidad a eventos sísmicos, se adoptaron los tres (3) tipos de perfil reconocido por el Decreto Distrital 193 de 2006 y el mapa de microzonificación sísmica de Bogotá.

Para la efectos sísmicos y la variable de sismo se evalúan considerando los resultados de la Microzonificación Sísmica de Bogotá (Ingeominas – UniAndes, 1997), de acuerdo con el Decreto Distrital 193 de 2006 definiendo a partir del estudio en cita los espectros indicados en la **Tabla Nº 30** para las diferentes zonas que se tomaron de acuerdo con la respuesta de aceleración y espectros considerados:

Tabla Nº 30. Coeficientes espectrales de diseño. Fuente: Ingeominas, 1997.

PARÁMETRO	ZONA				
	1 CERROS	2 PIEDEMONTE	3 LACUSTRE A	4 LACUSTRE B	5 TERRAZAS Y CONOS
To	0.20	0.20	0.50	0.50	0.50
Tc	1.00	1.20	3.00	3.00	3.00
TL	5.00	6.00	5.71	5.71	5.71
Am	0.24	0.30	0.25	0.16	0.20
An	0.30	0.40	0.30	0.20	0.30
Fa	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0
Fv	2.0	2.25	32.48	31.18	25.98

PARÁMETROS

To: Periodo I
Tc: Periodo Corto
TL: Periodo Largo
Sa: Aceleración Espectral
Am: Aceleración Máxima
An: Aceleración Nominal
Fa: Factor de Amplificación de la Aceleración
Fv: Factor de Amplificación de la Aceleración en el rango de velocidades constantes

⌗ TIPO DE MATERIAL

De acuerdo con el Decreto 33 de 1998 y la Ley 300 de 1997 que corresponde con la Norma de Construcciones Sismorresistentes, los tipos de materiales corresponden a tres categorías, así:

*Aa : aceleración pico efectiva
**Tipos de materiales según el código colombiano de construcciones sismo - resistentes .(AIS, 1984)

S1: a) Roca de cualquier característica, ya sea cristalina o lutítica que tiene una velocidad de la onda de cortante > 750 m/s

b) Perfiles conformados por suelos duros con un espesor menor de 60 m, compuestos por depósitos estables de arenas, gravas o arcillas duras

S2: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 60 m de depósitos de arcillas duras o suelos no cohesivos

S3: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 10 m de depósitos de arcillas cuya dureza varía entre mediana y blanda, con ó sin intercalación de arenas u otros suelos no cohesivos

Para adelantar el presente estudio se tuvo en cuenta la siguiente clasificación, adoptada de Ingeominas, 2009:

Roca, para espesores de depósitos inferiores a 6m
Intermedio, espesores de suelo entre 6 y 12
Piedemonte, espesores de suelo entre 12 y 25m

Teniendo en cuenta que la clasificación en cualquiera de los casos obedece tanto a tipo de materiales como a espesores en los depósitos se utilizó una propuesta de Ingeominas (2007) para determinar el espesor, que consiste en relacionar la pendiente del terreno con el espesor del depósito.

De la exploración realizada y tomada por Ingeocim Ltda., en la cual se determinó el tipo de formación geológica a la cual asociar los materiales descritos en los sondeos de la exploración, se tomaron los registros donde se identifican depósitos de ladera o coluviales en cuyos sondeos se reportó rechazo, es decir se evidencia la presencia de roca. En la **Tabla Nº 31** se presenta la información de lo registros, citando la fuente y su localización y la profundidad que para efectos de análisis se considera el espesor del depósito.

Con la localización de los sondeos y con la ayuda de las herramientas SIG se determinó la pendiente promedio en el sitio del sondeo, para determinar una correlación entre el espesor del depósito y la pendiente del terreno. En la **Figura Nº 8** se presenta la distribución de puntos.

Tabla Nº 31. Datos de espesores de material de depósitos

Fuente	Sector	Loc	Material		Localización		SO	M	USC	Prof.
			Unidad	Tipo	Norte	Este	Norte	Este		
Ingeocim	Unicerros	1	Qdlc	Arcilla	112010	105825	2	5	CL	8.25
Hidrotec	San Martín de Porres	2	Qdlc	Matriz Arcilla	103984	102118	1	5	CL	3.80
Ingeocim	Parque Nacional		Qdlc	Arcilla	103085	102270	1	14	CL	9.70
			Qsr		103250	102230	2	7	CH	3.70
	San Isidro		Qs	Limo	108945	106835	1	5	MH OH	6.25
	Chapinero Alto		Qta	Arcilla	105860	102295	1	5	CH	7.25

Fuente	Sector	Loc	Material		Localización		SO	M	USC	Prof.
			Unidad	Tipo	Norte	Este	Norte	Este		
	La Paz	3	Qdl	Arcilla Limo	101148	101504	1	4	CL	4.25
			Qdl	Arcilla	101153	101478	2	4	CH	4.10
	Rocio Alto		Qdl		98810	100696	3	3	CL	1.80
Ing. Geotecnia	Cra 3 Clle 26		Qta		101438	101282	1	3	CL	4.80
			Qta		101408	101292	2	7	CL	3.80
			Qta		101423	101299	3	6	CL	3.50
	B. Girardot		Qr		98800	100210	1	21	CL	12.70
	La Concordia		Qr		100030	101065	5	4	CL	4.00
Proyekta	Rep. Canada	4	Qft		93306	98707	P1	3	CH	4.50
Ingeominas	Esc. Moralba		Qfg		94105	99730	1	3	CL	4.81
	Esc. Moralba3		Qfg		94080	99675	2	4		7.53
Ingeocim	Libertador		Qft		93170	98950	1	3	CH	3.75
Ingeominas	Juan Pablo II	19	Qdlc		95470	92065	1	2	CL	2.45
Ing. Geotecnia	B. San Antonio		Qdlc		95500	92070	3	3	CL	3.30

Fuente: Ingeocim Ltda., 1998

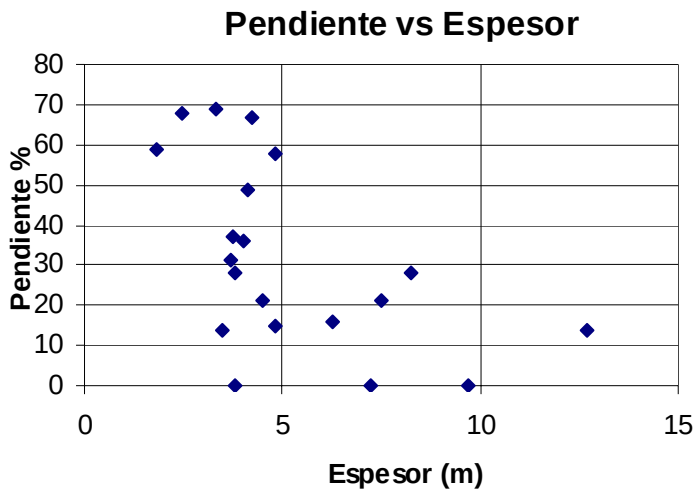


Figura Nº 8. Distribución de datos de pendiente ladera Vs espesor depósitos (m)

Para evaluar la curva que mejor se ajustará a la tendencia de los puntos encontrados se siguió la metodología propuesta por González (1983) citada en el trabajo de tesis de Díaz (2009), que consiste en una ecuación que relaciona estas variables, así:

E=Eo coseno(k □)

Donde,
Eo: Espesor del material en una pendiente cercana a 0º
K: Una constante para el horizonte de suelo al que se le va evaluar el espesor
□□ Pendiente del terreno

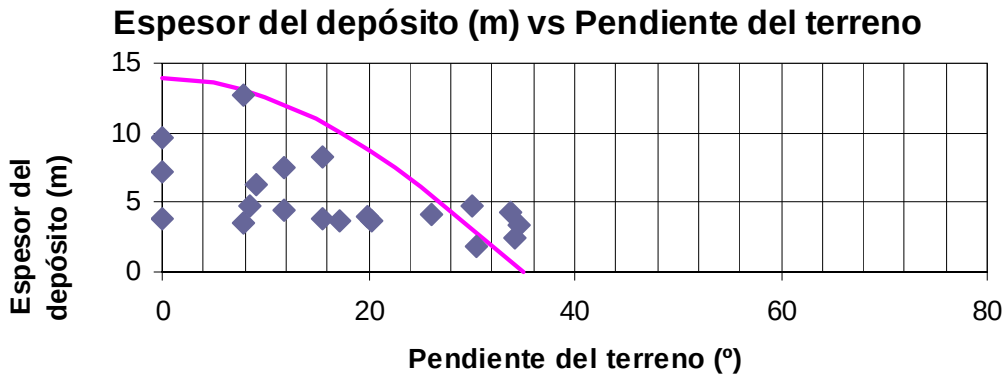


Figura Nº 9. Distribución de datos de pendiente Vs. espesor (m) para depósito coluvial

Por el conocimiento que se tiene, en la Urbanización Bosques de Medina en la localidad de Usaquén, se registra un depósito coluvial con un espesor que sobrepasa los 14m donde la pendiente del terreno es cercana a 0º. Lo anterior permitió obtener el valor de Eo= 14. La constante k se tomó de Díaz (2009) para depósitos de ladera o coluviales (k=2.571429). Con estos datos se gráfica la curva color magenta de la **Figura Nº 9**.

A partir de esta figura se obtuvo que para pendientes del terreno por debajo de 25º el espesor es superior o igual a 6m, por lo que esta pendiente se estableció como parámetro límite. Con este valor se encontró que ningún depósito se encuentra por debajo de los 25º de pendiente, con lo cual se trabaja con espesores superiores a 6m de espesor, esto permitió establecer finalmente calificadores de estabilidad CE de 4 y 7. Como resultado de lo expuesto se adoptan los CE indicados en la **Tabla Nº 32**.

Tabla Nº 32. Criterios para estimación de CE para Sismo

RIESGO SÍSMICO	VALORES DE Aa*						
PERFIL DE MATERIAL**	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
P1	22	22	21	21	20	20	19
P2	20	19	16	12	10	6	4
P3	12	10	8	7	6	4	2
P4	5	4	4	3	3	1	0

*Aa : Aceleración pico efectiva
** Tipos de materiales
P1: Depósito en área plana
P2: Roca
P3: Depósito con pendiente < 25°
P4: Depósito con pendiente > 25°

4.3 APLICACIÓN DEL MODELO MERDUCAS

En este numeral se procede con la aplicación de la metodología; en consecuencia, se

describirá en detalle las particularidades al estimar cada una de las variables. Para el efecto se abordarán las variables en el mismo orden planteado.

4.3.1 Material (M)

Vale expresar que, como fase inicial, se procuró – entendiendo que inicialmente estaba por fuera del alcance del contrato – establecer una base geológica coherente a partir del empalme de bases de escala similar pero fuentes diferentes y bastante disímiles.

En efecto, las fuentes que se emplearon son las mismas que sirvieron para obtener las zonificaciones de amenaza que en su momento fueron unificadas y adoptadas por la DPAE como insumo para el POT. Estas corresponden a las elaboradas por Ingeocim Ltda (Usaquén urbano, Chapinero, Santafé, San Cristóbal, Suba, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar), Investigaciones Geotécnicas Ltda. (Usme urbano) y GeoIngeniería Ltda. (Usaquén rural y Usme rural); adicionalmente se apoyó en cartografía geológica levantada por Ingetec Ltda. para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá para el proyecto del embalse de Cantarrana.

En este empeño se acudió a la interpretación de fotografías aéreas advirtiendo que era una tercera interpretación para definir los empalmes en los límites de las respectivas áreas de estudio de cada uno de los consultores. Se identificó la necesidad de generar cartografía nueva en algunos sectores donde no se tenía cobertura de ninguna de las bases que sirvieron de insumo básico.

⊙ **GEOLOGÍA**

El trabajo geológico se enfocó hacia la definición de las diferentes unidades litológicas y estructuras (fallas y plegamientos) a las escalas disponibles. Para tal efecto, se apoya en la información geológica preexistente y de manera particular el informe geológico de Ingeocim Ltda., 1998, GeoIngeniería Ltda., Investigaciones Geotécnicas Ltda. – IGL, EAAB – Ingetec Ltda., Ingeominas a escalas que van de 1:50000 a 1:5000 y en la cartografía geológica (unidades superficiales) de los estudios detallados de riesgo a escala 1:1000. Resultado de esto, se estableció la síntesis de unidades estratigráficas presentadas en la **Tabla Nº 33**.

Tabla Nº 33. Síntesis de unidades estratigráficas

Edad		Unidades
Reciente	R	Basuras, Escombros, Excavación
Cuaternario	Q	Aluvión, Terraza, Cenizas Volcánicas, Flujo de Detritos, Flujo de Lodos, Depósitos de Ladera (Talus y Coluvión), Depósito Fluvioglacial, Cono del Tunjuelito, Suelo Residual
Terciario	T	Formaciones Usme Superior e Inferior, Regadera Superior e Inferior, Bogota y Cacho
Cretáceo - Terciario	KT	Formaciones Guaduas Superior, Medio e Inferior
Cretáceo	K	Formaciones Arenisca Tierna, Arenisca de Labor, Plaeners, Arenisca Dura

Edad	Unidades
	del Grupo Guadalupe y Grupo Chipaque

⊙ **ACTIVIDADES DESARROLLADAS**

Consistente con las actividades contractuales en el tema, se procedió a:

- Realizar el diagnóstico técnico de la cobertura actual de geología frente al tratamiento que se realizó de esta cobertura para el mapa actual

- Realizar el análisis de cómo se debe realizar la actualización y los requerimientos técnicos necesarios para obtener a futuro una cobertura que pueda ser empleada en los proyectos que adelanta actualmente la entidad

En desarrollo de estas, se procedió a grandes rasgos con las siguientes actividades:

- Revisión y diagnóstico del estado y condición de la cartografía geológica efectuada de manera indirecta por la DPAE a través de consultorías de los años 1997 y 1998
- Integración de esta información en una misma base cartográfica
- Revisión de información geológica de otras fuentes a escala semidetallada o detallada como “Diseños para construcción de las obras para el control de crecientes en la Cuenca del Río Tunjuelo”, realizado por Ingetec Ltda., 2002
- Revisión de fotografías aéreas procurando una fotointerpretación que resultara de utilidad para empalmar y definir la localización de unidades y contactos geológicos en los límites de las áreas de estudio de cada consultor citado anteriormente
- Visita de campo tendiente a verificar características litológicas y texturales de las unidades superficiales aflorantes en el área rural de las localidades de Usme y Ciudad Bolívar
- Trabajo de oficina consistente en la revisión de las unidades y contactos geológicos y redefinición de los mismos a partir de la información previamente identificada y bajo diferentes criterios

En este procedimiento se usaron como criterios:

- La continuidad de las unidades
- Estandarización y patronamiento de unidades buscando la clasificación bajo unidades un poco más amplias pero sin perder de vista que su origen, litología y propiedades geomecánicas sean aproximadamente homogéneas; en tal sentido, e. g., a partir de las descripciones litológicas se agruparon los tres miembros de la Formación Regadera identificados por IGL en los dos que describió Ingeocim
- Preservación de la secuencia estratigráfica y consistencia con los accidentes estructurales como fallas y plegamientos
- Redefinición de la geometría de cuerpos de depósitos cuaternarios y unidades

líticas

Vale la pena señalar que este trabajo se centró en la zona límite entre cada uno de los polígonos de estudio de los consultores responsables; no obstante, se hizo un trabajo de revisión y de edición de la cartografía geológica encontrando -y por tanto eliminando- una serie de contactos inexistentes (límites en los que de ambos lados estaban en contacto la misma unidad) especialmente en el área de trabajo de Ingeocim Ltda.

Como resultado se estableció una base geológica en la que, en su mayor parte, se empalmaron las unidades en aquellas áreas limítrofes, advirtiendo la existencia de una franja (en el límite oriental de las áreas de estudio de IGL y GeoIngeniería) en la que resultó muy difícil conciliar las diferencias y en la que se hace necesario un trabajo más detallado tanto de campo como de oficina con disposición de herramientas adecuadas.

El resultado es el plano geológico anexo que contiene las 44 unidades que se indican en la **Tabla Nº 34**, de las cuales la gran mayoría corresponden a depósitos recientes.

Tabla Nº 34. Detalle de las unidades estratigráficas en el área del Distrito

Era	Símb.	Nombre Unidad
CUATERNARIO	Rab	Relleno Antrópico, Basuras
	Rae	Relleno Antrópico, Escombros de Excavación
	Rfb	Depósito de Flujo de Basuras
	Qex	Canteras en Explotación
	Qfta	Flujos de Tierra Activos
	Qft	Depósitos de Flujos de Tierra
	Qd	Zona de Deslizamiento
	Qsr	Suelos Residuales
	Qal	Depósitos Aluviales
	Qc	Depósitos de cenizas
	Qch	Formación Chía
	Qdl	Depósitos de Pendiente
	Qdlc	Depósitos de Pendiente - Coluvión
	Qdlt	Depósitos de Pendiente - Talus
	Qhp	Depósitos de Planicie Aluvial
	Qcd	Conos de Deyección
	Qct	Formación Tunjuelito
	Qfc	Depósito Fluvio-Coluvial
	Qfg	Depósitos Fluvio-Glaciares
	Qg	Depósitos Glaciales
	Qsb	Formación Sabana, Suelos de La Sabana
	Qt	Depósitos de Terraza
	Qta	Depósitos de Terraza Alta

Era	Símb.	Nombre Unidad
	Qtm	Depósitos de Terraza Media
	Qtb	Depósitos de Terraza Baja
T Q	TQt	Formación Tilatá
TERCIARIO	Tus	Formación Usme
	Tmus	Formación Usme Superior
	Tmum	Formación Usme Medio
	Tmui	Formación Usme Inferior
	Ters	Formación La Regadera, Conjunto Superior
	Teri	Formación La Regadera, Conjunto Inferior
	Tpb	Formación Bogotá
	Tpc	Formación Cacho
KT	KTg	Formación Guaduas
	KTgs	Formación Guaduas, Conjunto Superior
	KTgm	Formación Guaduas, Conjunto Medio
	KTgi	Formación Guaduas, Conjunto Inferior
CRETÁCEO	Ksglt	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca de Labor Tierna
	Ksgt	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Tierna
	Ksgl	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca de Labor
	Ksgp	Grupo Guadalupe, Formación Plaeners
	Ksgd	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Dura
	Kschi	Formación Chipaque

Se pueden relacionar varias particularidades en este ejercicio, algunas de las cuales son:

- El lineamiento de la falla del río Tunjuelo corresponde exactamente al indicado en la plancha Nº 246 de 1998 de INGEOMINAS.

- Se materializó la reclasificación de unidades como depósitos Qdl (fuente IGL y GeoIngeniería) la cual en muchos casos se homologa como coluvión (Qdlc); estandarización de unidades, tal es el caso de la Formación Tilatá la cual figura como dos unidades según Ingeocim (TQt) e IGL (Qpt).

Como resultado de las operaciones descritas, se generó el mapa geológico identificado en la **Figura Nº 10** y en el **Anexo C**.

Una vez definidas cada una de las unidades geológicas, se procedió, dependiendo de si se trata de roca a o suelo a clasificarlas, asignarle un código y correlacionarla con el CE correspondiente de acuerdo con los lineamientos establecidos en los numerales 4.2.3.1.1 a 4.2.3.1.3, tal como se detalla a continuación.

4.3.1.1 Roca

Litológicamente el área de estudio está conformada por rocas sedimentarias del terciario y del cretáceo superior compuesto principalmente por areniscas, arcillolitas y limolitas. Ingeocim Ltda. (1998) presenta en su volumen geotécnico las características mecánicas del material rocoso por formación y por tipo a partir de la resistencia a la compresión simple.

⊙ **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**

Las areniscas presentes en el área del Distrito se clasifican como rocas de resistencia muy baja a media (50-800 kg/cm^2), excepto las areniscas duras del Grupo Guadalupe que alcanzan a valores de resistencia de 800 a 1200 kg/cm^2. Las arcillolitas clasifican como rocas muy blandas con resistencia menores de 100 kg/cm^2, se caracterizaron con base en los resultados del ensayo de penetración estándar (N golpes/pie mayores a 50 golpes), alcanzando registros máximos de 120 golpes por pie correspondiente a un q_u del orden de 25 kg/cm^2.

⊙ **DENSIDAD O GRADO DE FRACTURAMIENTO**

Dentro de los rasgos tectónicos se identificaron los principales lineamientos de fallas y de pliegues, además, con el mapa de la red de drenaje y con las unidades y lineamientos, se estableció la relación entre el drenaje y los controles litológicos o tectónicos.

Estructuralmente el proyecto está influenciado por[41]:

- Anticlinal de Bogotá, forma el límite oriental de la sabana, es una estructura estrecha con dirección preferencial NE-SW, contiene la mejor sección del Grupo Guadalupe

- Falla del río Tunjuelo, se proyecta en dirección N-S marcando la delineación del río; define una estructura que pone en contacto sedimentos del la Formación Guaduas con Formación Usme y bastantes depósitos recientes. Es una falla normal que buza hacia el E.
- Sinclinal de Usme – Tunjuelo, es la estructura más amplia de la zona a lo largo de la cual conforma su valle el río Tunjuelo, tiene dirección N-S y está conformado por rocas de las formaciones Bogotá, Usme y Arenisca Dura.
- Anticlinal de Cheba, se ubica en el bloque occidental, es una estructura estrecha limitada por las fallas de Mochuelo y la del río Soacha.
- Falla de Bogotá, estructura regional de cabalgamiento con orientación NE-SW y con buzamiento al SE, y con una franja de influencia directa estimada en más de 100 m.
- Falla Trompeta, situada al occidente del sinclinal de Usme – Tunjuelo con rumbo

[41] Adaptado de LOZANO, J. Y MILLÁN, J. Op. Cit. pp. 6

N 35 E, pone en contacto rocas de la Formación Guaduas con las arcillas de la Formación Bogotá.

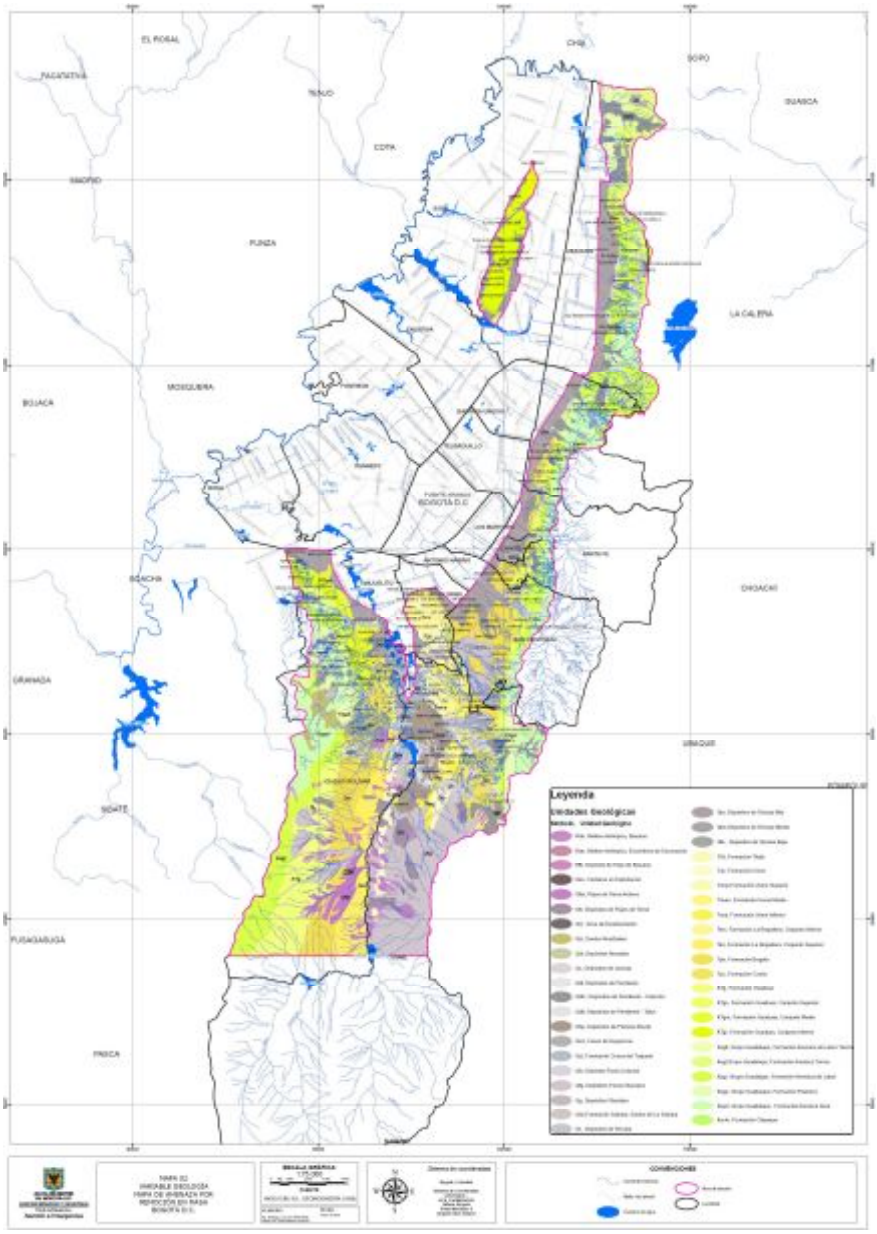


Figura Nº 10. Mapa geológico área de estudio
Tomado de Ingeocim Ltda., IGL, GeoIngeniería Ltda., Ingetec S.A. – EAAB, resultados del trabajo

- Falla de Ciudad Bolívar con rumbo aproximado N-S, pone en contacto las rocas de las formaciones Arenisca de Labor y Tierna.
- Adicionalmente, se tiene una marcada influencia de estructuras o fallas

secundarias como las fallas La Fiscala, Mochuelo, Limas, Yerbabuena, Chiguaza, Terreros, Primavera, Calderón, entre otras.

La condición de fracturamiento está relacionada con que tan masiva o fracturada está la roca puntualmente en los términos dados en la **Tabla Nº 16**, pero que ante la dificultad para medirla de manera puntual se apoya en valoraciones cualitativa a partir de herramientas externas como los rangos de influencia de los lineamientos estructurales (fallas y pliegues). En casos particulares, es posible alimentar el modelo con información derivada de la medición de discontinuidades para análisis cinemático de falla en macizos de roca.

Por ello, la cuantificación de la densidad de fracturamiento se determinó con base en el impacto o influencia de los lineamientos de la falla o del eje de las estructuras (anticlinal o sinclinal) a partir de la proximidad de las rocas a los trazos de las fallas y a la cercanía del eje de la estructura. Las franjas de afectación se hicieron con los siguientes criterios:

- Persistencia o escala de la estructura (regional, local y puntual)
- Intensidad del plegamiento (estructuras amplias o estrechas)

Las áreas de influencia de las estructuras varían entre los 35 y 150 metros dependiendo de los criterios descritos; en la **Tabla Nº 35** se exponen los anchos de franja para algunas de ellas.

Tabla Nº 35. Franjas de influencia utilizadas según el tipo y persistencia de la estructura

ANCHO DE LA FRANJA (m)	ESTRUCTURA		TIPO DE ESTRUCTURA
	FALLA	PLIEGUE	
150	X	X	Falla de Bogotá, Anticlinal de Bogotá
130	X	X	Fallas Carro Viejo, Serrezuela, La Cuchilla, San Cristóbal, sinclinal de Usme
100	X		Fallas Patios, Chicó, Usaquén, San Cristóbal, Hierbabuena
90	X		Fallas Parque Nacional, El Zuque, La Fiscala, Mochuelo, Chiguaza, Terreros, Limas
70	X		Fallas satélite de persistencia alta
35	X		Fallas satélites de persistencia baja

Una vez definidas las franjas de afectación o zonas de influencia, se determina la densidad de fracturamiento como la cuantificación de la longitud de los lineamientos relacionados por unidad de área afectada (en ml de lineamiento / Km^2) estableciendo la condición de fracturamiento para la escala regional, en los rangos mostrados en la **Tabla Nº 36**, como resultado del análisis de frecuencias de los datos de densidad obtenidos para cada unidad básica.

Tabla Nº 36. Rangos de densidad de fracturamiento

TIPO	DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO (ml lineamiento / Km^2)
Baja	0 – 600
Media	600 - 2700
Alta	2700 - 6300
Muy alta	> 6300

- **CUALIFICACIÓN DE LAS ROCAS**

En este apartado se aborda el resultado de aplicar esta metodología a las unidades superficiales de roca en el área del Distrito. Para el caso, se adoptan los puntajes dados por Ramírez (1989), y ajustados para el área de estudio en desarrollo del estudio de Ingeocim Ltda. (1998), haciéndolo extensivo a las unidades no abarcadas por los anteriores y de acuerdo, asimismo, con el ponderador definido para el parámetro o variable Material. La **Tabla Nº 37** resume los puntajes asignados a cada una de los materiales rocosos, aclarando que en esta instancia ya se incorpora el efecto por la influencia de estructuras (densidad de fracturamiento). Para esto, a los códigos previamente definidos por tipo de roca, se le adiciona el sufijo correspondiente a influencia baja, media, alta o muy alta de fracturamiento, de acuerdo con los valores indicados en la **Tabla Nº 37** y en la **Tabla Nº 38** se indican los códigos para las unidades de roca más representativas

Tabla Nº 37. Asignación de Códigos y CE por tipos de roca

TIPO DE ROCA		CONDICIÓN DE FRACTURAMIENTO							
		BAJA (B)		MEDIA (M)		ALTA (A)		MUY ALTA(X)	
R	(Kg/cm^2)	Cód.	CE	Cód.	CE	Cód.	CE	Cód.	CE
R1	$1120 < I_c$	R1B	55	R1M	44	R1A	25	R1X	11
R2	$560 \leq I_c < 1120$	R2B	43	R2M	34	R2A	19	R2X	9
R3	$280 \leq I_c < 560$	R3B	27	R3M	22	R3A	13	R3X	5
R4	$I_c \leq 280$	R3B	13	R3M	10	R3A	6	R3X	3

El resultado de esta actividad se representa en la codificación de las unidades de roca en el Distrito según su resistencia a la comprensión simple tal como se indica en la **Tabla Nº 38**; la clasificación se asigna de acuerdo con la escala de la **Tabla Nº 16** indicada en el numeral 4.2.3.1.1. A su vez, cartográficamente se representa en:

- Mapa de Unidades Geológicas. Destaca las unidades superficiales a escala 1:5000 así como la identificación de accidentes estructurales como fallas y ejes de pliegues mayores.

- Mapa de Densidad de Fracturamiento. Corresponde al mapa resultante de aplicar los criterios esbozados en el acápite respectivo. Delimita, entonces, los

cuatro rangos definidos desde baja hasta muy alta.

- Mapa de Material. Se trata de la integración de los dos mapas anteriores: mapa geológico y mapa de Densidad de Fracturamiento.

Adicional a lo anterior, se realizó un proceso de codificación de las unidades superficiales en la localidad de Ciudad Bolívar a partir de los resultados de los estudios detallados; este proceso implicó, que ante la descomunal cantidad de unidades definidas por cada consultor se sintetizaran en 44 unidades superficiales de un total de 224 unidades diferentes. El ejercicio consistió entonces en practicar una comparación y por propiedades, espesor y analogía asignarles el respectivo código; el resultado de esta labor se presenta en el **Anexo A**. Por escapar al alcance del presente estudio, no se extendió este análisis a las demás localidades, pero aclarando que resulta pertinente con el fin de afinar los resultados de la evaluación.

4.3.1.2 Material Intermedio

En el área de estudio se pueden identificar innumerables formas y tipos de materiales inconsolidados si se tiene en cuenta que no hay unidad en los criterios geológicos para su definición y menos aún para su denominación; es así que solamente en Ciudad Bolívar fue posible determinar a partir del examen de los estudios detallados disponibles en la DPAE un total de unas 65 unidades de depósitos las cuales, tras una rigurosa validación, se logró sintetizar en 34 unidades. No obstante, en desarrollo de la presente evaluación únicamente se consideraron las 25 unidades correspondientes a los períodos terciario y cuaternario de la **Tabla Nº 34**.

Tabla Nº 38. Asignación de Códigos para las unidades de roca en el área de estudio

EDAD	GR / FM	UNIDAD		CLASIFICACIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN
		NOMENCLATURA	NOMBRE / LITOLOGÍA		
Q'	Bre	Bre	Brecha de falla	R4	$50 \leq I_c < 200$
Terciario	Tmu	Tmu-Arc	Arcillolita Fm. Usme	R4	$I_c \leq 280$
		Tmu-Are	Arenisca Fm. Usme	R3	$300 \leq I_c < 600$
	Ter	Ter-Arc	Arcillolita Fm. Regadera	R4	$I_c \leq 280$
		Ter-Are	Arenisca Fm. Regadera		
	Tpb	Tpb-Arc	Arcillolitas Fm. Bogotá	R4	$I_c \leq 280$
		Tpb-Are	Areniscas Fm. Bogotá		
	Tpc	Tpc	Arenisca Fm. Cacho	R4	$50 \leq I_c < 200$
KT	KTg	KTg-Are	Arenisca Guaduas Medio	R3	$200 \leq I_c < 400$
		KTg-Arc	Arcillolitas Guaduas superior e inferior	R4	$I_c \leq 280$
		KTg-Lod	Lodolita - Fm. Guaduas		
		KTg-Lim	Limolita - Fm. Guaduas		
Cretáceo	Ksg	Ksgt-Br	Fm. Arenisca Tierna brechada	R4	$I_c \leq 120$
		Ksgt-Arc	Arcillolita Fm. Ar. Tierna		$300 \leq I_c < 500$
		Ksgt-Lod	Lodolita Fm. Ar. Tierna		

EDAD	GR / FM	UNIDAD		CLASIFICACIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN
		NOMENCLATURA	NOMBRE / LITOLOGÍA		
		Ksgt-Are	Arenisca Fm. Ar. Tierna	R3	$300 \leq I_c < 500$
		Ksgl-Are	Arenisca Fm. Ar. Labor	R3	$200 \leq I_c < 600$
		Ksgl-Lim	Limolita Fm. Ar. Labor	R4	$I_c \leq 280$
		Ksgl-Arc	Arcillolita Fm. Ar. Labor		
		Ksgp-Are	Arenisca Plaeners	R3	$400 \leq I_c < 800$
		Ksgp-Lid	Lidita Plaeners	R4	$I_c \leq 120$
		Ksgd-Are	Fm. Arenisca Dura	R2	$800 \leq I_c < 1200$

⊙ TEXTURA

A partir de las exploraciones de materiales en estudios específicos, se cuenta con las descripciones de los mismos de modo tal que permite tener cierto grado de aproximación para definir el ensamble de la fracción matricial, su agregación y la unión de las partículas para a partir de esto, identificar el ambiente de fábrica de los materiales parentales de los suelos.

⊙ ERODABILIDAD

En desarrollo de este trabajo se adaptó la evaluación que hiciera Ingeocim Ltda, 1998, y con el mismo criterio del análisis comparativo de la condición de erodabilidad de la matriz en los diferentes tipos de material intermedio se hizo extensivo a las unidades que se ubican por fuera de la que fue el área de estudio de Ingeocim Ltda.

⌗ CUALIFICACIÓN DE MATERIAL INTERMEDIO

De los materiales inconsolidados, su condición como material intermedio se estableció – como en su momento se describiera en el numeral 4.3.1.2.2 – a partir del contenido de fracción de matriz (tamiz # 4) y su ubicación como horizontes III y IV en el perfil de meteorización de Dearman; posteriormente su evaluación y calificación se fijó a partir de características como litología, erodabilidad de la matriz e influencia de estructuras.

Estos depósitos principalmente son transportados donde las estructuras heredadas corresponden a superficies antiguas de procesos morfodinámicos, de densidad alta. Se asumió para todos los materiales intermedios, **baja influencia de las estructuras heredadas**[42], por lo que se castiga con las afectaciones por densidad de estructuras heredadas.

Es así, que aplicando los criterios indicados en el numeral 4.2.3.1.2 se establecieron, como las cuatro (4) condiciones simplificadas de material intermedio para los suelos del Distrito, las que se indican en la **Tabla Nº 39**. Para el caso particular de los materiales depositados (coluviones, aluviones, talus, etc.), se debe evaluar la

[42] INGEOCIM LTDA. Op. Cit., Vol. Evaluación de amenaza por fenómenos de remoción en masa. pp. 26.

influencia de estructuras heredadas a través de la identificación de grietas, superficies de sedimentación, superficies antiguas de deslizamientos, o considerando simplemente que los materiales están dispuestos erráticamente, para lo cual se ha considerado esta condición castigando la evaluación previa de acuerdo con su densidad tal como se indicara en la **Tabla Nº 21** (Ramírez, 1988) por lo que se resume la evaluación en las calificaciones contenidas en la **Tabla Nº 40**. Las estructuras heredadas representativas, corresponden a discontinuidades o disposición errática de materiales, contactos litológicos / estratificación depositacional y diques y otras intrusiones.

Tabla Nº 39. Calificación simplificada para suelos transportados como Material Intermedio

ERODABILIDAD DE LA MATRIZ							
BAJA (B)		MEDIA (M)		ALTA (A)		MUY ALTA(X)	
Cód.	CE	Cód.	CE	Cód.	CE	Cód.	CE
IT2B	29	IT3M	**21**	IT4A	10	IT4X	4

Tabla Nº 40. Calificación para suelos transportados como Material Intermedio, afectada por densidad de estructuras heredadas

	ERODABILIDAD DE LA MATRIZ			
	BAJA (B)	MEDIA (M)	ALTA (A)	MUY ALTA (X)
SUELO TRANSPORTADO	IT2B	IT3M	IT4A	IT4X
	26	**16**	**8**	**2**

De acuerdo con lo expresado, no se considera la existencia de erodabilidad baja ni extrema en tanto que de erodabilidad media son Terrazas Altas (Qta), Depósitos Fluvioglaciares (Qfg), Conos de Deyección (Qcd) y Depósitos Coluviales (Qdlc); y de erodabilidad alta son Conos del Tunjuelo (Qct) y Depósitos de Talus (Qdlt). Los depósitos coluviales y fluvioglaciares que estan constituidos por más del 70% de clastos fueron clasificados como material intermedio. En la **Tabla Nº 41** se relacionan estas unidades junto con sus códigos y CE.

Tabla Nº 41. Asignación de Códigos y CE para las unidades de Material Intermedio en el área de estudio

NOMENCLATURA	UNIDAD	OBSERVACIONES	CÓDIGO	CE
Qdlt	Talus	Clastos > 70%	IT4A	9
Qdlc	Coluviones	Clastos > 70%	IT3M	18
Qcd	Conos de Deyección		IT3M	18
Qct	Conos del Tunjuelo		IT4A	9
Qfg	Depósitos Fluvioglaciares	Suelo matriz fina transportada, consistencia dura a media	IT3M	18
Qta	Depósitos de Terraza Alta		IT3M	18

4.3.1.3 Suelo

En el marco de la variable Material, algunos de los depósitos inconsolidados merecen ser clasificados como suelos; en efecto, como ya se indicara en el numeral 4.3.1.2.3 a partir de consideraciones como su ubicación como horizontes V y VI en el perfil de meteorización de Dearman, origen (material transportado o residual), agente de transporte, contenido de fracción fina (tamiz # 4) y consistencia de la matriz.

En desarrollo de este trabajo se adaptó la evaluación que hiciera Ingeocim Ltda, 1998, y con el mismo criterio del análisis comparativo del origen y agente transportador, clasificación como matriz granular o fina y consistencia en los diferentes tipos de suelo se hizo extensivo a las unidades que se ubican por fuera de la que fue el área de estudio de Ingeocim Ltda.

- **CUALIFICACIÓN DE SUELO**

Es preciso tener en cuenta que las unidades Qdlc, Qdlt, Qfg pueden catalogar como Material Intermedio o como Suelo por lo que su clasificación en uno u otro, depende del contenido de matriz; en el caso de suelos la fracción de matriz es mayor a 30%.

Procede notar lo siguiente:

i) Los suelos residuales en el área de estudio son de origen sedimentario,
ii) Los agentes de sedimentación en suelos transportados son gravedad y agua,
iii) Los suelos cuyo agente transportador es el agua son de mejor condición que los transportados por gravedad, y
iv) La textura granular proporciona mejor condición que la textura fina
v) El suelo Tipo S1 existente en el área de estudio corresponde a un suelo residual y no se registra su existencia como suelo transportado

Con base en lo previamente expuesto y en los lineamientos del numeral 4.3.1.2.3, en las **Tablas Nº 42 A y Nº 42 B** se señalan las clasificaciones genéricas empleadas y la **Tabla Nº 43** resume las clasificaciones particulares del material Suelos en el área de estudio, tomando como base la de Ramírez (1988). En la primera, se hace una codificación previa por génesis y gradación del suelo, en tanto que en la segunda se registran los CE.

Tabla 42 A. Codificación de Suelo en el modelo MERDUCAS

GRADACIÓN	SUELO RESIDUAL (SR)	SUELO TRANSPORTADO (ST)	
		AGUA	GRAVEDAD
GRANULAR	SR1	ST2	ST3
FINO	SR2	ST3	ST4

Por su comportamiento geomecánico se consideraron como suelos las Terrazas bajas (Qtb), Depósitos Aluviales (Qal), Rellenos (Rfb, Rab), suelos residuales (Qsr),

Depósitos de la Sabana (Qsb), Flujos de tierra (Qft) y Formación Tilatá (Tqt). Los Depósitos de ladera coluvial (Qdlc) y los Depósitos fluvioglaciares (Qfg) fueron considerados como suelos donde la matriz representaba más del 30% del depósito, es decir matriz - soportados.

Tabla 42 B. CE para los suelos en el Distrito, Variable Material, en el modelo MERDUCAS

TIPO DE SUELO		CONDICIÓN DEL TERRENO					
		DENSIDAD (GRANULAR)			CONSISTENCIA (FINO)		
		ALTA (A)	MEDIA (M)	BAJA (S)	DURA (D)	MEDIA (C)	BLANDA (B)
Residual	SR1	SR1A	SR1M	SR1S			
		28	18	8			
	SR2				SR2D	SR2C	SR2B
					20	12	4
Transportado	ST2	ST2A	ST2M	ST2S			
		21	13	6			
	ST3	ST3A	ST3M	ST3S	ST3D	ST3C	ST3B
		12	8	3	12	8	3
	ST4				ST4D	ST4C	ST4B
					6	3	1

TIPO DE SUELO		CONDICIÓN DEL TERRENO											
		DENSIDAD (GRANULAR)						CONSISTENCIA (FINO)					
		ALTA (A)		MEDIA (M)		BAJA (S)		DURA (D)		MEDIA (C)		BLANDA (B)	
		Cód.	CE	Cód.	CE	Cód.	CE	Cód.	CE	Cód.	CE	Cód.	CE
Residual	SR1	SR1A	28	SR1M	18	SR1S	8						
	SR2							SR2D	20	SR2C	12	SR2B	4
Transportado	ST2	ST2A	21	ST2M	13	ST2S	6						
	ST3	ST3A	12	ST3M	8	ST3S	3	ST3D	12	ST3C	8	ST3B	3
	ST4							ST4D	6	ST4C	3	ST4B	1

Los talus y coluviones son depósitos de ladera: el talus es clasto-soportado y el coluvión matriz-soportado. Ambos están en ladera de acumulación (por lo que su agente de depositación lo constituye la gravedad). La ladera rectilínea es denudativa y exhibe los horizontes I y II del perfil de meteorización de Dearman, Duque**,** 2003[43].

Las unidades geológicas denominadas como rellenos fueron clasificados como: suelos transportados por gravedad con un alto porcentaje de matriz fina, de consistencia blanda, que dan una clasificación general de ST4B.

[43] DUQUE VILLEGAS, Gonzalo. Geotecnia y Medio Ambiente. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Especialización en Geotecnia. Manizales. Noviembre de 2003.

Los suelos de la sabana (Qsb) y los sedimentos de la formación Tilatá (Tqt) son suelos de origen fluvial lacustre con gran susceptibilidad a erodarse, clasificándose como: suelos transportados por agua con alto porcentaje de matriz fina, de consistencia blanda (ST3B). Los depósitos aluviales (Qal) que también tienen como origen las corrientes de agua y se clasificaron como finos ya que la relación existente entre clastos y matriz es de 1:3 (depósitos matriz soportados), con consistencia media y clasificados como ST3C.

Los flujos de tierra (Qft) tienen un origen mixto (gravedad y agua) y son de tipo reciente; para darles mayor susceptibilidad se tomaron como: suelos transportados por gravedad de matriz soportados, de consistencia blanda, dando una clasificación de ST4B.

Los depósitos fluvioglaciares y coluviales con una relación entre clastos y matriz de 3:1 fueron clasificadas como: suelos finos transportados por agua o por gravedad (Qdlc); donde los depósitos fluvioglaciares son suelos preconsolidados con consistencia dura a media (ST3D - ST3C) y los depósitos de talus son más recientes con consistencias medias a bajas (ST4C - ST4B)

Las características descritas de estas y otras unidades clasificadas como Suelo se sintetizan en la **Tabla Nº 43** así como el Código y CE asignados.

Tabla Nº 43. Asignación de Códigos y CE para las unidades de Suelo (variable Material) en el área de estudio

UNIDAD GEOLÓGICA		ORIGEN / AGENTE TRANSPORTE	SOPORTE	MATRIZ		CÓD.	CE
NOMBRE	NOMENC			COMPOSICIÓN	CONSIST.		
Rellenos	Rfb, Rab	Antrópico / gravedad	Matriz	Fina	Blanda	ST4B	1
Flujos de tierra	Qft	Mixto: gravedad / agua	Matriz	Variada	Blanda	ST4B	1
Suelos residuales	Qsr		Matriz	Fina	Blanda	SR2C y SR2B	4 /12
Depósitos Aluviales	Qal	Corrientes de agua	Matriz	Fina Clastos:matriz = 1:3 (Matriz < 30%)	Blanda	ST3C	8
Depósitos de ladera talus	Qdlt	Agua	Clastos	gruesa	Media a baja	ST4C - ST4B	1 / 3
Depósitos de ladera coluvial	Qdlc	Agua	Matriz	Fina Matriz > 30%	Dura a media	ST3D - ST3C	1 / 3
Depósitos fluvioglaciares	Qfg	gravedad	Matriz				7 / 12
Suelos de la Sabana	Qsb	Fluvial – lacustre / Agua	Matriz	Fina	Blanda	ST3B	3
Terrazas bajas	Qtb		Matriz	Fina	Blanda		12
Formación Tilatá	Tqt		Matriz	Fina	Blanda		3

4.3.2 Erosión (E)

Inicialmente, vale mencionar que en contrate con la evaluación elaborada por Ingeocim (1998), en esta no se evalúa la Erosión por tipo de material, intervención antrópica o condición de la ronda, esencialmente por que tales parámetros ya fueron evaluados en

variables como Material, Uso del Suelo y/o Factor Antrópico; en tal caso se limita a evaluar el tipo y delimitación de cada proceso erosivo.

Si bien se retoma la zonificación elaborada por Ingeocim Ltda., 1998, se hace una actualización con base en los resultados del estudio "Caracterización de procesos geomorfológicos de ladera en las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar", Palomino, 2009[44], en el trabajo de Lozano y Fierro, 2009[45] y en la interpretación de eventos como erosión difusa apoyado en la ortofoto (2009) suministrada por la DPAE.

Como resultado final se establecen una sucesión de polígonos para cada uno de los tipos de erosión así como aquellos que no sufren este proceso; a los polígonos resultantes se les asignó en el SIG los respectivos CE.

4.3.3 Relieve (R)

Teniendo en cuenta que la topografía es esencialmente la misma, se adoptaron las unidades de relieve definidas por Ingeocim Ltda. (1998). En las áreas no cubiertas por ese estudio (Usaquén rural, Usme urbano y rural y Ciudad Bolívar rural), se aplicó la misma metodología y criterios.

La cuantificación de la variable Relieve se hace en función de la pendiente media de la unidad de terreno y la forma dominante del perfil longitudinal. Así en el área de estudio quedaron definidos 318 polígonos o unidades de relieve con asignación de CE entre 9 y 34 que abarca como unidades de relieve siete (7) rangos de pendiente.

Para este propósito, la valoración del parámetro relieve se realizó siguiendo las actividades que a continuación se relacionan:

- Elaboración mapa de pendientes en los rangos adecuados (ver **Tabla Nº 25**)
- Cruce manual del anterior con mapa topográfico (curvas de nivel y red de drenaje) y mapa geológico
- Delimitación de los polígonos de relieve para cada unidad hipotética de Dalrymple
- Determinación de curvatura representativa a fin de determinar la forma cóncava, rectilínea o convexa del tramo de perfil

---

[44] PALOMINO E., Ernesto. Caracterización de procesos geomorfológicos de ladera en las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar. DPAE - Bogotá, 2009.

[45] LOZANO Z, Diana P. y FIERRO M., Julio. Aproximación a la cuantificación de pasivos ambientales relacionados con la minería en la Localidad de Ciudad Bolívar – Bogotá D.C. mediante el análisis multitemporal de fotografías aéreas e imágenes satelitales. Grupo de Investigación Terrae. Geología Ambiental, Universidad Nacional. Bogotá. 2009. pp. 24.

- Asignación a cada polígono de los respectivos CE

4.3.4 Drenaje

A diferencia del estudio de Ingeocim Ltda. (1998), en desarrollo de este trabajo la densidad de drenaje no se estableció a partir de una unidad de medida base sino que se estableció a nivel de microcuenca; tampoco se consideró la pendiente al juzgarlo como un parámetro evaluado dentro de otras variables.

En este propósito con la ayuda del módulo Arc-Hydro de ArcGIS se estableció la delimitación de las microcuencas a partir de las coberturas de la topografía (curvas de nivel) y el trazo de los drenajes, este ejercicio permitió la delimitación de 189 microcuencas en el área de estudio. Con esta información como insumo fue posible determinar la densidad de drenaje para cada microcuenca como la relación entre la longitud de los drenajes de cada microcuenca y el área de la misma en Km / Km^2. Tomando estos datos como la población muestral se aplicó un tratamiento estadístico para ajustarlo a una distribución normalizada y poder de esta manera, dividirlo en cinco (5) categorías de densidad de drenaje desde muy baja hasta muy alta.

En la delimitación de las microcuencas con la herramienta Arc-Hydro se tuvo especial cuidado de algunos tramos que podrían haber distorsionado el modelo; algunos de estos consisten en tramos sin continuidad, tramos ascendentes, tramos horizontales (acaso por que se trata de obras de drenaje artificial).

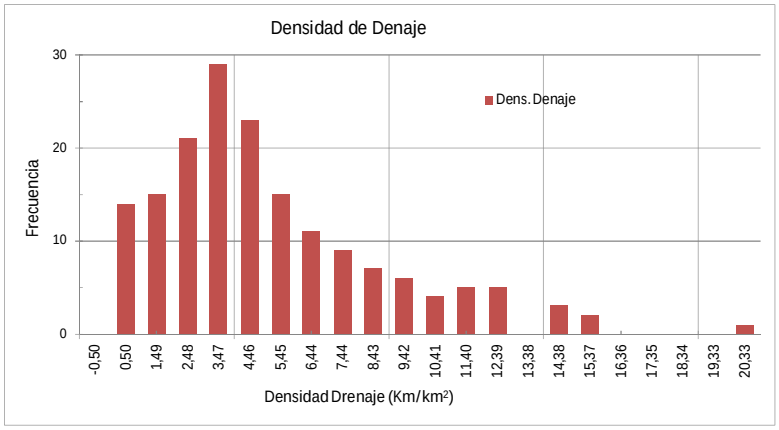


Figura Nº 11. Distribución frecuencias de densidad de drenaje en Bogotá
Tomado de: resultados del estudio

Este procedimiento permitió determinar la distribución de densidad de drenaje en las cinco (5) categorías indicadas en la **Tabla Nº 26**. Se obtuvieron valores entre 0 y 24.2 Km/Km^2, para todo el área de estudio. La categorización en alta, media o baja, para ser incluida en el modelo de evaluación de la amenaza por el modelo MERDUCAS, se realizó con respecto al área de estudio a partir del análisis de distribución de frecuencias sobre población muestral en el que se visualiza una distribución sesgada a la derecha con predominio de valores bajos. Aplicando la escala logarítmica, se ajustó a una distribución normalizada, estableciendo de esta manera las categorías presentadas en la **Figura Nº 27** dado que el drenaje es característico al medio físico ambiental donde se presenta y desarrolla.

Como corolario de este ejercicio, se elaboró el plano de densidad de drenaje presentado como **Mapa Nº 5** del **Anexo C**.

4.3.5 Uso del suelo y cobertura vegetal

Las labores adelantadas en desarrollo de su evaluación consistieron en recopilar información proveniente de diferentes fuentes de modo tal que permita determinar el tipo de uso o cobertura que domina una determinada unidad de terreno. Las fuentes de información principales fueron: UAECD (manzaneo), SDA (cobertura de especies vegetales), EAAB (cuerpos hídricos), IDU (malla vial), SDP (norma urbana), DPAE (imagen aérea), CAR (cubierta vegetal).

A fin de facilitar el ejercicio y definir unas determinadas unidades de terreno, se dividió el terreno en unos escenarios que permiten identificar unos usos o coberturas compatibles con su aptitud. Tales escenarios territoriales procuran recoger usos urbanos (escenario urbano), usos vegetales (zona rural, Estructura Ecológica Principal, zonas verdes), usos mineros.

Se trata entonces, de los diferentes elementos superficiales o coberturas que la demanda como suelo urbano implica, como una medida cualitativa de la infiltración, entre otros: construcción (de cualquier índole), vías, áreas blandas o duras de las zonas de cesión obligatoria.

Por su parte, en las áreas rurales, elementos de la EEP (Estructura Ecológica Principal) y parques de escala metropolitana, local o zonal se determina su cobertura sobre las especies vegetales identificadas y los CE planteados en la **Tabla Nº 27**. La evaluación se establece como una medición – cualitativa también –de la probable infiltración (o absorción) de la humedad además del impacto del sistema radicular de las especies vegetales.

Finalmente, la valoración en predios mineros, se hace sobre el tipo y la condición o estado de los elementos residuales que queden producto de la explotación. está examinando es la destinación que se le está dando a un predio específico. Del mismo

modo, en predios donde se identifican usos o coberturas mixtas o usos alternos se valora bajo los parámetros indicados en la misma tabla.

En zonas sin cobertura, zonas mineras, zonas degradadas, entre otras, sin uso específico actual, se le asignó la categoría de uso a partir del nivel de intervención o deterioro identificado en la imagen aérea suministrada por la DPAE.

Como resultado de la evaluación de la variable Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, se elaboró el plano respectivo, presentado como **Mapa Nº 6** del **Anexo C**.

4.3.6 Clima

Acorde con lo descrito en el numeral 4.2.3.6, se procedió a partir de los registros de precipitaciones de varias décadas a realizar un análisis sobre las precipitaciones diarias acumuladas, previas a eventos de inestabilidad así:

i) Identificación en la bitácora de emergencias de la DPAE, de los eventos de inestabilidad, a la cual se le asocia su fecha y localización
ii) Búsqueda de la estación climatológica más cercana a la localización de la emergencia
iii) Identificación de la lluvia acumulada precedente a la detonación del evento inestable, a esta medida se le reconoce como lluvia crítica
iv) Conocida la lluvia acumulada, se realizó una búsqueda en la totalidad de los registros disponibles de la estación en examen, procurando localizar similar precipitación acumulada; esto permitió establecer recurrencia de este ciclo y con ello, periodo de retorno

⊙ **RELACIÓN PRECIPITACIÓN CRÍTICA – DURACIÓN**

Para obtener esta relación se aplicó una metodología similar a la desarrollada en el estudio de Ingeocim Ltda. (1998), lo cual requiere asignar a eventos específicos los datos de precipitación de la estación más cercana al evento. Esta actividad se ha venido adelantando por parte de la entidad como lo demuestra el estudio realizado para la cuenca alta del río San Cristóbal.

No obstante, en desarrollo de este trabajo - con los datos diarios de precipitación en la estación La Regadera - se adelantó un análisis para obtener el periodo de retorno (en años) que mejor se ajustará a los eventos de deslizamientos ocurridos en la localidad de Usme que se asociaran a la precipitación registrada en dicha estación.

Luego de consultar los registros de informes del SIRE y encontrar 69 diagnósticos por fenómenos de remoción en masa en la Localidad de Usme (con ubicación y fecha de ocurrencia conocidos) Con los datos de lluvias diarias se determinan las series de lluvias acumuladas (secuenciales) que detonaron el evento; con esto se determina el umbral de la lluvia crítica y posteriormente su período de retorno (Tr). Dicho de otro

modo, se procedió a encontrar los eventos asociados a una intensidad de lluvia acumulada para duración entre 10 y 16 días, de lo cual se identificaron las precipitaciones acumuladas indicadas en la **Tabla Nº 44**.

Tabla Nº 44. Valores de precipitación acumulada asociados a emergencias por deslizamientos en la localidad de Usme

FECHA	DI	BARRIO	DÍAS						
			10	11	12	13	14	15	16
25-10-2004	2154	Vda. Olarte Km 5 Vía San Juan de Usme	116.6	116.6	116.6	116.6	116.6	121.9	121.9
24-05-2008	3735	La Fiscala	119.3	119.6	119.7	120.6	120.9	121.1	121.7

Con lo anterior se calcularon umbrales de precipitación que permitieron determinar la lluvia acumulada detonante y para la cual se calculó el período de retorno en años.

Lo anterior arrojó que la duración es de ocho (8) días con una precipitación promedio de 116 mm, para lo cual se obtuvo un período de retorno de 22 años en la Estación La Regadera. Este resultado junto con los obtenidos en el estudio de Ingeocim Ltda. (1998) se utilizaron en la interpolación para determinar los espectros de períodos de retorno en las zonas de ladera.

Con los resultados de lluvia acumulada y períodos de retorno aquí obtenidos más los proporcionados por Ingeocim Ltda., 1998 (**Figura Nº 13**) se procedió a establecer el mapa o curvas de período de retorno de la lluvia crítica empleando como método de interpolación el modelo *Krigging* con la respectiva herramienta en la plataforma Arc-GIS, observando resultados significativamente diferentes en su distribución espacial respecto de los obtenidos por Ingeocim en el área común a ambos trabajos.

En el **Mapa Nº 6** del **Anexo C** se muestra la distribución espacial de la zonificación por lluvia crítica. De acuerdo con esto se observan sectores críticos por el comportamiento de la variable Clima en la parte alta de la vertiente de la localidad de Usaquén en proximidades a La Calera, en una zona en un radio de 1 Km aproximadamente en torno al embalse “Cantarrana”, en tanto que las localidades de Suba (sector Tuna Alta), San Cristóbal (sector San Blas, Gran Colombia Corinto), Rafael Uribe Uribe (sector Las Colinas, Merced Sur) y Ciudad Bolívar (sector Espinos II Sector, Arborizadora Alta, Juan Pablo II, Lucero Sur Bajo) con influencia baja

Como resultado de la evaluación de la variable Uso del Suelo y Cobertura Vegetal, se elaboró el plano respectivo, presentado como **Mapa Nº 6** del **Anexo C**.

⊙ **RESULTADOS**

La precipitación crítica varía entre **129 mm** y **275 mm** aproximadamente. Como se expresó con anterioridad, la lluvia crítica guarda una relación estrecha y directa con la lluvia media multianual, i.e., espacialmente para las partes altas la lluvia crítica crece y

para las partes bajas disminuye, en tanto que, temporalmente está asociada con los periodos lluviosos.

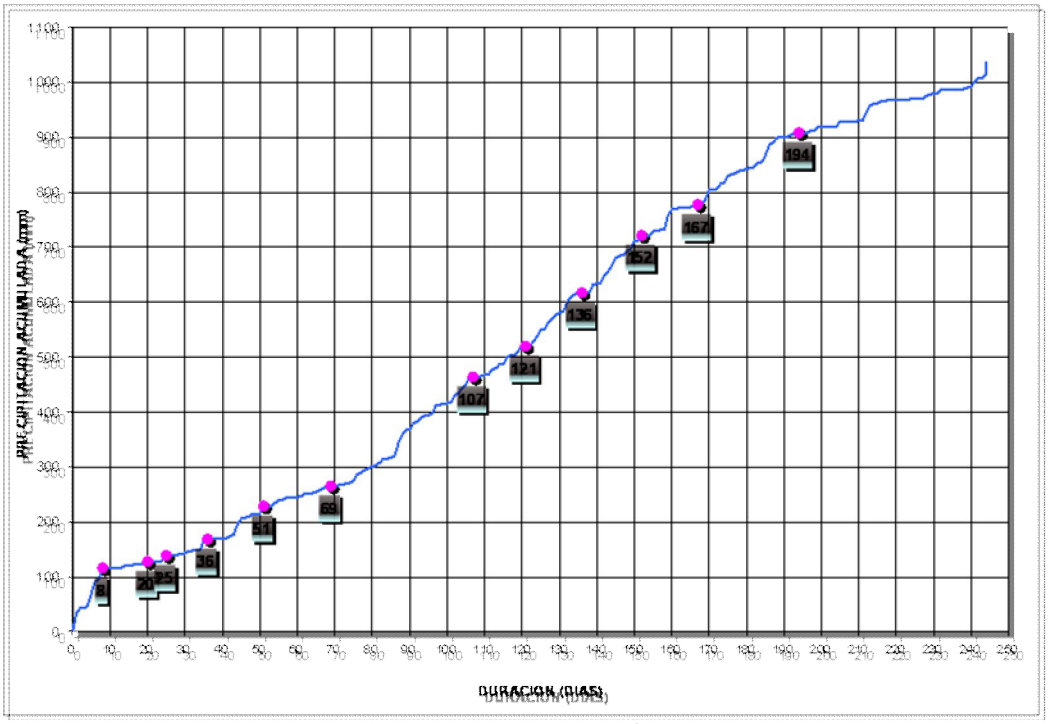


Figura Nº 12. Lluvia acumulada detonante Vs. Duración en la localidad de Usme
Resultados estudio

Las duraciones de lluvias críticas oscilan entre **10 y 30 días** aproximadamente, 10 días para la zona de los cerros orientales y 30 días para zona suroccidental.

El periodo de retorno no guarda ninguna relación aparente con los demás parámetros, el valor máximo es de 30 años y el mínimo de 9 años. Esta gran variación puede estar asociada a la dispersión de longitudes de registro entre las diferentes estaciones empleadas en los análisis.

4.3.7 Factor Antrópico

En aplicación de la metodología descrita en el numeral 4.2.3.7, se procedió, a partir de los diferentes tipos y niveles de información, a ubicarlo en cada uno de los escenarios territoriales propuestos asignándole su posible categorización dentro de cada uno de los parámetros indicados en la **Tabla Nº 29** con sus respectivos CE.

Su catalogación en una u otra dependió de la fuente, en este orden de ideas, la condición de las vías se estableció a partir de la información suministrada por el IDU, la valuación de redes de acueducto y alcantarillado se fijó por la información suministrada

por la EAAB así como el estado de intervención de rondas; en este mismo empeño se empleó información resultante de levantamiento directo de Ingeocim Ltda. (1998), etc.

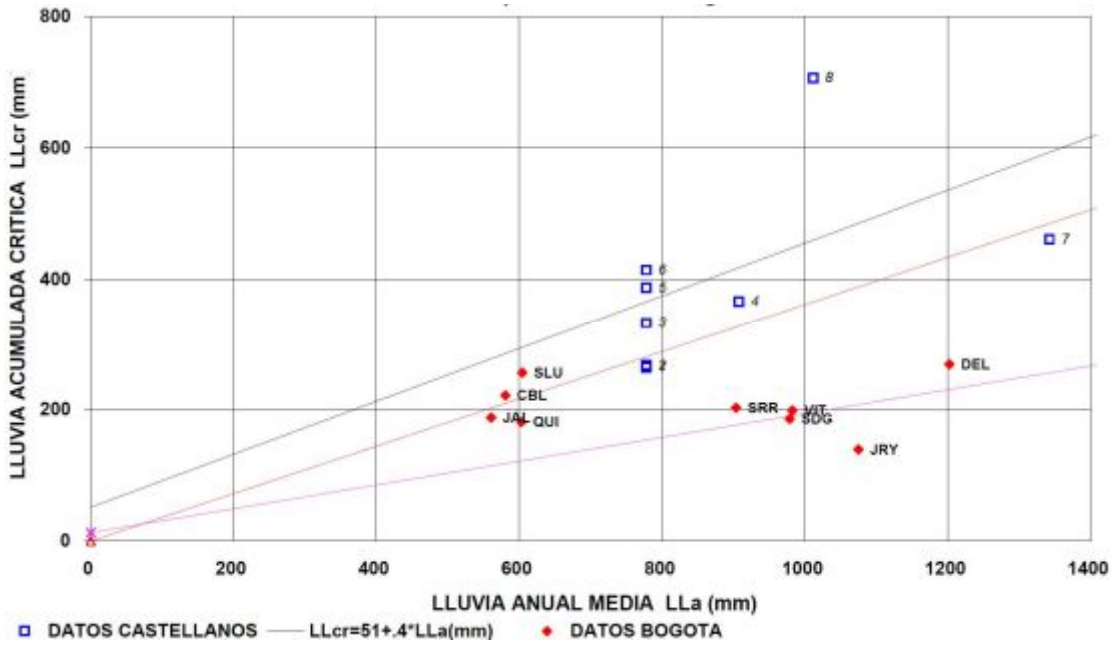


Figura Nº 13. Relaciones de lluvias críticas para Bogotá D.C., Ingeocim Ltda. 1998

Para el caso de las áreas urbanizables no urbanizadas, previa delimitación de cada uno de los polígonos, se realizó una interpretación para la valoración cualitativa de la condición o estado de deterioro a partir de la imagen aérea.

Para el tratamiento de la información relacionada con canteras se empleó como fuentes: SDA, Ingeocim Ltda., trabajo de Lozano – Fierro (2009), estudio de Palomino (2009) e interpretación propia en el curso de este trabajo, a partir de la imagen aérea suministrada por la DPAE así como por el conocimiento mismo del territorio por parte de los autores.

Entre otras se examinó y se evaluó la presencia de canteras, con todo rigor, teniendo cuidado de la valoración de información procedente de fuentes diferentes; en este caso se trata del inventario de canteras o actividades mineras (cualquiera sea su condición jurídica: activas, suspendidas, abandonadas, recuperadas) que de acuerdo con el estudio de Ingeocim Ltda. corresponde a 194 canteras en tanto que en el registro de SDA en el perímetro urbano registra 106 predios mineros.

A su vez, en el escenario agroforestal (área rural y para elementos de la EEP), su valuación se estableció a partir del tipo de especie vegetal en el territorio de acuerdo con los valores de la **Tabla Nº 29** y la información suministrada por la SDA.

Con las convenciones así definidas y como consecuencia de los análisis, se

practicaron las evaluaciones pertinentes, con lo que se obtiene el mapa de áreas de impacto homogéneo sobre la estabilidad de las laderas como resultado de actividades humanas. Este se presenta como **Mapa Nº 8** y subsiguientes (**Nº 8.X**) del **Anexo C**. Estos contienen la zonificación del valor (CE) de Factor Antrópico, para cada escenario territorial.

En estos mapas se puede identificar que las zonas más críticas corresponden, indudablemente, a las de actividades mineras, en tanto que exhiben buena condición las que conservan su uso como zonas de reserva y áreas rurales.

En el escenario urbano se advierte una mezcla de valores de CE.

4.3.8 Sismicidad

A partir de la fundamentación expuesta en el numeral 4.2.3.8, se establecieron las calificaciones por sismo a partir de la naturaleza de los materiales geológicos superficiales y sus respectivas pendientes.

Para su aplicación se asumió la ocurrencia de un sismo con una aceleración superficial cercana a los máximos esperados en un período de retorno de 475 años, en este caso se emplearon los calificadores aplicados a los respectivos materiales superficiales bajo el supuesto de una aceleración de 0.2g.

para su empleo, se clasificaron como depósitos en zona semiplana las siguientes unidades geológicas: Depósito aluvial (Qal), Terraza Alta (Qta), Terraza Baja (Qtb), Depósitos de Planicie Aluvial (Qhp) y Conos del Tunjuelo (Qdc).

Para los otros depósitos se tuvo en cuenta su pendiente de acuerdo con los postulados enunciados en la Tabla Nº 32.

Los resultados de la evaluación de la variable Sismicidad se ilustran en el **Mapa Nº 9** del **Anexo C**.

5 PROCESOS MORFODINÁMICOS (PM)

Debido a las diferencias en naturaleza y forma de las evidencias de inestabilidad, se evalúa su distribución espacial como la proporción aproximada de área del terreno directamente afectada por ellas. Así, por ejemplo, la presencia de un gran escarpe implica el movimiento de una masa delimitada de alguna forma por él. El área aproximada cubierta por dicha masa, será la que se considere en la evaluación. Es de esperar que en un terreno que haya estado sometido a movimiento, se presenten simultáneamente diferentes tipos de evidencias, lo cual facilita la delimitación del área afectada por movimientos. Este parámetro fue identificado por Lozano y Millán (1995) como “Evidencia de procesos antiguos de inestabilidad – Parámetro F”,

5.1 Criterios

Los procesos geomorfológicos, entendidos como la materialización del rompimiento y desplazamiento de una masa de material térreo superficial, cualquiera sea su origen, son el resultado de la interacción y manifestación de diferentes agentes, algunos de los cuales generalmente corresponden a las propiedades mecánicas de tal material, la pendiente o relieve del terreno, condiciones de humedad, intervención antropogénica, etc.

Durante el cuaternario, se ha desarrollado una sucesión de fenómenos degradacionales y agradacionales que han contribuido a las condiciones geomorfológicas actuales. Los fenómenos degradacionales como la erosión y la remoción de materiales blandos, ayudados por las condiciones de fracturamiento y altas pendientes resultantes del proceso tectónico, han generado escarpes que quedaron conformados por los materiales más resistentes.

Parte de los materiales resultante de los procesos degradacionales han sido depositados sobre las laderas adyacentes o dentro de los valles, dando origen a procesos agradacionales. Como muestra de estos procesos, se tienen los depósitos del cuaternario: coluviones, flujos de tierra y deslizamientos superficiales principalmente.

Aprovechando la información de Ingeocim Ltda. respecto de la cartografía de procesos de movimientos en masa, fue posible identificar en muchos de los casos la calificación cualitativa de amenaza a partir del grado de actividad del respectivo proceso.

Los procesos tuvieron como insumos la identificación a partir de estudios detallados como el de Ingeocim Ltda., el trabajo de Terrae – Universidad Nacional de Lozano – Fierro (2009) y el trabajo de caracterización de procesos en las localidades de San Cristóbal, Rabel Uribe Uribe y Ciudad Bolívar de Palomino (2009); adicionalmente se hizo una revisión y actualización de los mismos con el apoyo de la imagen aérea

(2010).

En escasas zonas en donde se superpone una zona de amenaza alta derivada de la identificación de un proceso morfodinámico a una zona de amenaza baja por la evaluación mediante el modelo MERDUCAS, se le generó una zona de transición de 8.0 m alrededor del proceso en amenaza media.

Para su empleo en la evaluación se identifican, delimitan y relacionan en una cobertura los procesos morfodinámicos provenientes de las fuentes ya citadas o por interpretación sobre la imagen aérea en las áreas de ladera. En desarrollo de este trabajo, el inventario de procesos morfodinámicos se propone usarlo como parámetro de calibración y castigo de los resultados de la evaluación mediante el modelo MERDUCAS, en donde, dependiendo de la tendencia a la propagación y grado de actividad, se determina la delimitación de cada proceso en cuyo caso afecta cualquier otra estimación que previamente se hiciera mediante el uso de la metodología adoptada.

En virtud de lo expuesto se consolida en el SIG una cobertura denominada como procesos morfodinámicos y que es este trabajo se presenta como **Mapa Nº 11** del **Anexo C**.

6 RESULTADOS Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

6.1 APLICABILIDAD

La obtención de las calificaciones para las variables y parámetros y su ponderación dentro del modelo tuvo como punto de partida una encuesta entre profesionales ligados al estudio de las ciencias de la tierra que realizara Ingeocim Ltda. y ajustado con los criterios y el conocimiento que los autores del presente trabajo tienen en el reconocimiento y diagnóstico de los problemas de inestabilidad del Distrito. La esencia de esta metodología ya ha sido probada con éxito en desarrollo de otros índices similares e inclusive ha sido empleado con razonable validez en evaluaciones detalladas con buen nivel y escala de la información primaria, si bien se precisa que su aplicación está orientada a evaluaciones de escala intermedia o local.

La denominada “Evaluacion de Estabilidad para Zonas Homogeneas” y por extensión el modelo MERDUCAS en su concepción primaria, fue desarrollado para evaluaciones de estabilidad y amenaza a escala intermedia, lo cual supone que la información temática corresponde a esta misma escala. De acuerdo con ello se seleccionaron los parámetros, factores, criterios, rangos de variabilidad y condiciones de evaluación.

Merece resaltar que las categorías de estabilidad con las cuales es correlacionable el modelo se establecieron para esta zona geográfica y para dicho nivel de investigación. Significa además lo anterior, que los ponderadores y acaso las estimaciones de los parámetros en cada variable están propuestos para su uso, acorde con las condiciones del Distrito; para su empleo en otro marco territorial es recomendable revisar y ajustar los ponderadores en concordancia con el conocimiento que se tenga de los parámetros que representan mayor relevancia para ese entorno; asimismo, los límites de las categorías de amenaza son los que resulten de aplicarle el tratamiento estadístico con la respectiva población de datos que para tal entorno se tenga.

6.2 METODOLOGÍA

Los métodos de análisis convencionalmente adoptados, requieren definir unidades básicas de trabajo para facilitar la tarea de cruzar gran cantidad de información. Con el uso de herramientas SIG en el trabajo, se optimiza de manera notable el manejo de la información espacial, permitiendo modelar cada tema o variable involucrada.

El ejercicio de definir y evaluar variables soportados en la medición cualitativa de parámetros permitió al final generar mapa por cada variable.

Como epílogo, la evaluación y zonificación final resulta de la sumatoria de los valores de estabilidad asignados a cada una de las variables a través de una de cruce espacial

mediante la integración en el SIG de para obtener un mapa de estabilidad global definida mediante un Calificador de Estabilidad Global - CE_G - como la sumatoria de los CE individuales (ΣCE_i). En este caso, es el resultado de superponer la susceptibilidad (definida como MERD) con los agentes detonantes (UCAS).

Al cruzar en el SIG cada una de las unidades resultantes de la evaluación de cada variable y sumarlas sobre el territorio derivó en la generación de alrededor de unos 242.000 polígonos de CE, cada uno con áreas y formas diferentes e independientes.

Tomando estos resultados como población muestral se procedió a hacer un diagrama de frecuencias y ponderarlos de acuerdo con el área de cada uno de los polígonos así:

$$CE_P = \frac{\Sigma CE_i * A_i}{\Sigma A_i}$$

Donde:

CE_P: Calificador de Estabilidad Promedio
CE_i: Calificador de Estabilidad individual (de cada polígono)
A_i: Área individual (de cada polígono)

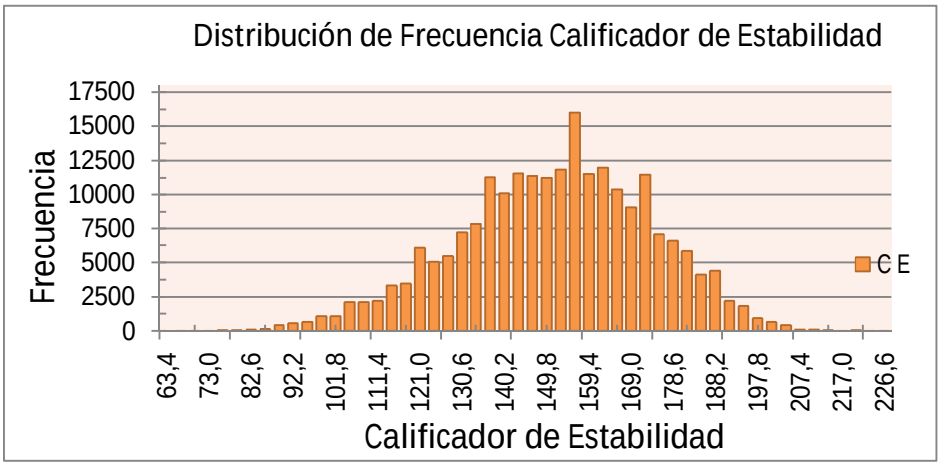


Figura Nº 14. Distribución normalizada de frecuencias de los Calificadores de Estabilidad (CE)

El resultado del análisis de frecuencias se presenta en la **Figura Nº 14**, donde se puede observar una distribución de tipo normal, con valores extremos de CE de 68 y 227, con un promedio aritmético de 150.0, promedio ponderado de 151.53 desviación estándar de 24.34. No se permitieron errores de topología por lo que no hay valores menores a los mínimos de la evaluación; esto se logró por que se tuvo especial cuidado de que en la totalidad de parámetros y variables no quedaran áreas sin evaluación y calificación.

6.3 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE ESTABILIDAD

Una vez definidos y calificados los mapas temáticos se realizó la superposición de mapas en forma sistemática, así: con el cruce de los parámetros Material (M), Erosión (E), Relieve (R) y Drenaje (D), considerados como parámetros intrínsecos, se obtuvo un mapa de susceptibilidad o semicuantitativo de zonas homogéneas de estabilidad.

A su vez, la superposición a las zonas homogéneas con los agentes detonantes: Uso del Suelo y Cobertura Vegetal (U), Clima (C), Factor Antrópico (A) y Sismo (S), permitió establecer una zonificación en términos de categorías de estabilidad.

Sobre el hecho de que los CE_i obtenidos corresponden a una distribución normalizada (**Figura Nº 14**) se dio un tratamiento estadístico de los datos; fue así que se determinaron las categorías de de estabilidad en términos de niveles de Amenaza en función de la Calificación de Estabilidad (CE_G), a partir del análisis de frecuencias de los CE, asignada a cada polígono resultante del cruce de topología de los mapas temáticos. Así las categorías de amenaza se establecen en los intervalos indicados en la **Tabla Nº 45**.

Tabla Nº 45. Rangos de Categorización de Amenaza

CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICADOR DE ESTABILIDAD (CE)
Baja	176 < CE
Media	127 < CE ≤ 176
Alta	CE ≤ 127

Esta valoración a su vez, surge como una adaptación a partir de las seis (6) categorías de estabilidad establecidas por Crozier (1984) [46].

De esta manera se obtuvo el mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa mediante la evaluación a través del modelo MERDUCAS. A este producto se le realizó un proceso manual de depuración consistente en eliminar minúsculos polígonos para dejar la categoría predominante (**Mapa Nº 10** del **Anexo C**).

Sobre el producto así obtenido, se procedió a montar y superponer zonificación derivada en su orden de las siguientes fuentes: procesos morfodinámicos (**Mapa Nº 11** del **Anexo C**), estudios detallados de amenaza por remoción en masa (**Mapa Nº 12** del **Anexo C**), suelos de protección por riesgo (**Mapa Nº 16** del **Anexo C**), diagnósticos (**Mapa Nº 15** del **Anexo C**) y conceptos técnicos de legalización de barrios (**Mapa Nº 13** del **Anexo C**) y planes parciales (**Mapa Nº 14** del **Anexo C**). Con la superposición de esta información se obtiene el plano final de amenaza por remoción en masa (**Mapa Nº 17** del **Anexo C**).

[46] LOZANO, J. Y MILLÁN, J. Op. Cit. pp. 16

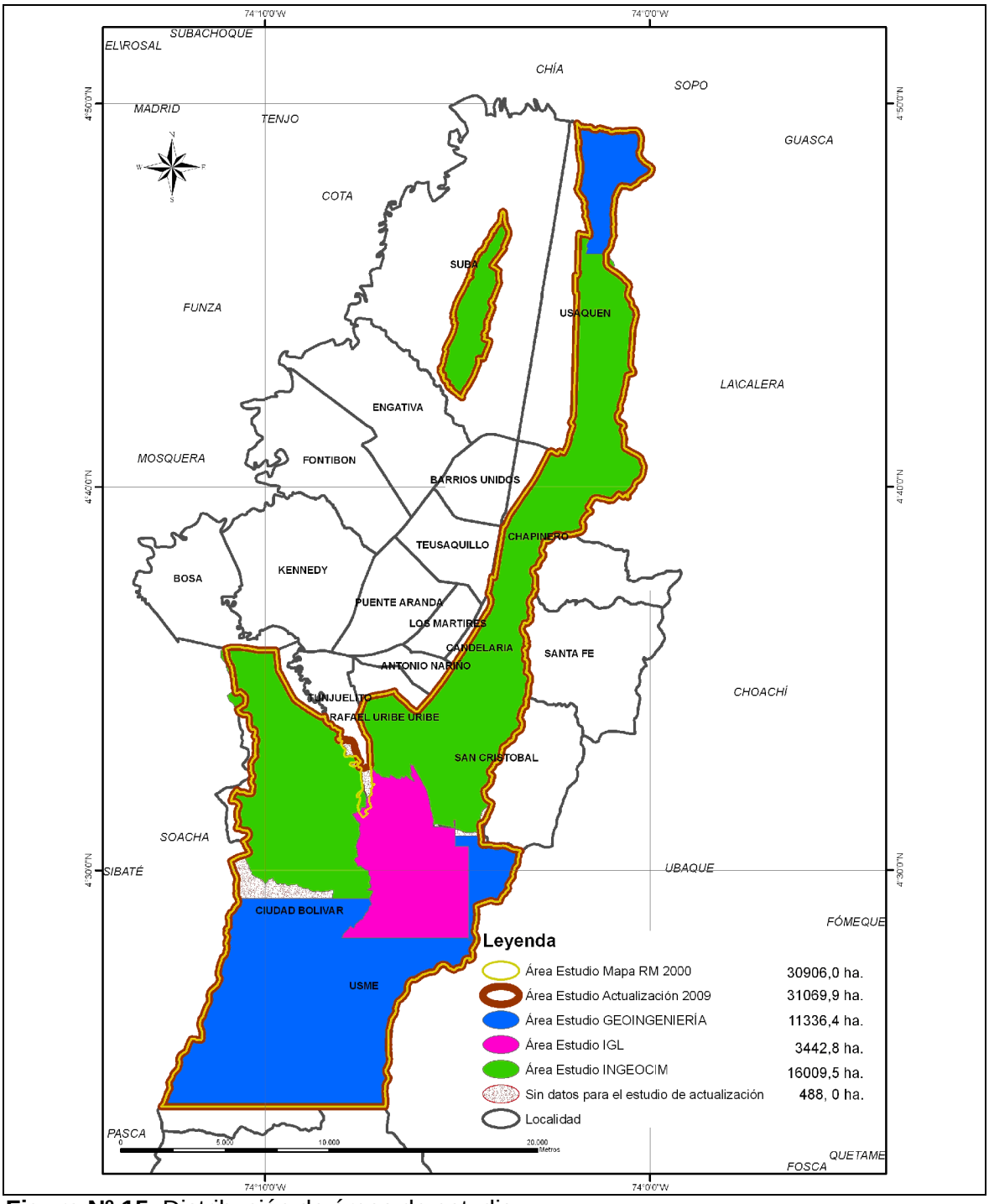


Figura Nº 15. Distribución de áreas de estudio

De un total de 30.911,10 Ha de área de evaluación, se da cuenta de los totales por categoría registrados en la **Tabla Nº 46**.

Tabla Nº 46. Distribución areal de amenaza POT y Amenaza estudio

CATEGORÍA	ÁREA AMENAZA POT		ÁREA AMENAZA ESTUDIO ACTUAL	
	Ha	%	Ha	%
Baja	16636,28	53,88	9007,41	29,14
Media	11462,40	37,13	17999,53	58,23
Alta	2776,14	8,99	3904,16	12,64
Total	**30874,82**	**100,00**	**30911,10**	**100,00**

Esta información da cuenta de un incremento de 36,28 Ha, las cuales corresponden al área adicionada (en las gravilleras del río Tunjuelo en la localidad de Tunjuelito), a unas franjas que se dejaron sin zonificar en las áreas periféricas de las zonas de estudio asignadas a los consultores de los estudios de 1998 y a la incorporación de los centros poblados La Unión, Betania y Nazareth de la localidad de Sumapaz.

Las zonas de amenaza actual, comparadas con las de las zonas de amenaza del POT (como se ilustra en la **Figura Nº 16**) dan cuenta de un incremento importante en las áreas de amenaza media (6537,13 Ha para un 21,1%), un aumento de 1128, 02 Ha (3,65%) en las áreas de amenaza alta, si bien se precisa recordar que el área de estudio fue aumentada en virtud de la inclusión de la zona de las gravilleras del río Tunjuelo en la localidad de Tunjuelito. Por su parte las áreas de amenaza baja disminuyeron en 24,74% (7628, 87 Ha).

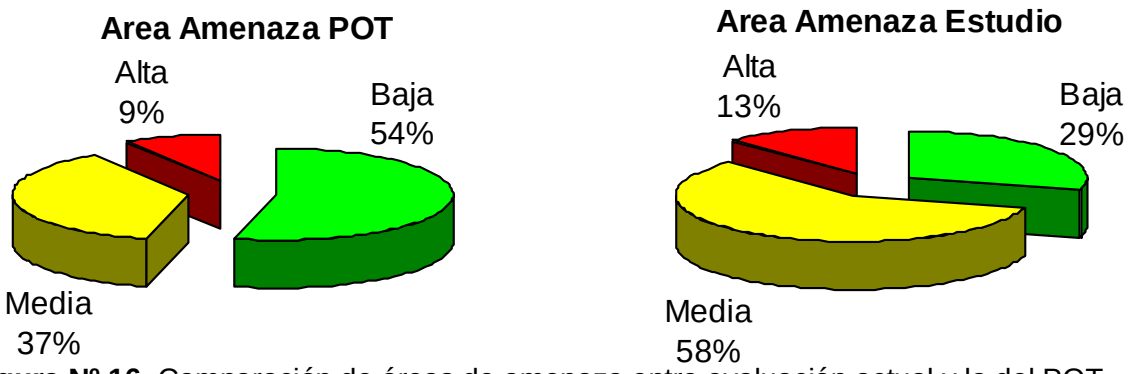


Figura Nº 16. Comparación de áreas de amenaza entre evaluación actual y la del POT

7 CONCLUSIONES

- El presente trabajo plantea por objeto la actualización del mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa para Bogotá, D.C.

- Bajo este objetivo se precisa el marco geográfico y marco normativo.

- Se parte de ciertos postulados como la escala de la evaluación y el tipo y nivel de la información temática. Solidario con esto, se plantea una zonificación escala 1:5000 y con información de diversas fuentes, a saber:
  - UACD: base predial catastral, manzanas
  - SDP: delimitación de barrios, norma urbana (reglamentación UPZ's)
  - IDU: estado y condición de la malla vial
  - IDRD: cobertura de parques
  - EAAB: cobertura con trazado y estado de redes de acueducto y alcantarillado sanitario y pluvial, trazado de cuerpos hídricos y delimitación de rondas y ZMPA
  - DPAE: diagnósticos y conceptos técnicos, estudios detallados de amenaza / riesgo
  - SDA: delimitación de elementos de la Estructura Ecológica Principal – EEP, cartografía con el inventario de cobertura vegetal
  - Ingeocim Ltda., Investigaciones Geotécnicas Ltda., GeoIngeniería Ltda.: geología o unidades geológicas superficiales a escala 1:5000, cobertura con inventario de procesos, identificación y delimitación de tipos de erosión, delimitación de unidades de relieve, delimitación de zonas con períodos de retorno de lluvia crítica, etc.
  - CAR: cartografía con el inventario de cobertura vegetal
  - Ingeominas

- Previo a la evaluación y zonificación, se propuso la metodología para la actualización del mapa de zonificación de amenaza por remoción en masa. Esta, esencialmente incorpora a la zonificación de amenaza aquí obtenida mediante la evaluación, los resultados y zonificaciones derivados de estudios detallados de amenaza / riesgo, diagnósticos técnicos, conceptos técnicos (legalización o planes parciales) elaborados de manera directa o indirecta por la DPAE, suelos de protección por riesgo.

- Se hizo una rigurosa revisión de metodologías semicuantitativas o cualitativas de evaluación de estabilidad a escala local o semiregional.

- Para la adopción de la metodología se hizo una suficiente investigación de metodologías que con el nivel de información y a la escala requerida para una zonificación de amenaza por remoción en masa en el área del Distrito. Entre las más representativas vale la pena citar:

i) Metodología de Cortés (1989)
ii) Evaluación de estabilidad para zonas homogeneas (Ramírez, et. al., 1989)
iii) Aplicación de los Sistemas de Información Geográfico (Escobar, 1992)
iv) Análisis de amenaza por deslizamientos (Hansen, 1984)
v) Metodología para determinar la amenaza `por deslizamientos, Mamelhaz, (Mora et. al., 1992)
vi) Amenaza por deslizamientos (Salinas, 1991)
vii) Análisis de amenaza utilizando Sistemas de Información Geográfica (Van Westen, 1989)
viii) Zonificación de la amenaza debida a los deslizamientos (Varnes, 1984)
ix) Metodologías para la evaluación de mapas de riesgo (Vargas, 1991)

- Concertado con la DPAE se seleccionó una adaptación de la metodología de Ramírez (1989) denominada "Evaluación de estabilidad para zonas homogéneas" que para el caso se denominó modelo MERDUCAS.

- Este modelo mide de manera semicuantitativa ocho (8) variables, reconocidas a su vez por que su nombre se compone de las iniciales o letras representativas del nombre de cada una de las variables. El nombre del modelo se ordenó mnemotécnicamente de modo tal que se ordene por agentes o factores intrínsecos y extrínsecos.

- En esta, las primeras variables (MERD) definen el mapa de zonas homogéneas o de susceptibilidad a la vez que constituyen los factores intrínsecos. Las ocho (8) variables corresponden a:

F. INTRÍNSECOS		F. EXTRÍNSECOS	
M	Material	**U**	Uso del suelo
E	Erosión	**C**	Clima
R	Relieve	**A**	Factor antrópico
D	Drenaje	**S**	Sismicidad

- Las adaptaciones que se le realizaron a la metodología de Ramírez (1989) consisten, de manera general, en la reevaluación de los ponderadores de cada variable, los parámetros de evaluación o en los criterios o valores de estabilidad (CE) en algunos de ellos, advirtiendo que los ponderadores empleados fueron adoptados para Bogotá en orden de la influencia que cada uno ejerce en la estabilidad global para este medio. Seguramente otro entorno espacial, requerirá sus propios ponderadores.

- La obtención de las calificaciones para las variables y parámetros y su ponderación dentro del modelo tuvo como punto de partida una encuesta entre profesionales ligados al estudio de las ciencias de la tierra que realizara Ingeocim Ltda. y ajustado con los criterios y el conocimiento que los autores del presente trabajo tienen en el reconocimiento y diagnóstico de los problemas de inestabilidad del Distrito.

- La esencia de esta metodología ya ha sido probada con éxito en desarrollo de otros índices similares e inclusive ha sido empleado por uno de los coautores del trabajo con razonable validez en evaluaciones detalladas con buen nivel y escala de la información primaria, si bien se precisa que su aplicación está orientada a evaluaciones de escala intermedia o local.

- La calidad o resolución de la zonificación aquí obtenida está en estrecho vínculo con la escala y la calidad de la información temática, la cual a su vez fue tomada de diversas fuentes, a saber: UAECD, SDP, SDA, DPAE, EAAB, CAR, IDU, etc. y evaluada cada variable de acuerdo con parámetros y criterios que adelante se explicarán.

- El modelo MERDUCAS es una metodología de naturaleza acumulativa por lo que se determina un Calificador de Estabilidad Global, CE_G, como la suma de los CE_i, en los que estos corresponden al CE obtenido de la evaluación de cada variable.

- Algunos de los criterios generales a tener en cuenta son:

  i) Por su naturaleza acumulativa, cualquier valor asignado (CE_i) siempre va a tener valor positivo
  ii) Las condiciones más desfavorables tendrán un valor de cero (0) o cercano a él, por el contrario las condiciones más favorables tendrán el valor máximo o cercano al límite de la variable
  iii) Las variables para su evaluación se apoyan en el empleo y valoración de parámetros definidos a su vez, por criterios de evaluación
  iv) Se ha de procurar no evaluar más de una vez un parámetro en variables diferentes, salvo que se concluya que se hace estrictamente necesario

- Tanto más se hace precisa la evaluación y zonificación cuanto más detallada sea la información básica, la evaluación mediante este modelo, se hace especialmente sensible al detalle de la geología; es posible emplear cartografía geológica a escala de detalle (1:1000, ó 1:2000) lo que hace fácil que sus diferencias se vean reflejadas en el resultado final.

- Las variables de mayor peso en la evaluación de la estabilidad en el Distrito las constituyen Material y Factor Antrópico a la vez que las de menor efecto son las de Erosión, Uso del Suelo y Sismo.

- Se evaluaron y se asignaron códigos y CE a los materiales de acuerdo con su naturaleza como Roca, Material Intermedio y Suelo a partir de la geología resultante de la integración y empalme de las geologías de las áreas de estudio de Ingeocim Ltda., Investigaciones Geotécnicas Ltda., y GeoIngeniería Ltda.

- Teniendo en cuenta que en las zonas de empalme de las áreas de estudio de cada consultor hay vanos y contactos inexistentes, fue preciso revisar, interpretar y ajustar la geología en estas zonas. Vale la pena hacer claridad que se trató de una

tercera interpretación en estas áreas, diferente de las de los consultores.

- Como ejercicio piloto se tomaron las unidades geológicas superficiales resultantes de los estudios detallados de la localidad de Ciudad Bolívar con el fin de codificarlos y asignarles CE de acuerdo con las **Tablas Nº 16** a **Nº 23**. Como resultado, se sintetizaran en 56 unidades superficiales de un total de 225 unidades diferentes. El ejercicio consistió entonces en practicar una comparación y por propiedades, espesor y analogía asignarles el respectivo código; el resultado de esta labor se presenta en el **Anexo A**.

- La estimación de la variable Erosión se basó ante todo en las delimitaciones de este fenómeno levantada o interpretada por los consultores de los estudios de 1998; esta cartografía se complementó con labores de interpretación sobre la imagen aérea por parte de los autores del trabajo, especialmente en las áreas rurales de Usme y Usaquén.

- Para la evaluación de la variable Relieve se empleó como insumo: las unidades que Ingeocim Ltda. había definido en su estudio de 1998 y en el resto del área (zonas de estudio de IGL y GeoIngeniería Ltda.) se empleó la topografía (curvas de nivel y red de drenaje), geología y mapa de pendientes para su interpretación y delimitación de las unidades de relieve de acuerdo con los criterios indicados en el numeral 4.2.3.3.

- La variable Drenaje fue evaluado de acuerdo con los lineamientos del numeral 4.2.3.4; para este efecto, se hizo la delimitación de las microcuencas a partir de la topografía y la red de drenaje con el apoyo del módulo Arc-Hydro de Arc-GIS; como resultado se delimitaron 170 microcuencas en las que se determinó el área y longitud de drenaje en cada una. Con esta información se determinó la densidad de drenaje por microcuenca y realizó la distribución de frecuencias para la totalidad de microcuencas la cual se ajusta a una distribución sesgada a la derecha y con el empleo de una escala logarítmica se ajustó a una distribución normalizada. De este modo se definieron cinco (5) categorías de densidad de drenaje con sus respectivas calificaciones (CE).

- Para le evaluación de la variable Uso del Suelo y Cobertura Vegetal se dividió la totalidad del territorio en escenarios territoriales a fin de facilitar su evaluación identificando usos particulares y diferenciables en cada uno; estos escenarios territoriales corresponden a urbano, minero y de usos mixtos / otros usos. En cada uno se evalúan parámetros diferentes de cara a la posibilidad de infiltración de agua o fijación del sistema radicular. Como cobertura urbana se examina y califica la presencia de construcciones, condición de las vías, presencia de especies vegetales en las zonas de cesión; por su parte en el escenario minero se explora la presencia de suelos eriales y erosionados.

- Con respecto a la valoración de la variable Clima, su impacto en la estabilidad de las laderas se mide a partir del período de retorno de la lluvia crítica, entendiéndola más desfavorable en aquellas áreas en donde éste es menor por cuenta de que se hace

más recurrente. Las zonas más críticas por el comportamiento de las precipitaciones se ubican cerca del límite rural entre las localidades de Usaquén y Chapinero (cerca a la población de la calera).

- Para la evaluación de la variable Factor Antrópico, su medición se enmarca en cuatro (4) escenarios territoriales: zona urbana, zona rural y Estructura Ecológica Principal, uso industrial de alto impacto (minería) y suelo urbanizable no urbanizado. En cada uno de ellos se identifican mediante parámetros las posibles intervenciones humanas y se valoran de acuerdo con la magnitud del impacto ocasionado al medio físico.

- Con la determinación de cada una de estas variables se estima la estabilidad global como la sumatoria de los CE de cada una de las variables al cruzar en el SIG cada uno de los polígonos con sus respectivos atributos. El resultado es una sucesión de polígonso cada uno con su respectivo CE_G.

- Con estos se realiza una distribución de frecuencias de CE verificando que se ajusta a una distribución normalizada. A partir de los estadísticos se procede a determinar los límites de las categorías de amenaza.

- A este producto se le superpone los resultados, según sea procedente, de zonificaciones de diagnósticos, conceptos técnicos, estudios detallados de amenaza / riesgo y/o suelos de protección por riesgo.

- Se establecen áreas (en Ha y en porcentaje) en amenaza baja, media y alta, determinando así que la mayor parte del área de estudio se encuentra en amenaza media.

- Porcentualmente la localidad que más concentra zonas en amenaza alta corresponde a Ciudad Bolívar y por el contrario la de menor amenaza alta es Suba la que a su vez contiene la mayor proporción de áreas en amenaza baja.

- Con respecto a la zonificación del actual POT (Decreto Distrital 190 de 2004), se advierte un aumento significativo de áreas en amenaza media especialmente localizado en las áreas rurales de Usaquén y Usme.

- La mayor parte del área rural no fue posible zonificarle por ausencia de información temática; se cuenta, sin embargo, con la zonificación derivada de algunos estudios y conceptos técnicos para centros poblados en la localidad de Sumapaz y veredas aisladas en la localidad de Usme

8 RECOMENDACIONES

- La DPAE deberá definir la periodicidad de las actualizaciones, inicialmente se estima que debe ser anual o bianual.

- La DPAE tiene la forma de ir actualizando los procesos morfodinámicos; en efecto, en la medida que se practican las visitas de reconocimiento o atención de emergencias con el empleo de un GPS y un dispositivo portátil (tipo PDA) con SIG incorporado, puede ir almacenando la delimitación del proceso así como sus datos identificadores.

- Es posible la actualización permanente o periódica de varios de los insumos como procesos morfodinámicos. Se sugiere que del mismo modo como se contrató la ejecución de contratos de actualización y levantamiento de procesos morfodinámicos en las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar, esta misma política se puede hacer extensiva a las demás localidades en ladera.

- Contratar a través de contrato de consultoría u convenio interadministrativo la homologación o estandarización de la geología a escala 1:5000, en el que especialmente se concilien los empalmes entre las zonas de estudio de los contratos de consultoría para zonificación de amenaza del año 1998: Ingeocim Ltda. Investigaciones Geotécnicas Ltda. IGL y GeoIngeniería Ltda.

- Proseguir con la codificación de materiales geológicos a partir de los estudios detallados en el que se confronten y se concilien descripciones y espesores a fin de que se puedan considerar materiales superficiales (espesor sugerido de mínimo 2.0 m).

- Continuar con la definición del modelo lluvia – deslizamiento a partir de la información histórica de registros de precipitación contra eventos de inestabilidad (emergencias).

- Buscar opciones para mantener actualizada información procedente de fuentes externas a la DPAE, especialmente EAAB con información real de la condición de redes de acueducto y alcantarillado y estado de las rondas hídricas de los cuerpos de agua.

- Para el área rural que no fue posible zonificar, se recomienda que la DPAE adquiera a través de convenios interadministrativos o por contratación los insumos necesarios para la evaluación de amenaza a escala regional; por la gran extensión y por que no se advierten sistemas estratégicos que proteger (salvo los casos puntuales correspondientes a los centros poblados) se considera que una escala 1:25000 ó 1:50000 es adecuada.

- Los insumos que se hace necesario disponer son especialmente: geología, topografía y cobertura vegetal.

- Se identifica la necesidad, por lo que se recomienda a la DPAE, que se genere y se tenga disponible una relación o, de ser posible, una base de datos acompañado de la respectiva cobertura en SIG, de las obras adelantadas por la DPAE y que a su vez contenga la delimitación de la misma, el área de influencia (directa o indirecta), el estado; paralelamente con lo anterior resultaría de gran utilidad que esta misma información fuera respaldada por un concepto técnico del área encargada. Este insumo, aparte de servir de soporte para adelantar programas de mantenimiento, sirve para emplearlo en la estimación de factor antrópico en le parámetro correspondiente a obras de mitigación o Plan de Manejo, Recuperación o Restauración Ambiental cuando de minería se trata.

9 BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DISTRITAL. Plan de Ordenamiento Territorial. Bogota 1998.

ALCÓCER, A. Diccionario estadístico. Madrid España. 1997.

CASTELLANOS, R. Lluvias críticas en la evaluación de amenazas de eventos de remoción de masa. Tesis de Magister en Geotecnia - Universidad Nacional de Colombia - Departamento de Ingeniería Civil. Santafé de Bogotá. 1996. 270 p.

CASTELLANOS, R. & GONZÁLEZ, A. Relaciones entre la Lluvia Anual y la Lluvia Crítica que Dispara Movimientos en Masa. IX Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. Santa Fe de Bogotá. 1996. Pp. 4.62 – 4.70.

CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. Landslide Types and Processes. In Turner, A.K. & Schuster, R.L., 1996: Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. Nacional Academy Press, Washington, D.C. 1996. 675 p.

D´ORSI, R.; C. D´AVILA, C. & ORTIGAO, J. A. R.; DIAS, A., MORAES, L. & SANTOS, M. D. Rio – Watch: The Rio de Janeiro Landslide Watch System. Rio de Janeiro. 1987. Pp 21-29.

DUQUE VILLEGAS, Gonzalo. Geotecnia y Medio Ambiente. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Especialización en Geotecnia. Manizales. Noviembre de 2003.

GEOINGENIERÍA LTDA., Zonificación de amenaza por fenómeno de remoción en masa para tres sectores de Santafé de Bogotá, para la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias- DPAE. Bogotá, 1998.

IDECA. Catalogo de Objetos de la Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital de Bogotá. Datos fundamentales catálogo de objetos geográficos, urbano ver. 1.0, 2006.

INGEOCIM LTDA. Zonificación por inestabilidad del terreno de Las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santafé, Chapinero, Usaquén y Suba, de Santafé de Bogotá D.C, para la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias- DPAE. Varios volúmenes. Bogotá, 1998.

INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS LTDA. Zonificación de riesgo por movimientos de remoción en masa en 101 barrios de la localidad de Usme, para la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias- DPAE. Bogotá, 1998.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA - INGEOMINAS Proyecto compilación y levantamiento de la información geomecánica. Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para la zonificación geomecánica. Volumen I. Henry Carvajal, Ricardo Cortés del Valle, Fredy Romero Ballén, Juan Montero Olarte, Yolanda Calderón. Bogotá, 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA - INGEOMINAS Catalogo de Objetos de Geomorfología. Bogotá. 2002.

LOZANO Z, Diana P. y FIERRO M., Julio. Aproximación a la cuantificación de pasivos ambientales relacionados con la minería en la Localidad de Ciudad Bolívar – Bogotá D.C. mediante el análisis multitemporal de fotografías aéreas e imágenes satelitales. Grupo de Investigación Terrae. Geología Ambiental, Universidad Nacional. Bogotá. 2009. pp. 24.

MARTÍNEZ, C. Estadística básica aplicada. ECOE Ediciones. Santa Fe de Bogotá. 2000. 303 p.

MAYORGA M., Ruth. Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. Tesis de Postgrado, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias U. N. Bogotá. 2003.

PALOMINO E. Ernesto. Caracterización de procesos geomorfológicos de ladera en las localidades de San Cristóbal. Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar con miras a actualizar los planos normativos 4 y 5. Bogotá. 2009. pp. 82.

VARNES, D. J.,: Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, 1978: Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Research Board, Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, 1978. 234 p.p.

FERNÁNDEZ, Rubén I. y SUAYTER, Luis E. Glosario Geoambiental. En Instituto de Riesgo Geológico y Sistematización Territorial. Universidad Nacional de Tucuman. Tucuman, Argentina. 2003. 78 p.p.

http://www.proteccioncivil.es/es/DGPCE/Informacion_y_documentacion/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum/vdm0259.htm

ANEXO A

EVALUACIÓN DE MATERIAL RESUMEN DE CODIFICACIÓN DE MATERIAL

EVALUACIÓN DE MATERIAL
RESUMEN DE CODIFICACIÓN DE MATERIAL

1. INTRODUCCIÓN

Este anexo se preparó con el propósito de resumir los resultados de la evaluación de la variable material desde el punto de vista de su naturaleza y su litología; por tanto no incluye afectaciones por influencia de la tectónica o fracturamiento.

El alcance de este más que describir en mucha profundidad como se valoró la información está centrado en los resultados pensado en su empleo como una fuente de consulta rápida.

En este empeño, inicialmente se presenta la síntesis de los materiales a la escala original en la que se realizaron los estudios matrices, i.e., Ingeocim Ltda., Investigaciones Geotécnicas Ltda. – IGL – y GeoIngeniería Ltda., es decir a escala 1:5000. En esta síntesis se incluye además los códigos asociados a cada una de las mismas unidades; para establecer sus CE –Calificadores de Estabilidad- se deberá aplicar las tablas indicadas en la metodología del modelo MERDUCAS en el numeral 4.2.3.1 del informe principal.

En un ejercicio de calibración en la localidad de Ciudad Bolívar se evaluó la estabilidad mediante el modelo MERDUCAS haciendo uso de información detallada de geología; en este caso se empleó la cartografía de las unidades geológicas superficiales levantada en desarrollo de los estudios detallados de amenaza / riesgo contratados por la DPAE; la escala de esta cartografía es como mínimo 1:1000 y puntualmente 1:250.

2. GENERALIDADES

En la primera parte, bajo la metodología y criterios aplicados por Ingeocim Ltda. en su estudio de 1998, se hizo extensivo a las unidades a escala semiregional identificados en los estudios desarrollados por los consultores Investigaciones Geotécnicas Ltda. – IGL - y GeoIngeniería Ltda. para el área urbana de Usme y el área rural de las localidades de Usaquén, Usme y Ciudad Bolívar respectivamente. Como resultado se relacionan las 54 unidades indicadas en el numeral 4.3.1 y **Tabla Nº 35** del informe principal, como complemento se formulan los códigos asignados.

La síntesis de las unidades a escala semiregional es el resultado de la revisión, homologación, estandarización de las diferentes unidades identificadas en todas las fuente de consulta. Las que al final se establecieron fueron adoptadas después de un proceso de filtrado a partir de las unidades de las diferentes fuentes con base en su descripción, continuidad de las unidades teniendo en cuenta que los consultores definen denominaciones diferentes para las mismas unidades y/o subdivisiones en miembros o conjuntos, tal es el caso de la Formación Regadera definida como tal o como alguna combinación de los miembros inferior, medio y superior de la misma

formación; algo similar ocurre con la Formación Usme y otras unidades terciarias así como con innumerables unidades del cuaternario.

De este modo, la síntesis aquí presentada es el producto de un riguroso ejercicio de revisión y filtrado.

3. METODOLOGÍA

El contenido y resultados de este anexo está orientado en dos líneas: a escala semiregional para unidades geológicas a nivel de la ciudad y a escala detallada para las unidades geológicas superficiales de la localidad de Ciudad Bolívar.

La nomenclatura se compone de un prefijo que da cuenta de la naturaleza y el origen del material, así pues, el prefijo R indica que se trata de roca, M. I., hace referencia a material intermedio y S se refiere a suelo sea este transportado (ST) o residual (SR); el sufijo o índice hace relación a condición de fracturamiento (Roca), condición de fracturamiento y erodabilidad de la matriz (Material Intermedio), y densidad / consistencia así como medio de transporte (Suelo).

3.1 ESCALA SEMIREGIONAL

En el primer escenario, por analogía con las clasificaciones de las unidades a escala 1:5000 cartografiadas por Ingeocim Ltda. se hizo extensiva a las unidades estratigráficas del área no cubierta por este consultor. Para el efecto, se procedió de la siguiente manera según el tipo de material:

- Roca: a partir de criterios como la descripción litológica (tipo de roca, cementante, composición mineralógica), la edad o por resultados de eventuales pruebas de carga puntual sobre muestras de fragmentos de roca se determinó cada horizonte como una unidad R1 a R4; esta clasificación se complementa con un sufijo resultante de la condición o densidad de fracturamiento, el código así obtenido define el CE a emplear.

- Material Intermedio: Se define a partir de erodabilidad de la matriz y de influencia de estructuras heredadas (IEH), esto implica determinar características de la matriz de los depósitos de material inconsolidado, estableciendo si es matriz-soportado o clasto-soportado, y las propiedades de la fracción como densidad, consistencia. Adicional a lo anterior se debe tener buen juicio a fin de establecer el medio de transporte o sedimentación para clasificarlo previamente como suelos transportado (ST) y junto con esto, la denominación como ST1 ó ST2. Finalmente, la densidad de estructuras heredadas por unidad de área permite asignarle un sufijo como bajo, medio, alto o extremo (B, M, A, X). El complemento de los dos términos define el código y calificador –CE.

  La erodabilidad de la matriz se define a su vez, en términos de granulometría, composición y consistencia de la matriz.

- Suelo: se determina inicialmente a partir de su condición de suelo transportado o residual (numeral 4.2.3.1.3) y los lineamientos esbozados en las **Tablas Nº** 22, **Nº** 23 y **Nº** 24 del informe principal.

  Una vez determinado este aspecto, para suelos residuales se examina el origen de la roca parental (sedimentaria, ígnea o metamórfica) que para Bogotá, salvo las cenizas volcánicas, es sedimentario. Basado en información preexistente y en el conocimiento que se tiene de los suelos en la ciudad, se determina el perfil de meteorización de acuerdo a los horizontes de Dearman (1974). Dependiendo del origen de la roca parental, del grado del intemperismo y de la granulometría se determina el tipo de suelo codificándolo de acuerdo con la escala de la **Tabla Nº 22** del informe principal; de este modo las mejores condiciones se configuran cuando se trata de saprolito antes que suelo residual propiamente dicho a la vez que ofrece una mejor condición el suelo de fracción gruesa. De este ejercicio, se obtienen códigos entre S2 y S4.

  Por su parte, para suelos transportados, se explora si el medio de depositación lo constituye la gravedad o agua a partir de lo cual se determina el nivel de suelo de S1 a S4 (partiendo del más favorable en términos de estabilidad).

  Finalmente, para suelos residuales o transportados, se le asigna un sufijo relacionado con su densidad (alta, media o baja para suelos de fracción granular) y consistencia (firme, media o blanda para suelos de fracción fina), previendo que la calidad y por tanto el CE disminuye con la densidad y con la consistencia. Los criterios aplicados en su estimación están discriminados en las **Tablas Nº 22, 23 y 24** del informe principal.

Los resultados finales de las diferentes opciones al emplear estas valoraciones para la totalidad de los materiales son los que se presentan en la **Tabla Nº A.1**; es preciso advertir que estas incluyen afectaciones por discriminadores como densidad de fracturamiento (rocas), influencia por estructuras heredadas (material intermedio) y densidad y consistencia (suelos).

3.2 ESCALA DETALLADA

Para este segundo caso, se aplicaron los mismos criterios a las unidades geológicas superficiales cartografiadas en los estudios detallados de amenaza y riesgo en la localidad de Ciudad Bolívar, estos estudios cubren escalas 1:1000 y superiores.

Para este propósito se sacó la relación de las unidades superficiales de 76 estudios geológicos, geotécnicos o de amenaza/riesgo correspondientes a la localidad de Ciudad Bolívar (estos de relacionan en el la **Tabla Nº A.4**).

En su consolidación se revisó la geología de 76 estudios geológicos, geotécnicos o de amenaza/riesgo correspondientes a la localidad de Ciudad Bolívar (estos de relacionan en el la **Tabla Nº A.4**).

Tabla Nº A.1. Calificador de Estabilidad (CE) según código de material

TIPO MATERIAL	ÍNDICE	SUFIJO		CÓDIGO	CE
		DISC.	SÍMB.		
Roca	R1	D. F.	B	R1B	55
			M	R1M	44
			A	R1A	25
			X	R1X	11
	R2	D. F.	B	R2B	43
			M	R2M	34
			A	R2A	19
			X	R2X	9
	R3	D. F.	B	R3B	27
			M	R3M	22
			A	R3A	13
			X	R3X	5
	R4	D. F.	B	R4B	13
			M	R4M	10
			A	R4A	6
			X	R4X	3
Material Intermedio	IT2	I. E. H.	B	IT2B	29
	IT3		M	IT3M	18
	IT4		A	IT4A	16
	IT4		X	IT4X	4
SUELO	SR1	Dens.	A	SR1A	28
	SR1		M	SR1M	18
	SR1		S	SR1S	8
	SR2	Consist.	D	SR2D	20
	SR2		C	SR2C	12
	SR2		B	SR2B	4
	ST2	Dens.	A	ST2A	21
	ST2		M	ST2M	13
	ST2		S	ST2S	6
	ST3	Dens.	A	ST3A	12
	ST3		M	ST3M	8
	ST3		S	ST3S	3
	ST3	Consist.	D	ST3D	12
	ST3		C	ST3C	8
	ST3		B	ST3B	3

TIPO MATERIAL	ÍNDICE	SUFIJO		CÓDIGO	CE
		DISC.	SÍMB.		
	ST4	Consist.	D	ST4D	6
	ST4		C	ST4C	3
	ST4		B	ST4B	1

Disc. Discriminador
D. F.
I.E.H. Densidad de Fracturamiento
Dens. Influencia de Estructuras Heredadas
Consis Densidad
t Consistencia

Notas:
- M. I.: Material Intermedio
- Esta tabla contiene los valores ajustados al peso de la variable
- Se nota una concentración de unidades hacia los valores bajos de Calificador de Estabilidad

Unidades comparables o idénticas aparecen con diferentes nomenclaturas y denominaciones como consecuencia de criterios diversos por parte de los geólogos responsables de este tema en cada uno de los estudios. Es así que, por ejemplo, en la localidad de Ciudad Bolívar se registran rellenos con las evidentes diferencias en su naturaleza y composición pero de comportamiento mecánico muy similar en al menos un 95% de estas masas inconsolidadas. No obstante, de el examen de estas unidades fue posible determinar en estos la existencia de 49 denominaciones y nomenclaturas diferentes; simultáneamente se reconocen 18 unidades de coluviones, 21 de miembro medio de la Formación Guaduas y 21 de Arenisca Tierna entre otros.

4. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Al hacer uso de estas estimaciones específicamente a los materiales de la ciudad a escala semiregional (1:5000) los cuales se indicaron en la **Tabla Nº 35** y el numeral 4.3.1 del informe principal, se obtienen los códigos para las 44 unidades los cuales se relacionan en la **Tabla Nº A.2**.

Tabla Nº A.2. Codificación de Material para unidades geológicas a escala semiregional en Bogotá

Edad	Símbolo	Nombre Unidad	Código
CUATERNARIO	Rab	Relleno Antrópico, Basuras	ST4B
	Rae	Relleno Antrópico, Escombros de Excavación	ST4B
	Rfb	Depósito de Flujo de Basuras	ST4B
	Qex	Canteras en Explotación	ST4B
	Qfta	Flujos de Tierra Activos	ST4B
	Qft	Depósitos de Flujos de Tierra	ST4B
	Qd	Zona de Deslizamiento	ST4B

Edad	Símbolo	Nombre Unidad	Código
	Qsr	Suelos Residuales	SR2C / SR2B
	Qal	Depósitos Aluviales	ST3C
	Qc	Depósitos de cenizas	ST4D
	Qch	Fm. Chía	ST3B
	Qdl	Depósitos de Pendiente	IT3M
	Qdlc	Depósitos de Pendiente - Coluvión	ST4D / ST4C
	Qdlt	Depósitos de Pendiente - Talus	ST4D / ST4C
	Qhp	Depósitos de Planicie Aluvial	IT4A
	Qcd	Conos de Deyección	IT3M
	Qct	Formación Tunjuelito	IT4A
	Qfc	Depósito Fluvio-Coluvial	ST3D / ST3C
	Qfg	Depósitos Fluvio-Glaciares	ST3D / ST3C
	Qg	Depósitos Glaciales	ST3D / ST3C
	Qsb	Formación Sabana, Suelos de La Sabana	ST3B
	Qt	Depósitos de Terraza	IT4A
	Qta	Depósitos de Terraza Alta	IT3M
	Qtm	Depósitos de Terraza Media	IT4A
	Qtb	Depósitos de Terraza Baja	ST3B
T-Q	TQt	Formación Tilatá	ST3B
TERCIARIO	Tus	Formación Usme	R4
	Tmus	Formación Usme Superior	R4
	Tmum	Formación Usme Medio	R4
	Tmui	Formación Usme Inferior	R4
	Ters	Formación La Regadera, Conjunto Superior	R4
	Teri	Formación La Regadera, Conjunto Inferior	R4
	Tpb	Formación Bogotá	R4
	Tpc	Formación Cacho	R4
CRETÁCEO	KTg	Formación Guaduas	R4
	KTgs	Formación Guaduas, Conjunto Superior	R4
	KTgm	Formación Guaduas, Conjunto Medio	R4
	KTgi	Formación Guaduas, Conjunto Inferior	R4
	Ksglt	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca de Labor Tierna	R4
	Ksgt	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Tierna	R4
	Ksgl	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca de Labor	R4
	Ksgp	Grupo Guadalupe, Formación Plaeners	R3
	Ksgd	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Dura	R3
	Kschi	Formación Chipaque	R3

En cuanto a la revisión y análisis de la información de los estudios detallados de geología, geotecnia o amenaza / riesgo en la localidad de Ciudad Bolívar, se establecieron las 224 unidades indicadas en la **Tabla Nº A.3**.

Tabla Nº A.3. Codificación de Material para unidades geológicas superficiales (escala detallada) en la localidad de Ciudad Bolívar

Símb	Nombre Unidad Regional		Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
			Estudio	Genérico			
Qr	Relleno		Qa	Qr	Depósito antrópico	ST4B	427
			Qab	Qr	Suelos antrópicos de botadero: Depósitos mixtos con materiales variados (madera, vidrio, plásticos, etc.), generalmente embebido en matriz de limo orgánico-mineral	ST4B	395
			Qac	Qr	Zonas construidas en concreto, correspondientes a las zonas de viviendas y pasos peatonales	ST4B	374
			Qadc	Qr	Depósito de desechos de construcción	ST4B	374
			QAE	Qr	Depósito de estériles: cantos y fragmentos de arenisca con matriz arcillo-Limosa con signos de reptación de ladera	ST4B	382
			QAL1	Qr	Depósitos recientes. Arenas, Limos y arcillas de inundación con presencia de basuras	ST4B	344
			QAM1	Qr	Depósito mixto 1: restos de materiales de construcción, de excavación y algunos bloques de arenisca, en matriz arcillo-Limosa	ST4B	382
			QAM2	Qr	Depósito mixto 2: restos de materiales de construcción, de excavación, basuras, estériles y esporádicos bloques de arenisca, embebidos en matriz arcillo-arenosa	ST4B	382
			QAM3	Qr	Depósito mixto 3: restos de materiales de construcción, de excavación y basuras, en matriz arcillo-Limosa	ST4B	382
			Qar	Qr	Depósito de relleno en el tope de la ladera	ST4B	374
			QAR1	Qr	Depósito de Relleno 1: material estéril y gránulos finos matriz arcillo-Limosa	ST4B	382
			QAR2	Qr	Depósito de Relleno 2: material arcilloso, estériles y basuras en matriz arcillosa	ST4B	382
			QARAL	Qr	Depósito de Relleno arcillo-Limoso: material arcillo-limoso que conforma los patios de explotación	ST4B	382
			QAT	Qr	Depósitos antrópicos	ST4B	317
			Qb	Qr	Depósitos de basuras domésticas y escombros	ST4B	319
			Qb/Tkg2	Qr	Botadero de bloques y gravas de cuarzoarenita y lodolitas en matriz limoarenosa, producto de la excavación para construcción de vivienda. Este depósito suprayace limolitas arenosas y lodolitas laminadas grises de la Formación Guaduas (TKg2)	ST4B	510
			QBA	Qr	Depósitos de basuras y desechos sólidos, poco seleccionados; moderadamente compactados y grado de meteorización alto; se encuentran localizados en la parte baja de la quebrada La Estrella	ST4B	380
			Qba	Qr	Depósitos coluviales, constituidos por material de corte y basuras localizadas a media ladera, estabilizados y con meteorización moderada	ST4B	515
			Qba/Qcl	Qr	Relleno de basuras y residuos de construcción sobre un depósito coluvial con bloques angulares de cuarzo-arenita en medio de una matriz limo-arenosa	ST4B	510
			Qba/Tkg2	Qr	Relleno arcillo limoso color café, compuesto por basuras y residuos de construcción, se encuentra cubriendo rocas de la Formación Guaduas conformadas por cuarzo-arenitas con intercalaciones de lodolitas (TKg2)	ST4B	510
	Relleno		QBE	Qr	Botadero de escombros	ST4B	274
			Qcb	Qr	Suelos antrópicos de botadero: Depósitos mixtos con materiales variados (madera, vidrio, plásticos, asociado a la	ST4B	395

Símb	Nombre Unidad Regional	Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
		Estudio	Genérico			
				parte baja de escarpes en arenisca		
		Qdl	Qr	Depósito de Ladera: acumulaciones de desperdicios de construcción y basuras con espesores menores de 1.5 m. Matriz limo-arenosa	ST4B	335
		Qdlf	Qr	Material acumulado antrópicamente o por efecto del flujo y lavado de la ladera	ST4B	335
		Qdlt	Qr	Depósito de relleno de ladera trastocados	ST4B	374
		Qe	Qr	Depósitos de escombros y diversos materiales de demolición, sueltos	ST4B	319
		Qefl	Qr	Depósitos de escombros de fragmentos líticos de gran tamaño (0.5 m y 2.5 m de diámetro), apilados en la zona del antiguo patio de la cantera	ST4B	319
		Qr	Qr	Relleno	ST4B	509
		QR1	Qr	Materiales muy homogéneos de composición arcilloarenosa, escombros de construcción y basuras. Rellenos de antiguas cárcavas, espesores hasta de 18 m	ST4B	344
		QR2	Qr	Rellenos superficiales de composición limoarcillosa con espesores menores de 2.0 m. Mediana compactación	ST4B	344
		QR3	Qr	Materiales sueltos, muy recientes, de muy pobre compactación, arcillas, arenas y escombros de construcción	ST4B	344
		Qra	Qr	Relleno antrópico	ST4B	375
		QRA1	Qr	Relleno antrópico en áreas urbanizadas	ST4B	367
		QRA2	Qr	Relleno antrópico en zona minera	ST4B	367
		QRA2 (P)	Qr	Relleno antrópico en zona de patios	ST4B	367
		QRA2 (T)	Qr	Relleno antrópico terraceado	ST4B	367
		Qrb	Qr	Depósitos antrópicos compuestos por desperdicios orgánicos y de construcción mal conformados	ST4B	335
		QR-CL	Qr	Depósitos de Rellenos delgados sobre arcillolitas	ST4B	317
		Qre	Qr	Materiales seleccionados y compactados que conforman los rellenos de las vías y construcciones	ST4B	319
		QRH1	Qr	Relleno hidráulico reciente	ST4B	367
		QRH2	Qr	Relleno hidráulico antiguo	ST4B	367
		Qrm	Qr	Relleno antrópico	ST4B	471
		QR-SS	Qr	Depósitos de Rellenos delgados sobre areniscas	ST4B	317
		Qsb	Qr	Relleno de basuras	ST4B	374
			Qr	Rellenos para construcción de viviendas y vías, sobrantes minería, botadero	ST4B	444
Qr			Qr	Recebo	ST4B	508
		Ro	Qr	Rellenos	ST4B	342
Rae	Escombros de Excavación	Rae	Qr	Rellenos antrópicos de escombros de excavación, arcillas y material de descapote	ST4B	304
Rab	Relleno de Basuras	Rab	Qrt	Relleno antrópico, Basuras	ST3M	246
Qex	Canteras en explotación					
Qfta	Flujos de Tierra Activos	Qfta	Qft	Flujos de Tierra Activos	ST4B	246
Qft	Depósitos de Flujos de Tierra	Qft	Qft	Depósitos de Flujos de Tierra	ST4B	246
		Qfm	Qft	Depósito de flujos mixtos: materiales heterogéneos en fragmentos angulares inmersos en una matriz fina,	ST4B	282

Símb	Nombre Unidad Regional	Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
		Estudio	Genérico			
				generalmente terrosa de suelo transportado asociado a las corrientes de la zona		
		QFD	Qft	Flujo de detritos	ST4B	360
		QFS	Qft	Flujo de suelos	ST4B	360
		QF	Qft	Depósitos de flujos	ST4B	406
		Qd	Qft	Flujo de detritos de carácter arcilloso	ST4B	522
		Qdd	Qd	Depósitos de detritos de tipo arcilloso y arenoso de tamaños entre 5 cm y 15 cm de diámetro	ST4B	319
Rfb	Depósito de Flujo de Basuras	Rfb	Qft	Depósito de Flujo de Basuras	ST4B	246
Qd	Zona de Deslizamiento	Qddf	Qd		ST4B	319
		Qcb	Qd		ST4B	522
		QGA	Qft		ST4B	360
Qsr	Suelos Residuales	Qsr	Qsr	Suelos Residuales	SR2C / SR2B	246
		QS	Qsr	Suelos residuales	SR2C / SR2B	274
		Sr	Qsr	Suelos residuales arcillosos derivados de las arcillolitas de la formación Guaduas con espesores de 1 a 3 metros	SR2C / SR2B	322
		QSR2	Qsr	Suelo residual. Arcillas derivadas de la Formación Bogotá	SR2C / SR2B	344
		QSD	Qsr	Suelo residual y roca desplazada	SR2C / SR2B	360
		QA	Qsr	Depósito arcilloso: material arcilloso originado por erosión de arcillolita	SR2C / SR2B	382
		KSGL-AC1	Qsr	Suelos residuales arcillosos y o arenosos producto de la meteorización de las unidades de roca de la Formación Arenisca de Labor	SR2C / SR2B	407
		SR3	Qsr	Suelos residuales que se desarrollan sobre arcillolitas altamente meteorizada	SR2C / SR2B	407
		Qsr(Tu)	Qsr	Suelo residual (Formación Usme)	SR2C / SR2B	509
		Ksgt-sr	Qsr	Constituído por areniscas masivas como material parental. Dureza media a alta, grado de litificación alto, bastantes óxidos de hierro, grano fino, bien cementada	SR2C / SR2B	515
		KSGL-AC2	Qsr	Suelos residuales arcillosos y/o arenosos producto de la meteorización de las unidades de roca de la Formación Labor, arcillocitas y lodolitas silíceas	SR2C / SR2B	407
		KSGL-AR4	Qsr	Suelos residuales arcillosos y / o arenosos producto de la meteorización de las unidades de roca de la Formación Labor, areniscas laminadas muy consolidadas y meteorizadas	SR2C / SR2B	407
Qal	Depósitos Aluviales	Qal	Qal	Depósitos Aluviales	ST3C	246
		QAL2	Qal	Depósitos aluviales recientes: Arenas, gravas, cantos y bloques de areniscas	ST3C	344
Qhp	Depósitos de Planicie Aluvial					
Qc	Depósitos de	Qcv	Qc	Cenizas volcánicas	ST3C	375

Símb	Nombre Unidad Regional		Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
			Estudio	Genérico			
	cenizas		Qcv/Qcl	Qc	Depósitos de ceniza volcánica sobre depósito coluvial	ST3C	510
Qch	Fm. Chía		Qch	Qch	Formación Chía, principalmente arcillas de inundación, localmente limos fluviales y en áreas pantanosas, arcillas orgánicas y diatomíticas de origen lacustre	ST3B	199
Qdl		Depósitos de Pendiente					
Qdlc		Coluvión	Qdlc	Qdlc	Depósitos de Pendiente - Coluvión	IT3M	246
			Qc	Qdlc	Depósitos de coluvión: bloques, guijos y gravas angulares en matriz arcillosa a arenosa	IT3M	304
			QCL	Qdlc	Depósitos coluviales	ST4D / ST4C	317
			Qdrt	Qdlc	Bloques angulares de arenisca cuarzosa con granulometría variable y arista promedio de 50 cm conformando un depósito clasto - soportado de 4 m de espesor	IT3M	319
			Sc1	Qdlc	Suelos coluviales: grava y bloques angulares en matriz arenosa bien consolidada	IT3M	322
			Sc2	Qdlc	Suelos coluviales: bloques y cantos de matriz arcillosa de pobre compactación	IT3M	322
			QAL	Qdlc	Depósito arcillo-limoso: material arcillo-limoso con algunos cantos de arenisca	ST4D / ST4C	382
			QCl	Qdlc	Coluvión inferior: constituido por cantos y guijarros de areniscas dentro de una matriz areno-limosa	IT3M	382
			QCS	Qdlc	Coluvión superior: bloques de areniscas, granos medio a grueso, en matriz areno-limosa	IT3M	382
			Qca	Qdlc	Coluvión antiguo: Coluvión con predominio de matriz areno-arcillosa de color gris a crema, muy susceptible a la erosión hídrica superficial concentrada y la tubificación	ST4D / ST4C	395
			Qci	Qdlc	Coluvión inferior: bloques de arenisca de tamaños variados (máximo de 2 metros) en matriz arcillo-limosa	ST4D / ST4C	395
			Qci + Qra	Qdlc	Coluvión inferior - Suelos antrópicos de relleno: Bloques de arenisca de tamaños variados (máximo de 2 metros) en matriz arcillo-limosa, depósitos mixtos. Para la zona de estudio predominan fragmentos de areniscas con matriz arcillosa-limosa	IT3M	395
			Qcs + Qra	Qdlc	Coluvión superior: Suelo natural burdamente estratificado, quizá con influencia aluvial; corresponde a gravas gruesas de arcillolitas, angulares, en matriz arcillo-limosa. Ocasionalmente bloques de arenisca donde son escasos los tamaños	IT3M	395
Qdlc		Coluvión		Qdlc	Depósito coluvial	ST4D / ST4C	444
			Qco	Qdlc	Coluvión antiguo	IT3M	471
			Qco + Qtal	Qdlc	Coluvial reciente	IT3M	471
			TKgm-Y-Arcob	Qdlc	Ladera erosional antrópica	ST4D / ST4C	471
				Qdlc	Coluvión con desprendimientos	ST4D / ST4C	508
Qdlt		Talus	Qdlt	Qdlt	Depósitos de Pendiente - Talus	IT4A	246
			QFT	Qdlt	Depósitos de talud / talus	IT4A	360
				Qdlt	Talus	ST4D / ST4C	444
			Qf	Qdlt	Bloques y cantos angulares a subredondeados de arenisca	IT4A	515

Símb	Nombre Unidad Regional		Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
			Estudio	Genérico			
					de 1-2 m de longitud provenientes del grupo Guadalupe.		
Qcd	Conos de Deyección		Qcd	Qcd	Cono de eyección	IT3M	509
Qct	Formación Tunjuelito		Qct	Qct	Conos del Tunjuelo	IT4A	204
			TQC	Qct	Depósito Fluvio-torrencial (Formación Marichuela). Gravas, cantos y bloques de matriz limo-arenosa	IT4A	344
Qfc	Depósito Fluvio-Coluvial						
Qfg	Depósitos Fluvio-Glaciares		Qfg	Qfg	Depósitos Fluvio-Glaciares	ST3D / ST3C	246
Qg	Depósitos Glaciales		Qg	Qfg	Depósitos Glaciales	IT3M	246
Qsb	Formación Sabana	Suelos de La Sabana	Qsb	Qsb	Formación Sabana, Suelos de La Sabana	ST3B	246
			Qsn	Qsb	Suelo negro	ST3B	375
			Qo+cv	Qsb	Limos orgánico, minerales muy porosos intercalados con turbas orgánicas endurecidas (neme). El material parental son cenizas volcánicas	ST3B	395
			Qsa	Qsb	Formación Sabana	ST3B	427
				Qsb	Formación Mondoñedo	ST3B	491
			QC2	Qta	Suelos limo-arenosos. Limos arenosos con lentes de gravas y arcillas color gris, con la presencia de un horizonte de ceniza volcánica	IT3M	344
Qt		Depósitos de Terraza					
Qta		Terraza Alta	Qta	Qta	Depósitos de Terraza Altas	IT3M	246
Qtm		Terraza Media					
Qtb		Terraza Baja	Qtb	Qtb	Depósitos de Terraza Bajas	ST3B	246
TQt		Fm. Tilatá	TQt	TQt	Formación Tilatá	ST3B	246
Tus	Fm. Usme	Fm. Usme	Tus	Tmu-Are	Formación Usme	R3	246
Tmus		Usme Superior					
Tmum		Usme Medio					
Tmui		Usme Inferior					
Tpb	Formación Bogotá		Tpb	Tpb	Formación Bogotá	R4	246
			TEB	Tpb	Formación Bogotá. Arcillolitas color rojo con niveles de areniscas arcillosas, roca muy meteorizada y fisurada	R4	344
Tpc	Formación Cacho		Tpca	Tpc	Formación Cacho: litoarenitas de grano fino-grueso, feldespáticas muy meteorizadas, friables	R4	335
			Tpcl	Tpc	Formación Cacho: Arcillolitas claras con tonos violáceas, plásticas	R4	335
			TPC1	Tpc	Segmento 1: Areniscas feldespáticas friables de grano grueso a conglomerático en capas de espesor grueso con coloraciones de hierro	R4	516
			TPC2	Tpc	Segmento 2: Arcillolitas rojizas a moradas con presencia de minerales ferrosos	R4	516
Ter	Fm. Regadera	Fm. La Regadera	Ter	Ter	Formación La Regadera	R4	246
			Ter	Ter	Formación Regadera. Areniscas de granos medio friables, en capas gruesas, con intercalaciones de arcillolitas rojas	R4	344
			TerARE	Ter	Formación la Regadera- unidad arenosa	R4	492
			TerLOD	Ter	Formación Regadera, formación lodosa	R4	492

Símb	Nombre Unidad Regional		Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
			Estudio	Genérico			
				Ter	Formación arenisca la Regadera	R4	508
Ters		Conjunto Superior	TERS	Ter	Formación Regadera superior	R4	317
Teri		Conjunto Inferior	Teri	Ter	Formación La Regadera, Conjunto Inferior	R4	246
KTg	Fm. Guaduas	Fm. Guaduas	Ktg	KTg-Are	Formación Guaduas	R3	246
			Ar1	KTg-Arc	Arcillolitas meteorizadas color amarillo, con tonalidades grises, fragmentación manual en clastos menores de 3 cm (Formación Guaduas)	R4	322
			KTG2	KTg-Arc	Arcillolita intercalada con arenisca (Formación Guaduas)	R4	360
			Ktgmcl	KTg-Arc	Arcillolitas abigarradas altamente fracturadas y meteorizadas	R4	374
				KTg-Lod	Formación Guaduas, lodolita laminada	R4	444
KTg	Formación Guaduas	Fm. Guaduas	Ktgl	KTg-Lod	Formación Guaduas lodolitas	R4	491
			KTGI-C	KTg-Arc	Arcillolita blanca masiva	R4	406
			KTGI-CL	KTg-Arc	Arcillolita rojiza a gris clara intercalaciones de limonitas	R4	406
			Tkg1	KTg-Lim	Formación Guaduas, compuesta por limolitas de color café macizas y lodolitas grises laminadas, dispuestas en capas finas o medias	R4	510
			Tkqu-Aq	KTg-Are	Formación arenisca La Guía	R3	274
			S1	KTg-Are	Arenisca en capas lenticulares de 0.4 a 1.5 metros de espesor de grano fino, bien cementadas, con intercalaciones de arcillolitas grises fracturadas, con fragmentación en clastos de 6 a 10 cm	R3	322
			S2	KTg-Are	Nivel de areniscas cuarzosas de grano fino, en capas masivas de 3 a 5 m con algunos niveles menores de arcillolitas grises, (Formación La Guía)	R3	322
			KTGI-A	KTg-Are	Areniscas cuarzosas	R3	406
			KTGI-A1	KTg-Are	Arenisca cuarzosa de grano fino a medio	R3	406
			KTGI-A2	KTg-Are	Arenisca cuarzosa gris	R3	406
			KTGI-AC	KTg-Are	Inter estratificaciones de areniscas finas	R3	406
				KTg-Are	Formación Guaduas, cuarzoarenitas de grano medio a grueso	R3	444
			KTG1	KTg-Are	Arenisca (Formación Guaduas)	R3	360
			TkGu-BF	KTg-Are	Clastos de arenisca de la Formación Guaduas	R3	380
			KTA	KTg-Are	Unidad de arenisca: arenisca blanco-amarillenta, grano fino a grueso de aspecto masivo, con intercalaciones delgadas de arcillolita gris claro	R3	382
			Tkg2	KTg-Are	Formación Guaduas compuesta por capas gruesas de cuarzo-arenita de color blanco, macizas, intercaladas con lodolitas laminadas de color gris claro	R3	510
			Tkgu-bf	KTg-Are	Clastos de areniscas de la Formación Guaduas	R3	515
			TkGu	KTg-Are	Formación Guaduas, arcillolitas con algunos estratos de arenisca cuarzosa y cintas de carbón	R3	338-1
KTgs		Conjunto Superior	KTAS	KTg-Arc	Arcillolita superior: color amarillento con manchas blancas, muy erodable, se presenta en estratos discontinua	R4	382
			KSGAL	KTg-Are	Formación Arenisca de La Guía: Areniscas cuarzosas de grano fino, con estratificación delgada; intercaladas con estratos delgados y láminas de arcillolita caolinítica gris; su espesor es de 7 m. Debajo, estratos muy gruesos de arenisca cuarzosa frágil	R3	338-1
KTgm		Conjunto Medio	KtgmSs1	KTg-Are	Arenisca cuarzosa grano decreciente de base a tope, color amarillo, compacta, estratificación plano paralela a masiva, espesor promedio de 2.5 m	R3	319

Símb	Nombre Unidad Regional	Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
		Estudio	Genérico			
		KtgmSs2	KTg-Are	Arenisca cuarzosa de grano grueso, masiva, cemento silíceo, color amarillo, dureza alta, compacta, espesor promedio 300 metros	R3	319
		Ktgm-Aa	KTg-Are	Nivel de areniscas y arcillolitas	R3	342
		Ktgm-Af	KTg-Are	Nivel de areniscas fracturadas	R3	342
		Ktgm-Am	KTg-Are	Nivel de areniscas masivas	R3	342
		Tkgm	KTg-Are	Areniscas cuarzosas amarillas de grano medio a conglomerático, en matriz arcillosa, en capas de estratificación media a muy gruesa, presencia de laminación cruzada con niveles de arcillolitas grises.	R3	522
		KtgmCl1	KTg-Arc	Arcillolita de coloración variada (grises - amarillos, rosadas y negras) con delgadas intercalaciones de arenisca cuarzosa de grano fino. Estratificación laminar, y contenido de fósiles, algunos niveles caoliníticos	R4	319
		Tkgm1	KTg-Are	En la base capas gruesas de cuarzoarenita, de grano medio, color habano, separadas por capas delgadas de arcillolitas limosas de color gris claro. Hacia el tope limolita arcillosa de color gris, laminada y meteorizada y meteorizada	R3	399
		Tkgm2	KTg-Are	Capas gruesas a muy gruesas de cuarzo arenita de grano fino a medio, color habano, bien seleccionada, maciza y competente. Presenta algunos niveles de limolita arcillosa de color gris con laminación ondulada y planar paralela	R3	399
		Tkgm3	KTg-Are	Intercalaciones de capas gruesas de cuarzo arenita de grano fino, maciza, bien seleccionada y de color habano, con limolitas arcillosas de color gris dispuesta en capas medias	R3	399
		Ktgmss	KTg-Are	Arenisca cuarzosa de grano fino a muy fino	R3	374
		TKgm-C-Arcob	KTg-Are	Unidad arenisca	R3	471
		TKgm-C-Artec	KTg-Are	Unidad arenisca tectonizada	R3	471
		KtgmCl2	KTg-Arc	Arcillolitas abigarradas, grises - violáceas, plásticas, tacto graso, fracturada y meteorizada, se acuña por sectores	R4	319
		TKgmi	KTg-Arc	Fm Guaduas medio, Arcillolita inferior: Arcillolita no fisible de color gris que altera a colores pardos claros o amarillo quemado. Presenta lentes de arenisca de grano grueso de poca extensión lateral	R4	395
		TKgmm	KTg-Arc	Fm Guaduas medio, Arcillolita superior: Areniscas cuarzosas de grano medio a grueso. Estructuras sedimentarias abundantes: estratificación y laminación interna inclinada, paleocanales, superficies de erosión marcadas por niveles conglomeráticos, etc.	R4	395
		TKgms	KTg-Arc	Fm Guaduas medio, Arcillolita superior: Lodolitas grises y limolitas grises a cremas con delgadas intercalaciones de areniscas lodosas	R4	395
		KTgm	KTg-Are	Formación Guaduas, Conjunto Medio	R3	246
		Tkgm4	KTg-Lim	En la base limolita de color habano maciza, presenta fractura concoidea y módulos de limolita silícea. Hacia el tope arcillolita de color gris, maciza y meteorizada	R4	399
		Tkgm5	KTg-Lim	Limolitas silíceas de color gris claro, fracturadas, con algunos niveles de arcillolitas	R4	399
		TKgm-CArci	KTg-Arc	Unidad arcillolitas rosadas	R4	471
KTgi	Conjunto	KTgi	KTg-Arc	Formación Guaduas, Conjunto Inferior	R4	246

Símb	Nombre Unidad Regional		Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
			Estudio	Genérico			
		Inferior	KTAI	KTg-Arc	Unidad de arcillolita inferior: arcillolita gris, laminar, compactada con intercalaciones de areniscas, muy meteorizadas y friables	R4	382
Ksgl	Grupo Guadalupe	Fm. Arenisca de Labor y Tierna	Ksglt	Ksgl-Are	Formación Arenisca de Labor y Tierna	R3	246
Ksglt		Fm. Arenisca Tierna	Ksgt-rb	Ksgt-br	Roca tectonizada o brechada conformada por areniscas y limolitas altamente fracturadas, diaclasadas y trituradas	R4	515
			Ksgt-Lod 1	Ksgt-Lod	Intercalaciones lodosas onduladas	R4	468
			Ksgt-Lod 2	Ksgt-Lod	Unidad con predominio de lodolitas	R4	468
			Kgst (Lod 0)	Ksgt-Lod	Unidad de Lodolita basal	R4	511
			Kgst (Lod 1)	Ksgt-Lod	Unidad de Intercalaciones lodosas onduladas Intercalaciones de lodolitas grises poco fisibles	R4	511
			Kgst (Lod 2)	Ksgt-Lod	Unidad con predominio de lodolitas. Lodolitas grises poco fisibles	R4	511
			Ksgt	Ksgt-Are	Formación Arenisca Tierna	R3	246
			KSGT-BR	Ksgt-Are	Clastos angulares a subangulares embebidos en matriz arenosa. Corresponden a areniscas de grano medio y liditas, en menor proporción dispuestas irregularmente, poco cementados y el nivel de compactación es bastante bajo	R3	380
			KSGT-AR7	Ksgt-Are	Areniscas masivas muy fracturadas, compactas	R3	407
				Ksgt-Are	Cuarzoarenitas de grano grueso a medio	R3	444
			Kgst-Are 0	Ksgt-Are	Unidad de arenisca alterada	R3	468
			Kgst-Are 1	Ksgt-Are	Bancos de arenisca basal	R3	468
			Ksgt-Are 2	Ksgt-Are	Areniscas macizas en capa gruesa	R3	468
			Ksgt-Are 3	Ksgt-Are	Areniscas friables onduladas	R3	468
			Ksgt-Are 4	Ksgt-Are	Bancos de arenisca macizas superiores	R3	468
			Kgst (Are 0)	Ksgt-Are	Unidad de arenisca alterada	R3	511
			Kgst (Are 1)	Ksgt-Are	Unidad de bancos de Arenisca basal, cuarzoarenita maciza, dispuesta en bancos	R3	511
			Kgst (Are 2)	Ksgt-Are	Unidad de Areniscas macizas en capa gruesa. Cuarzoarenita de color amarillo, con delgadas intercalaciones de arcillolita	R3	511
			Kgst (Are 3)	Ksgt-Are	Unidad de Areniscas friables onduladas	R3	511
			Kgst (Are 4)	Ksgt-Are	Unidad de bancos de Areniscas macizas superiores. Cuarzoarenitas de grano medio a grueso	R3	511
			Ksgt-bf	Ksgt-Are	Clastos angulares a subangulares embebidos en matriz arenosa. Corresponden a areniscas de grano medio y liditas, en menor proporción dispuestas irregularmente, poco cementados y el nivel de compactación es bastante bajo	R3	515
Ksgl		Fm. Arenisca de Labor	Ksgl	Ksgl-Are	Formación Arenisca de Labor	R3	246
			KSGL-AC3	Ksgl-Arc	Fm. Arenisca de Labor: Arcillolitas grises en capas delgadas	R4	407

Símb	Nombre Unidad Regional		Simb_Un Orig		Descripción Unidad	Cód	Nº Estudio
			Estudio	Genérico			
			KSGL-AR2	Ksgl-Are	Areniscas en capas delgadas con intercalaciones ocasionales de limolitas silíceas	R3	407
			KSGL-AR3	Ksgl-Are	Areniscas masivas de grano medio a grueso	R3	407
			KSGL-AR5	Ksgl-Are	Areniscas de grano fino bien cementadas fracturadas en capas gruesas	R3	407
Ksgp		Fm. Plaeners	Ksgp	Ksgp-Are	Grupo Guadalupe, Formación Plaeners	R3	246
Ksgd		Fm. Arenisca Dura	Ksgd	Ksgd-Are	Formación Arenisca Dura	R2	246
Kschi		Fm. Chipaque	Kschi	Kschi	Formación Chipaque	R2	
Bre	Brecha de Falla	Brecha		Bre	Zona de mayor fracturamiento del macizo con desprendimiento de bloques	R4	322
			Ktgm-b		Formación Guaduas Medio (Zona de brecha)	R4	375
			BF		Rocas muy fracturadas y alteradas por el fallamiento	R4	407
			Ksg		Brecha	R4	468
			Ktg		Formación Guaduas arenisca brecha	R4	491
			ksg-bf		Brecha de falla	R4	492
					Brecha tectónica, harina de falla	R4	511

Nota: Unidades geológicas superficiales tomadas de los estudios detallados disponibles en SIRE y CDI de la DPAE

Tabla Nº A.4. Estudios geológicos, geotécnicos y de amenaza / riesgo para la localidad de Ciudad Bolívar

CÓD. CDI	AUTOR	TITULO
10	SOP - Pérez, Francisco - Ilam Ingeniería Y Laboratorio Ambiental	Estudios geológicos y geotécnicos en sectores críticos de inestabilidad en Bogotá D. C. barrios Villa Gloria, Nueva Colombia, El Triunfo y Compartir. Informe de diagnostico
32	SOP - Bateman Duran, Jaime D.	Estudio geológico y geotécnico barrio Jerusalén Bogotá D. C.
34	Geoamerica Ltda	Estudio geológico y geotécnico de los sectores inestables barrio Juan José Rondón
43	Ingeominas	Estudio geotécnico sector Brisas del Volador Fase II. Convenio interadministrativo 017 dic./93
108	Ingeominas	Evaluación preliminar de susceptibilidad y amenazas en las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe. Uribe, Usme, San Cristóbal
195	Luis Fernando Orozco Rojas & Cia	Informe geológico obras y medidas de estabilización y control ambiental proyecto urbanístico Buena Vista
196	Luis Fernando Orozco Rojas & Cia	Informe geológico de estabilidad obras y medidas del control geotécnico proyecto urbanístico Villa Rosa
226	Gómez, Cajiao y Asociados	Estudios geológicos y geotécnicos barrios Juan Pablo II, concepción, cordillera, y Juan José Rondón .informe de los trabajos y sus resultados
232	Nativa Ltda	Estudio de zonificación geotécnica del barrio San Rafael
234	Ingetec S.A.	Estudios y diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización de diferentes sitios en Ciudad Bolívar, santa fe de Bogotá.
246	Ingeocim Ltda.	Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá D. C.

CÓD. CDI	AUTOR	TITULO
274	Civiles Ltda. / Hidroconsulta Ltda.	Estudio geotécnico, evaluación alternativas de medidas de mitigación y diseños para las obras entre las quebradas Santo Domingo y Santa Rita, barrio El Espino
276	Ingeocim Ltda.	Zonificación de amenazas y riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras para estabilizar un tramo de la margen izquierda de la quebrada el zanjón de Limas, en los barrios Manitas y Nueva Colombia - localidad de Ciudad Bolívar.
282	Ingeniería y Geotecnia Ltda.	Estudio geotécnico, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar la cuenca de la quebrada la carbonera en la localidad de Ciudad Bolívar. Informe final
304	Consorcio Geogral Ltda. / Innova Ingeniería. Ltda.	Estudio de riesgos por remoción en masa y diseños detallados de las obras de mitigación para estabilizar el barrio El Tesorito
317	Indesa Ltda.	Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras para estabilizar antiguo escarpe de explotación barrio Sotavento II sector, localidad Ciudad Bolívar .informe final
319	Hidrogeologia Y Geotecnia Ambiental Ltda.	Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseño de obras de control y protección en el barrio Casa Loma
322	La Vialidad Ltda.	Estudio de riesgo por remoción en masa y diseño detallado de obras de control, protección y estabilización en el barrio Juan Pablo II sector. Localidad de Ciudad Bolívar. Informe final
325	Ingemetrica Ltda.	Estudio de zonificación de riesgos por remoción en masa y diseños detallados de medidas prevención y mitigación para el barrio Caracoli, localidad Ciudad Bolívar.
335	Investigaciones Geotécnicas Ltda.	Estudio de riesgo por remoción en masa y diseños detallados de las obras de control, protección y estabilización en el barrio Carrizal de san Joaquín
336	Cimoc. Universidad De Los Andes	Monitoreo y seguimiento de fenómenos de remoción en masa de los barrios san Antonio del mirador, santa helena y Santa Viviana de la ciudad de Bogotá D. C. informe inicial Nº 1
338	Geotecnia & Cimentaciones	Diseño e instalación de la instrumentación para el monitoreo y seguimiento de fenómenos de remoción en masa barrio el espino, localidad de Ciudad Bolívar. informe Nº 1
342	Geourbana Ltda.	Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa de las obras de control, protección y estabilización en el barrio domingo lain , localidad Ciudad Bolívar de la ciudad de Bogotá. Informe final
344	Geourbana Ltda / Luis Fernando Orozco Rojas & Cía.	Estudio de zonificación de riesgos por remoción en masa en el barrio divino niño localidad Ciudad Bolívar. Informe final - planos
346	Ingemetrica Ltda.	Diseño de la instrumentación para el monitoreo y seguimiento del deslizamiento en la cuenca de la quebrada la carbonera. Informe final
353	Consultores Civiles E Hidráulicos Ltda.	Realización de curvas de calibración de estaciones hidrométricas de las quebradas Limas, Infierno, Yomasa, Santa Librada, Chiguaza, San Cristóbal, Santo Domingo, Nutria y río Tunjuelito en Bogotá. Informe general de actividades Nº 1
354	Geotecnia & Cimentaciones	Monitoreo y seguimiento del deslizamiento que afecta a los barrios san Antonio del mirador, santa helena, santa Viviana, vista hermosa, santo domingo y la carbonera
360	Ingeominas	Estudio de evaluación de amenazas por deslizamiento de los barrios el

CÓD. CDI	AUTOR	TITULO
		espino y cerro del diamante, Ciudad Bolívar Bogotá
367	Geoingenieria Ltda.	Evaluación de riesgos para los barrios México y Villa Jacqui por inestabilidad en los taludes aledaños a las gravilleras e inundación para los barrios tunjuelito y Meissen por desbordamiento del río Tunjuelito debido al embalsamiento actual de las aguas v
370	Moya Y García Ltda.	Monitoreo y seguimiento al deslizamiento que afecta los barrio san Antonio del mirador, santa helena ,santa Viviana, santa Viviana sector vista hermosa, santo domingo y la carbonera de la localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá D. C.
374	Hidrogeologia Y Geotecnia Ambiental	Estudio de riesgo por remoción en masa y diseño detallado de las obras de control, protección y estabilización en el barrio Juan Pablo II sector el volcán de la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá
375	Ingemetrica Ltda.	Estudio de riesgo por remoción en masa y diseños detallados de las obras de control, protección y estabilización en el barrio Perdomo Alto
376	Ingemetrica Ltda.	Especificaciones técnicas de construcción de las obras de control, protección y estabilización en el barrio Perdomo Alto, de la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá D. C.
380	Unión Temporal Igr - Gia Consultores Ltda.	Zonificación de amenaza por remoción en masa en los barrios cordillera sur , tierra linda y los Alpes de la localidad de Ciudad Bolívar. Informe final
382	Geocing Ltda.	Estudio de riesgo por remoción en masa y diseño detallado de obras de control, protección y estabilización en los barrios Casagrande y mirador de la estancia en la localidad de Ciudad Bolívar
390	Ingeniería Y Georiesgos Ltda.	Monitoreo y seguimiento a los deslizamientos activos que afectan el sector altos de la estancia de la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá D. C. - informe Nº 1
391	Kuhn N. Victor H.	Diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios de riesgo inminente en Bogotá D. C., 1) San Martín de Porres, 2) el Triangulo Bajo, 3) Juan Pablo II sector la esperanza. 4) Buenavista II,
395	Unión Temporal Riesgos Urbanos	Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio San Isidro Sector Cerrito I, II, III y Carboneras de la localidad de Ciudad Bolívar
398	Unión Temporal Kanyu	Consultoría para la ejecución del estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseño detallados de las obras de protección y control en el barrio San Rafael, en la localidad de Ciudad Bolívar
399	Ut Suiza Ingeniería Integral	Estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio Bonanza Sur, de la localidad Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá D. C.
403	Emiss Ltda.	Obras de mitigación de riesgos en el sector localizado entre las calles 66c sur y 66b sur y las cra. 18r y 18t bis, barrio Juan Pablo II, sector el volcan, loc. Ciudad Bolívar
406	JAM Ingeniería Y Medio Ambiente	Estudio de zonificación de amenaza por remoción en masa en el barrio villas del diamante de la localidad de Ciudad Bolívar
407	Geocing Ltda.	Estudio de zonificación de amenaza por remoción en masa para los asentamientos Brisas del Volador Parte Alta y Tabor- Altaloma, de la localidad Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá

CÓD. CDI	AUTOR	TITULO
427	Jam Ingeniería Y Medio Ambiente	Elaboración de diseños detallados de obras presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa de los barrios San Francisco, Marandú y Villas del Diamante en la cuenca de la quebrada de Limas
433	Moya Y García Ltda.	Elaboración de diseños detallados de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en los barrio Juan José Rondón y el triunfo en la cuenca de la quebrada de Limas, de la localidad de Ciudad Bolívar
434	Consorcio Constructores (Carlos H. Cantillo, G.I.A. Consultores Ltda. & Iván Vega)	Elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de Usaquén, chapinero, santa fe, san Cristóbal, Usme, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe y suba de Bogotá D. C. resumen ejecutivo
441	Moya Y García Ltda.	Elaboración del estudio de riesgo por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras de estabilización, protección y control recomendadas para el escarpe adyacente al CED Plan Canteras, de la localidad de Ciudad Bolívar
452	Georiesgos	Estudio de riesgo y medidas de mitigación en el sector Altos de la Estancia de la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad Bogotá D. C. volumen i: informes ejecutivo y final. Versión 2
464	Jam Ingeniería Y Medio Ambiente	Diseños detallados de obras en sitios críticos de riesgo inminente por fenómenos de remoción en masa en los barrios san francisco, Marandú y villas del diamante en la cuenca de la quebrada limas.
468	Edgar Eduardo Rodríguez Granados, Ingeniería Y Georiesgos	Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar los escarpes y laderas ubicados en el barrio brisas del volador y el extremo noroccidental del barrio la esmeralda
471	Georiesgos	Estudios de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar el escarpe del barrio villas de Bolívar de la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D. C.
474	Geotecnia & Cimentaciones S.A.	Monitoreo y seguimiento a los deslizamientos activos que afectan el sector altos de la estancia, de la localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá D. C. – informe de avance 1
475	Edgar Rodríguez -Ingeniería Y Georiesgos	Monitoreo y seguimiento a las viviendas del barrio Villa Jaqui de la localidad de ciudad bolívar, en la ciudad de Bogotá D. C. – informe de condiciones del proyecto
482	Moya Y García Ltda.	Obras de mitigación en el barrio Santa Viviana Sector Vista Hermosa
491	Ingeniería Y Georriesgos Ltda. - Edgar Eduardo Rodríguez	Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas recomendadas en el Sector la Isla, del barrio Juan Pablo II, ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá
492	Ingeniería Y Georriesgos Ltda. - Edgar Eduardo Rodríguez Granados	Estudio de riesgos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y los diseños detallados en las medidas propuestas en la alternativa más conveniente, para su implementación en el corto plazo, en un sector del barrio Gibraltar, de la localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá, dc.
493	Consorcio Geocontrol	Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, la evaluación de alternativas de mitigación y los diseños detallados de las medidas

CÓD. CDI	AUTOR	TITULO
		recomendadas en el sector del barrio Villa Gloria, ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá D. C.
494	Consorcio Geocontrol	Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas recomendadas en el barrio Bella Flor, ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar, en Bogotá D. C.
496	Georiesgos	Elaboración de diseños detallados de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios afectados por emergencias debido a la reciente temporada de lluvias, con prioridad en las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y Rafael Uribe Uribe
496	Georiesgos	Elaboración de diseños detallados de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios afectados por emergencias debido a la reciente temporada de lluvias, con prioridad en las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y Rafael Uribe Uribe
508	Consorcio Ingeniería Y Georriesgos	Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de suba, usaquén, Ciudad Bolívar y Usme de la ciudad de Bogotá D. C. sitio Nº 2 Compartir III Etapa
509	Consorcio Ingeniería Y Georriesgos	Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de suba, usaquén, Ciudad Bolívar y Usme de la ciudad de Bogotá D. C. sitio Nº 3 Bogotá Sur
510	Consorcio Ingeniería Y Georriesgos	Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de suba, usaquén, Ciudad Bolívar y Usme de la ciudad de Bogotá D. C. sitio Nº 4 Juan José Rondón
511	Consorcio Ingeniería Y Georriesgos	Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de suba, usaquén, Ciudad Bolívar y Usme de la ciudad de Bogotá D. C. Sitio Nº 5 brisas del volador
512	Consorcio Ingeniería Y Georriesgos	Elaboración de diseños de obras nuevas y diseños para el mantenimiento de obras existentes, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en las localidades de suba, usaquén, Ciudad Bolívar y Usme de la ciudad de Bogotá D. C. resumen ejecutivo
515	Geodinámica Ingeniería Ltda.	Estudio de elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en la ciudad de Bogotá D. C. sitio crítico Nº 2 Los Alpes - Tierra Linda
516	Geodinámica Ingeniería Ltda.	Estudio de elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción en masa en la ciudad de Bogotá D. C. sitio crítico Nº 3 San Joaquín del vaticano
522	Geodinámica Ingeniería Ltda.	Estudio de elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios críticos de riesgo inminente por remoción

CÓD. CDI	AUTOR	TITULO
		en masa en la ciudad de Bogotá D. C. sitio crítico Nº 9 Pinos del Sur
554	Liliana Sierra, Rubiela Segura, y Janneth Segura	Recopilación de la información análoga y digital y definición de zonas a estudiar dentro de la fase I para la actualización de los planos normativos Nº 3, Nº 5 y Nº6 del plan de ordenamiento territorial
555	Coordinación Aluvial	Informe sobre puntos críticos por problemas en cauces identificados en las principales cuencas de Bogotá
562	Ingenieria Y Georiesgos Ltda.	Diseños detallados, presupuestos y especificaciones técnicas, de las obras de mantenimiento para proteger la parte superior del talud de las obras de mitigación de riesgo construidas por el FOPAE, en el CED Jerusalén plan canteras, de la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D. C.
565	Liliana Sierra, Rubiela Segura, y Janneth Segura	Validación y georeferenciación de los informes técnicos generados por la dirección de prevención y atención de emergencias relacionados con remoción en masa e inundación dentro de la fase i para la actualización de los planos normativos no 3, 4 5 y 6 del plan de ordenamiento territorial del distrito capital - parte 2
572	Consorcio Altos de la Estancia	Diseños detallados, presupuestos y especificaciones técnicas para la construcción de las obras de mitigación de riesgos requeridas en el sector altos de la estancia de la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá
574	Geocing Ltda.	Elaboración de diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en tres (3) sitios para la intercepción por riesgos asociados a fenómenos de remoción en masa en las localidades de Rafael Uribe y Ciudad Bolívar
575	Agencia De Cooperación Internacional de Japón	Estudio sobre sistema de monitoreo y alerta temprana para deslizamientos e inundaciones en áreas seleccionadas en el distrito capital de Bogotá y el municipio de soacha en la república de Colombia . Informe final
583	Ingeniería y Georiesgos Ltda.	Realizar el rediseño de las obras de mitigación de riesgo y prestar la asesoría durante construcción de las obras de mitigación en el barrio brisas del volador (zona 2-fase 2) ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D. C.

ANEXO B

TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

ANEXO C

MAPAS

Mapa 1. Cartografía base 1.
Mapa 2. Calificación de Estabilidad Variable Material
Mapa 2.1. Variable Geología
Mapa 3. Calificación de Estabilidad Variable Erosión
Mapa 4. Calificación de Estabilidad Variable Relieve
Mapa 5. Calificación de Estabilidad Variable Densidad de Drenaje
Mapa 6. Calificación de Estabilidad Variable Uso del suelo y cobertura vegetal
Mapa 7. Calificación de Estabilidad Variable Clima
Mapa 8. Calificación de Estabilidad Variable Factor Antrópico
Mapa 8.1. Calificación de Estabilidad Variable Escenario Urbano - Factor Antrópico
Mapa 8.2. Calificación de Estabilidad Variable Escenario Minería - Factor Antrópico
Mapa 8.3. Calificación de Estabilidad Variable Urbanizable No Urbanizado - Factor Antrópico
Mapa 8.4. Calificación de Estabilidad Variable Factor Antrópico - Escenario Agroforestal
Mapa 9. Calificación de Estabilidad Variable Sismicidad
Mapa 10. Modelo SES Adaptado -MERDUCAS
Mapa 11. Procesos Morfodinámicos
Mapa 12. Estudios Técnicos
Mapa 13. Conceptos técnicos de legalización
Mapa 14. Conceptos técnicos de planes parciales
Mapa 15. Diagnósticos Técnicos
Mapa 16. Suelos de Protección
Mapa 17. Amenaza Remoción en Masa Final.
Mapa 17.1. Amenaza Remoción en Masa Localidades Ciudad Bolívar y Usme
Mapa 17.2. Amenaza Remoción en Masa Localidades Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santa Fe y Chapinero
Mapa 17.3. Amenaza Remoción en Masa Localidades Usaquén y Suba
Mapa 18. Amenaza Remoción en Masa 2000.