2 = Copia

000001

Alcaldía Mayor
de Santa Fe de Bogotá, D.C.

INGEOCIM Ltda.
Ingenieros Consultores

UPES ***FOPAE***

Unidad de Prevención y Atención de Emergencias
Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias

ZONIFICACIÓN POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES EN LA CIUDAD DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C.

EVALUACION DE AMENAZA

SANTAFÉ DE BOGOTÁ, D.C., OCTUBRE DE 1.998

000002

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION 1
1. INTRODUCCION 3
2. OBJETIVOS 3
2.1 GENERALES 3
2.2 ESPECÍFICOS 3
3. MARCO GENERAL 3
4. PROCEDIMIENTO 8
4.1 IDENTIFICACION 8
4.1.1 Recopilación y Análisis de Información Disponible 8
4.1.2 Identificación Preliminar General del Riesgo Actual 10
4.1.3 Identificación de Medidas Urgentes Preventivas y Correctivas 10
4.2 IMPLEMENTACION DEL MODELO DE EVALUACION 10
4.2.1 Delimitación área de Estudio 10
4.2.2 Cartografía 10
4.2.3 Diseño de la Aplicación del Modelo De Evaluación 12
4.3 EVALUACION DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS 13
4.3.1 Geología 13
4.3.2 Geomorfología 16
4.3.3 Cobertura y Uso Actual del Suelo 16
4.3.4 Caracterización Geotécnica de los Materiales 17
4.3.5 Zonificación de Susceptibilidad 19
4.4 EVALUACION DE AGENTES DETONANTES 19
4.4.1 Climatología e Hidrología 20
4.4.2 Sismología 20
4.4.3 Erosión Natural 21
4.5 EVALUACION DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS 23
4.5.1 Amenaza por Movimientos en Masa 23
4.5.2 Zonas de Influencia de la Amenaza Actual 23
5. CARTOGRAFIA TEMATICA 23
5.1 CARTOGRAFÍA BASE 23
5.1.1 Límite de Estudio 23
5.1.2. Mapa Base 24
5.2 CARTOGRAFÍA TEMÁTICA 24
5.2.1 Materiales (M). 24
5.2.2 Relieve (R). 29
5.2.3 Drenaje (D) 31
5.2.4 Vegetación (V). 32
5.2.5 Clima (C) 33
5.2.6 Sismo (S) 34
5.2.7 Erosión 35
5.2.8 Factor Antrópico 36
6. EVALUACION DE ESTABILIDAD 44

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1. Secuencia de eventos en la ocurrencia de flujos en masa.
Figura No. 2. Evaluación de amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa.
Figura No. 3. Diagrama de flujo en proceso de cartografía de riesgo por fenómenos de remoción en masa.
Figura No. 4. Efecto antrópico en la producción de fenómenos de remoción en masa.
Figura No. 5. Distribución Cartográfica del área de estudio
Figura No. 6. Perfil hipotético de una ladera
Figura No. 7. Distribución de frecuencias densidad de drenaje
Figura No. 8. Zonificación por Lluvia crítica
Figura No. 9. Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1. Sistema Semi-Cuantitativo De Evaluación De Estabilidad A Escala Intermedia.
Tabla No. 2. Planchas Topográficas Digitalizadas.
Tabla No. 3. Listado General De Las Fotografías Aéreas.
Tabla No. 4. Investigación Del Subsuelo
Tabla No. 5. Distribución Cartográfica Area De Estudio
Tabla No. 6. Clasificacion De Los Suelos Y Puntajes Para La Evaluacion Semicuantitativa
Tabla No. 7. Unidades De Suelos Y Clasificación Para El Modelo Semicuantitativo
Tabla No. 8. Clasificacion De Los Suelos Y Puntajes Para La Evaluacion Semicuantitativa
Tabla No. 9. Unidades De Materiales Intermedios Y Clasificación Para El Modelo Semicuantitativo
Tabla No. 10. Clasificacion De Las Rocas Segun La Resistencia A La Comprension
Tabla No. 11. Valores De Resistencia A La Comprension Simple En Las Unidades Rocosas
Tabla No. 12. Franja De Influencia Utilizadas Segun El Tipo De Estructuras
Tabla No. 13. Rangos De Densidad De Fracturamiento
Tabla No. 14. Clasificacion De Las Rocas Y El Puntaje Para La Evalucion Semicuantitativa
Tabla No. 15. Puntajes De Estabilidad Parámetro De Vegetación (Ses)
Tabla No. 16. Valoracion Parametro Clima
Tabla No. 17. Asignación Puntaje De Estabilidad Al Mapa Erial.
Tabla No. 18. Simbologia Para Explotaciones Mineras
Tabla No. 19. Matriz De Decision # 1
Tabla No. 20. Matriz De Decision # 2
Tabla No. 21. Cualificacion De Las Areas De Suministro De Agua Potable
Tabla No. 22. Cualificacion De Las Areas De Recoleccion De Aguas Sanitarias
Tabla No. 23. Cualificacion Del Estado De Las Vias
Tabla No. 24. Cualificacion De Las Areas De Intervencion De Rondas
Tabla No. 25. Cualificacion Del Estado De Las Vias
Tabla No. 26. Cualificacion De Las Areas De Intervencion De Rondas

EVALUACION DE LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

INTRODUCCION

Toda medida de prevención y/o mitigación cuyo propósito sea eliminar o reducir un riesgo, es decir, la atenuación de daños potenciales sobre la vida y los bienes, es un proceso complejo que está estrechamente ligado con los programas a largo plazo establecidos para el desarrollo económico y social de una región y en el caso especifico el de la Ciudad de Santafé de Bogotá, razón por la cual estas medidas tienden a ser incorporadas de manera más eficiente dentro de los planes sectoriales, de ordenamiento del uso del territorio y de desarrollo socioeconómico.

Por lo tanto, para definir medidas de prevención y mitigación de un riesgo es necesario llevar a cabo estudios geográficos, topográficos, geológicos, geotécnicos, ecológicos, demográficos, etc., que permitan concluir cuales son las zonas más adecuadas para la localización de asentamientos humanos, infraestructura y actividades productivas.

Sin embargo, debido al proceso desordenado y a veces caótico del crecimiento a que ha estado sometida la Ciudad de Santafé de Bogotá, muchas veces dichos asentamientos humanos e infraestructura se encuentran expuestos a fenómenos que pueden causar daños. Por esta razón, es necesario evaluar a que tipo de amenaza se encuentran sometidos y cual es el grado de vulnerabilidad que tienen los elementos que los componen. Este proceso denominado evaluación de riesgo, es fundamental para poder definir las políticas y medidas de prevención o mitigación, las cuales tienen por objeto intervenir la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

De acuerdo con la afirmación anterior y enmarcada dentro de la problemática actual, la ciudad debe elaborar mapas de zonificación en términos de amenaza y riesgo por fenómenos de movimientos en masa (FRM), los cuales proporcionan una valiosa ayuda para fortalecer y mejorar las medidas tendientes a elevar la calidad de la vida de la comunidad, y los cuales facilitarán la definición de estrategias para la racionalización del uso del territorio y para la conformación de un nuevo orden del mismo (programa de legalización de barrios), la cual no puede ser dejada al teóricamente libre juego de las fuerzas sociales, económicas y políticas, máxime cuando éstas ejercen presión sobre las comunidades mas débiles desplazándolas a sitios no aptos para vivir.

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 los requerimientos necesarios de investigación para el diseño y construcción de cualquier obra de ingeniería y permiten la formulación de los planes de mitigación o reducción de los problemas de amenaza para una región.

La ocurrencia de procesos de remoción en masa se relaciona con una gran variedad de factores que involucran aspectos del medio físico y de interacción con el hombre. Su evaluación en términos de amenaza requiere el conocimiento de estos factores, desde estructuras geológicas hasta usos del suelo. Por esta razón este tipo de estudios involucra temas interdisciplinarios.

Para los estudios a nivel de detalle la evaluación de estabilidad ha experimentado notables avances que permiten aproximaciones con buena precisión, cuando se cuenta con la geometría de la ladera y la caracterización geomecánica del subsuelo. Mayores dificultades se encuentran en los estudios de áreas extensas por cuanto el conocimiento de los procesos de movimiento en masa es incompleto, 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 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.

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. El empleo de los computadores y de los S.I.G. durante las dos últimas décadas ha ofrecido un número de opciones para realizar las evaluaciones de amenaza de forma más rápida y detallada.

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. En el caso específico del estudio se determinó como técnicas de mapeo de la amenaza, el Sistema de Evaluación Semicuantitativo de Estabilidad (SES - Ramírez y González, 1989) y la Metodología de Taludes Naturales, MTN (Shuk, 1970, 1990 y 1997), y como parámetro de calibración del mapeo el inventario de fenómenos de remoción en masa.

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.

Durante la última década el desarrollo de los sistemas de información geográfica S.I.G han facilitado la aplicabilidad de múltiples técnicas para la evaluación de la amenaza por deslizamientos y mejorar la precisión de los modelos, gracias a la evaluación de los resultados y el consecuente reajuste de las variables de ingreso.

En el presente estudio, la evaluación semicuantitativa y la MTN fueron implementadas para ser aplicadas mediante el uso del SIG. Se utilizó como Software el ARCAD que a su vez utiliza como plataforma de trabajo el AUTOCAD, siguiendo los lineamientos establecidos por Millán y Lozano (1995) para el Estudio de Ciudad Bolívar (INGEOMINAS, 1995).

Para efectos de un mejor entendimiento del contenido del presente informe, este se divide en tres partes, los cuales en forma detallada presenta los resultados obtenidos por cada modelo de evaluación utilizada.

Así las parte I del prsente informe contiene los procedimientos detallados para la aplicación de la Evaluación Semicuantitativa de Estabilidad (SES), la parte II el informe detallado para la evaluación de estabilidad mediante la Metodología de Taludes Naturales (MTN), y la parte III la memoria técnica del Mapa Final de Amenaza.

PARTE I

SISTEMA DE EVALUACION SEMICUANTITATIVA DE ESTABILIDAD (SES)

1. INTRODUCCION

El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad comprende fundamentalmente la evaluación de ocho parámentros, donde cada uno es el resultado de diversos factores asociados según su naturaleza. Para cada factor se fijan intervalos de variabilidad acorde con su influencia (en mayor o menor grado) en la estabilidad de las laderas. La combinación de los diferentes factores otorgan condiciones particulares de estabilidad (favorables o desfavorables), los caules se pretenden evaluar asignándoles una "calificación de estabilidad". De esta forma a cada parámetro le corresponderá un determinado "valor" de estabilidad resultante de la suma ponderada de "valores" de estabilidad de cada parámetro (Ramírez, 1988).

2. OBJETIVOS

La evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa dentro del estudio de riesgo de las laderas orientales y sur orientales de Santafé de Bogotá, buscó:

2.1 GENERALES

- Obtener un mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa definiendo áreas de amenaza muy alta, alta, media, baja y muy baja.
- Estudiar las variables o factores del medio físico que tienen relación con la ocurrencia de movimientos en masa.
- Establecer la relación entre el factor antrópico y la ocurrencia de movimientos en masa en las laderas orientales y sur orientales.

2.2 ESPECÍFICOS

- Definir e implementar una técnica de evaluación de la amenaza.
- Cartografiar los factores o variables que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa en la zona de estudio, teniendo en cuenta la técnica de evaluación seleccionada y el propósito del estudio.
- Implementar la evaluación de la amenaza por movimientos en masa mediante la aplicación de los sistemas de información geográficos.
- Contrastar las áreas con diferente tipo de amenaza con el inventario de procesos.

3. MARCO GENERAL

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 (Figura 1). Las diversas magnitudes de estas causas provocan el fenómeno con niveles variables

de amenaza, dependientes de la susceptibilidad al fenómeno de los materiales in-situ y de la energía potencial gravitatoria de las masas susceptibles con relación al lugar de interés.

Por su parte, las avalanchas pueden mirarse como eventos de tercer o cuarto orden, pues usualmente se presentan como consecuencia de deslizamientos o de rotura de represamientos de corrientes creados también normalmente por obstrucciones de movimientos en masa (Schuster, 1986).

Entonces **la amenaza por deslizamientos (HD)**, expresada como probabilidad de potencial destructivo, podria definirse en forma muy simplificada como **el producto de la susceptibilidad de la masa (ZM), la magnitud del evento detonante (MT) y la energia potencial de la masa involucrada (PM):**

$$HD = ZM * MT * PM$$

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

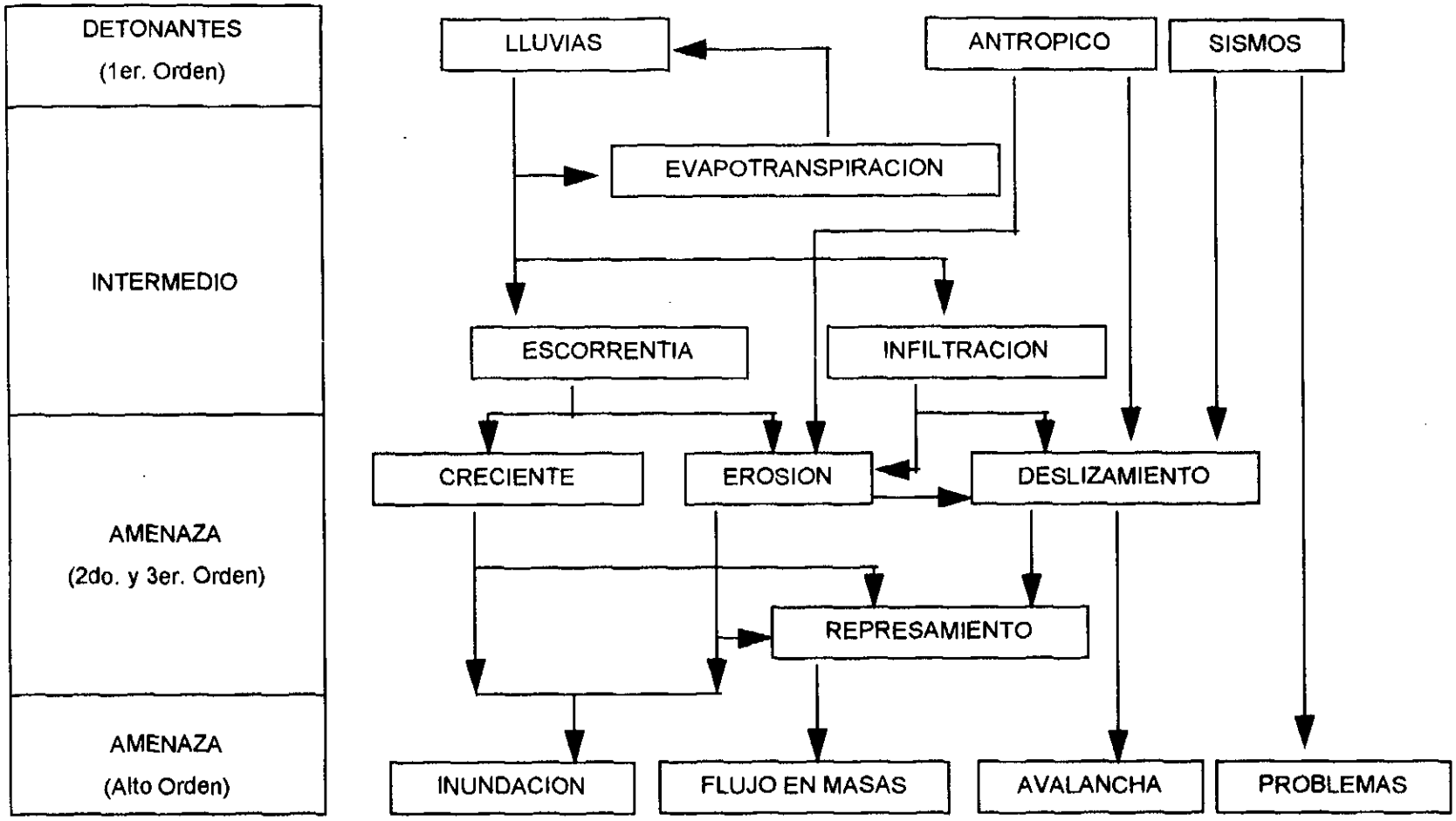
Por su parte la energía potencial está controlada tanto por el índice de fragilidad (p.ej. Bishop, 1966,1973), la deformabilidad, la resistencia residual (p.ej.Skempton, 1964,1985) y el volumen de la masa (las que son propiedades internas), como por la altura de posición y la posible trayectoria desde 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 no conlleva tampoco necesariamente un máximo grado de amenaza.

Para tener en cuenta todos los factores es necesario plantear y calibrar modelos aceptables, los cuales, como ya se dijo, aún están avanzando a nivel mundial (Cruden y Fell, 1997), aun cuando el análisis probabilistico de taludes se estableció en forma adecuada hace más de 25 años con los trabajos pioneros del ingeniero colombiano Tomás Shuk (1968, 1970)"

De acuerdo con los propósitos de estudio, la disponibilidad de información básica y temática y especialmente la de recursos financieros y de tiempo, se establecieron los alcances del proyecto y se definieron como modelos de evaluación de la amenaza la Evaluación Semicuantitativa de Estabilidad **ESE**, propuesta por Ramírez y González, 1989, (cruce cualitativo de mapas) la cual expresa la amenaza en términos de posibilidad semicuantitativa de ocurrencia de movimientos en masa; y la Metodología de Taludes Naturales, **MTN** de Shuk, con la cual se podrán obtener probabilidades de falla de las laderas naturales, a corto, mediano y largo plazo y además parámetros geomecánicos deducidos.



Tomado y modificado de Shuk y González, 1994

FIGURA No 1 - SECUENCIA DE EVENTOS EN LA OCURRENCIA DE FLUJOS EN MASA

000003

El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad comprende fundamentalmente la evaluación de ocho parámetros, donde cada uno de ellos es el resultado de diversos factores asociados según su naturaleza. Para cada factor se fijan intervalos de variabilidad de acuerdo con su influencia (en mayor o menor grado) en la estabilidad de las laderas. La combinación de los diferentes factores otorga condiciones particulares de estabilidad (favorables o desfavorables), los cuales se evalúan asignándoles una "calificación de estabilidad". De esta forma a cada parámetro le corresponde un determinado índice de estabilidad resultante de la suma ponderada de índices de cada factor asociado a éste. La calificación final de estabilidad es la suma ponderada se los índices de estabilidad de cada parámetro (Ramírez, 1988). Ver la Figura No. 2.

La utilización de los sistemas de información geográfica (SIG) como soporte en los estudios de evaluación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, requiere la determinación de un procedimiento específico, que difiere de los procedimientos establecidos en los análisis convencionales, y en el cual las diversas fases presentan un orden lógico y secuencial y son interdependientes entre sí.

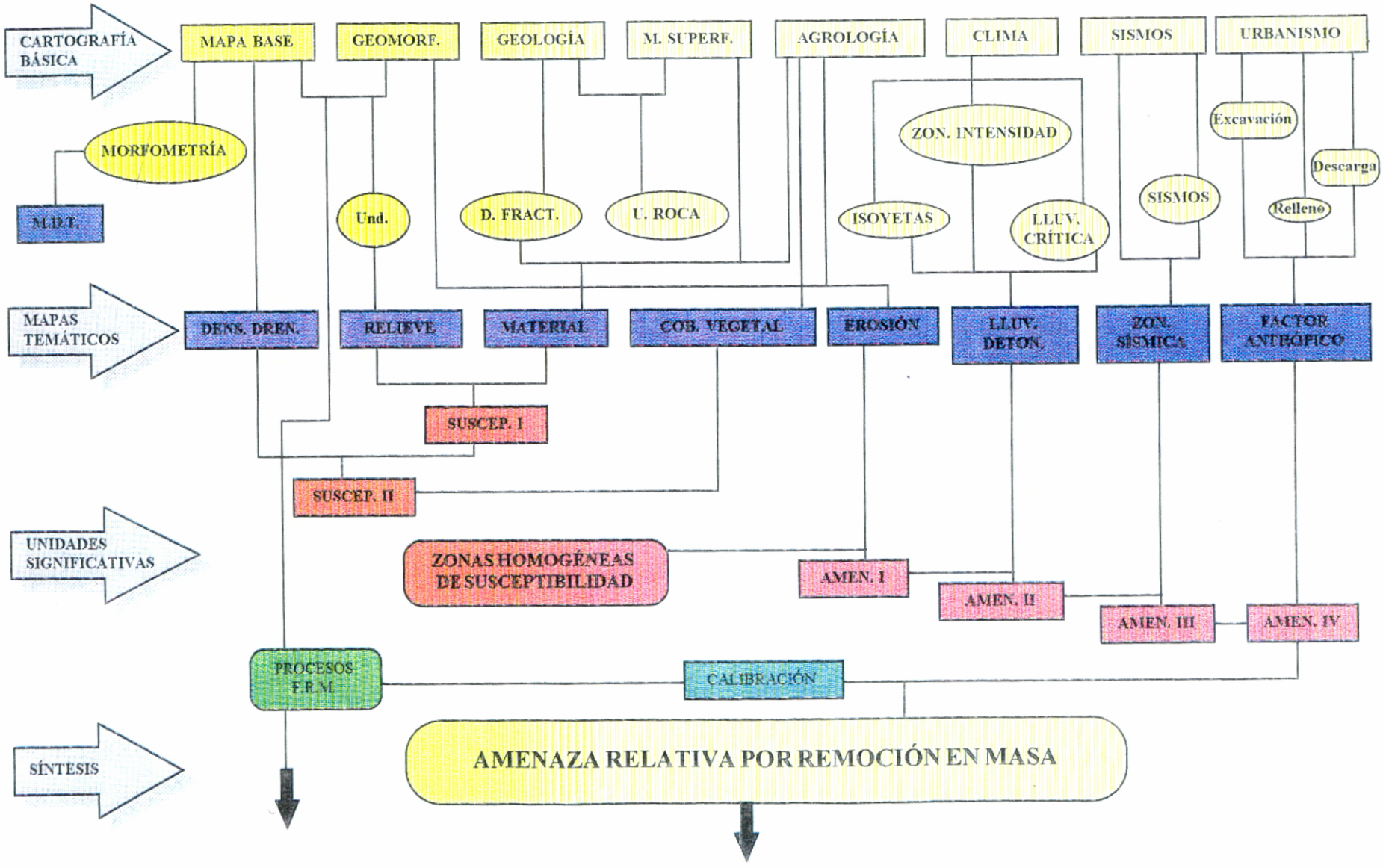
Las siguientes fases pueden distinguirse en el proceso del análisis de amenaza por deslizamiento usando SIG: (Van Westen, 1993).

1. Selección de la escala de trabajo y de los métodos de análisis que serán aplicados
2. Recolección de mapas existentes y de reportes con datos relevantes.
3. Interpretación de imágenes y creación de nuevos mapas temáticos.
4. Diseño de la base de datos y definición de la forma en que los datos pueden ser recolectados y almacenados.
5. Trabajo de campo para verificar la fotointerpretación y recolectar importantes datos cuantitativos.
6. Análisis de laboratorio de muestras de suelo y roca para clasificación.
7. Digitalización de mapas y sus atributos.
8. Validación de datos ingresados.
9. Manipulación y transformación de los datos primarios en una forma en que puedan ser utilizados en el análisis.
10. Análisis de datos para la preparación de mapas de amenaza.
11. Evaluación de la confiabilidad de los mapas producto e inventario de los errores que pudieron ocurrir en etapas previas.
12. Producción final del mapa de amenaza y reporte adjunto.

ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

EVALUACIÓN DE AMENAZA RELATIVA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA
MÉTODO SEMICUANTITATIVO

FIGURA No 2 - DIAGRAMA - PROCESO



000010

Alcaldía Mayor
de Santa Fe de Bogotá, D.C.

INGEOCIM Ltda.
Ingenieros Consultores

UPES *FOPAE*

Unidad de Prevención y Atención de Emergencias
Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias

EVALUACION DE AMENAZA

PARTE I

4. PROCEDIMIENTO

El procedimiento adoptado en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, aplicando como técnica de mapeo el sistema semicuantitativo de estabilidad, SES, (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.

La Figura No. 3 muestra esquemáticamente el proceso cartográfico para la evaluación de la amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa. Este se desarrolla en formato digital (archivos DWG), y sobre la plataforma del sistema de información geográfico (ARCAD).

El desarrollo del estudio de la amenaza y riesgo se basó en la propuesta metodológica de González (1990), pero por las usuales restricciones de tiempo y presupuesto no fue posible desarrollar todos los aspectos de la evaluación de riesgo y amenaza con la máxima profundidad, por lo que se hizo énfasis en aquellos que se consideraron necesarios para la evaluación de la amenaza por el sistema semicuantitativo.

Las etapas seguidas se pueden resumir en:

- Identificación.
- Implementación modelo de evaluación.
- Evaluación de susceptibilidad.
- Evaluación de agentes detonantes
- Evaluación de amenaza por movimientos en masa.

4.1 IDENTIFICACION

4.1.1 Recopilación y Análisis de Información Disponible

Se ha recopilado información en todos los aspectos, la cual es abundante y cuyo detalle se describirá brevemente en cada uno de los apartes que se tratarán adelante.

Para cada etapa o actividad intermedia se acopió, manejó y evaluó gran cantidad de información de tipo cartográfico y realizada con diferentes grados de detalle o a diferentes escalas. La recopilación de información necesaria para el desarrollo del proyecto se enfocó a la obtención de:

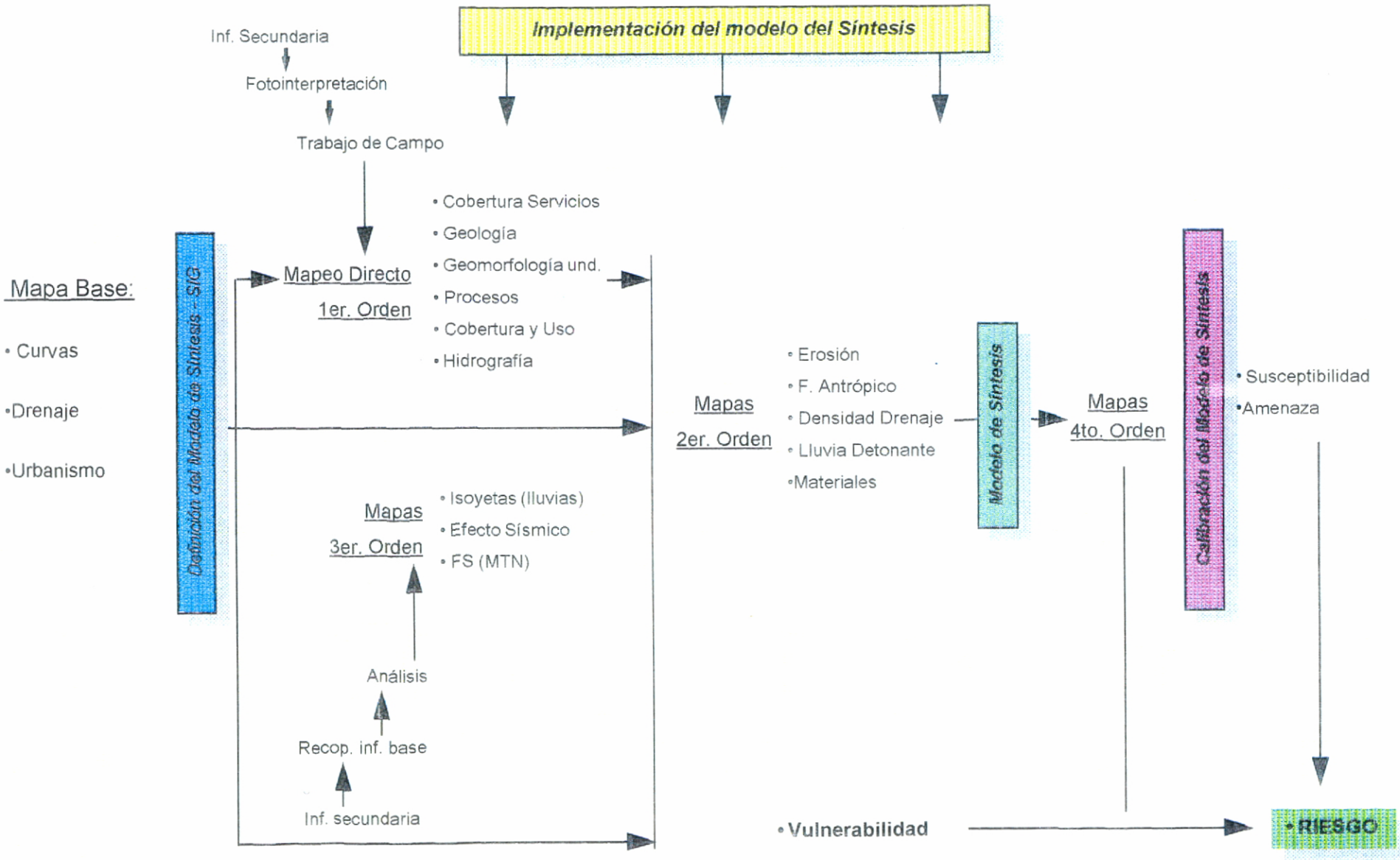
- Información técnica: estudios geotécnicos realizados por institutos gubernamentales y/o entidades de consultoría privada, e información relacionada con aspectos ambientales, sociales, hidrológicos, climáticos, sísmicos, informes técnicos existentes del área de estudio y datos poblacionales entre otros (referencias bibliográficas).

- Información cartográfica: A nivel cartográfico se contó con planchas topográficas, geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, de usos del suelo, infraestructura de servicios públicos y de procesos denudacionales con escalas entre 1:5.000 a 1: 50.000.

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, y obedeció a la características mismas de la zona de estudio, donde la acción del hombre actúa de forma acelerada modificando las condiciones del paisaje, y a falta de información básica actualizada en algunos aspectos.

ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

FIGURA No 3 - DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CARTOGRAFÍA DE RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA



000013

4.1.2 Identificación Preliminar General del Riesgo Actual

Esta labor la ha ido adelantando la UPES mediante la realización de conceptos y diagnósticos emitidos por el Grupo de Riesgos. Los cuales fueron consultados y ploteados sobre la cartografía urbana existente, sirviendo de base para la programación de campo y la realización del inventario de procesos de movimientos en masa. Igualmente el registro histórico de movimientos en masa complementó esta actividad.

El proceso de reconocimiento se inició una vez concluida la etapa de estudio y evaluación de la información disponible, y con esta base se realizaron recorridos en la totalidad del área, haciendo énfasis en aquellos sitios con evidencias de inestabilidad. El reconocimiento se facilitó gracias al conocimiento que de la zona tenían los profesionales que adelantaron el estudio.

4.1.3 Identificación de Medidas Urgentes Preventivas y Correctivas

Ya la UPES ha ido determinando los sitios que requieren reubicación y ha contratado estudios detallados para obras de mitigación y corrección de ubicaciones específicas. Los resultados de estos estudios, hasta donde fue posible, se incorporaron al estudio general de amenaza y riesgo.

Por la dinámica que imprime la acción antrópica a los procesos de movimientos en masa en el área de estudio, este proceso de identificación de medidas se realiza en toda las fases del estudio, especialmente durante los trabajos de campo.

4.2 IMPLEMENTACION DEL MODELO DE EVALUACION

4.2.1 Delimitación área de Estudio

La delimitación del área de Estudio partió de la división política de las localidades y se complementó tomando como criterios la pendiente mínima del terreno (5%), el límite de cuenca y/o vertiente y la presencia de asentamientos humanos.

El proceso de delimitación del área de Estudio se realizó en consenso con la Interventoría y la UPES, enmarcando la decisión dentro del propósito del Estudio. La UPES definió los límites en los extremos sur y norte del área de estudio, en las localidades de Ciudad Bolívar y Usaquén.

4.2.2 Cartografía

- Cartografía Base.

Se dispuso del plano base del Departamento de Catastro, escala 1:5.000, el cual fue necesario complementar con digitalización de planos a escalas 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000 y aún 1:25.000 del IGAC, para adicionar cerca de 120 Km2. Adicionalmente la cartografía base fue necesario complementarla con información adicional, en especial en lo referente a drenajes, vías y barrios por legalizar, de éstos últimos las planchas fueron suministradas por el Departamento Administrativo de Planeación Distrital, a escalas 1:1000 y 1:500.

La Tabla No 2 muestra las planchas digitalizadas según la fuente utilizada. El empalme de la Cartografía del plano digital de Catastro, con relación a la nueva digitalización requirió de un trabajo adicional para compatibilizar y homogeneizar la misma.

INGEOCIM Ltda.
Ingenieros Consultores

ALCALDIA MAYOR DE SANTAFE DE BOGOTA D.C. - UPES

CONTRATO No 1314-107-97

Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades de Santafé de Bogotá

TABLA No____PLANCHAS TOPOGRAFICAS DIGITALIZADAS

NUMERO	PLANCHA	FUENTE	AÑOS	ESCALA	LOCALIDAD	NUMERO	PLANCHA	FUENTE	AÑOS	ESCALA	LOCALIDAD
1	L3	IGAC	78	1:2000	C. BOLIVAR	54	L60	IGAC	83	1:2000	SAN CRISTOBAL
2	L13	IGAC	78	1:2000	C. BOLIVAR	55	L69	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
3	L14	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	56	L70	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
4	L23	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	57	L79	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
5	L24	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	58	L80	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
6	L33	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	59	L90	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
7	L34	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	60	M11	IGAC	81	1:2000	SAN CRISTOBAL
8	L35	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	61	M21	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
9	L44	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	62	M22	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
10	L45	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	63	M31	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
11	L54	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	64	M32	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
12	L55	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	65	M41	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
13	L64	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	66	M42	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
14	L65	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	67	M51	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
15	L66	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	68	M61	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
16	L74	IGAC	80	1:2000	C. BOLIVAR	69	M71	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
17	L75	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	70	M81	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
18	L76	IGAC	80	1:2000	C. BOLIVAR	71	L89	IGAC	74	1:2000	SAN CRISTOBAL
19	L84	IGAC	80	1:2000	C. BOLIVAR	72	J72	IGAC	74.81	1:2000	SANTAFE
20	L85	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	73	J81	IGAC	81	1:2000	SANTAFE
21	L86	IGAC	80	1:2000	C. BOLIVAR	74	J82	IGAC	74.81	1:2000	SANTAFE
22	L87	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	75	J91	IGAC	81	1:2000	SANTAFE
23	L94	IGAC	80	1:2000	C. BOLIVAR	76	J92	IGAC	74.81	1:2000	SANTAFE
24	L95	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	77	M2	IGAC	74	1:2000	SANTAFE
25	L96	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	78	M12	IGAC	74	1:2000	SANTAFE
26	L97	IGAC	78	1:2000	C. BOLIVAR	79	16	IGAC	60	1:5000	SUBA
27	P5	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	80	22	IGAC	59	1:5000	SUBA
28	P6	IGAC	79	1:2000	C. BOLIVAR	81	15	IGAC	82	1:5000	SUBA
29	P7	IGAC	78	1:2000	C. BOLIVAR	82	F3	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
30	P15	IGAC	78	1:2000	C. BOLIVAR	83	F4	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
31	P16	IGAC	78	1:2000	C. BOLIVAR	84	F5	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
32	P17	IGAC	78	1:2000	C. BOLIVAR	85	F15	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
33	57	D.A.P.D	87	1:5000	C. BOLIVAR	86	F25	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
34	68	IGAC	82	1:5000	C. BOLIVAR	87	F26	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
35	77	IGAC	82	1:5000	C. BOLIVAR	88	F35	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
36	85	D.A.P.D	87	1:5000	C. BOLIVAR	89	F36	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
37	J14	IGAC	81	1:2000	CHAPINERO	90	F45	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
38	J23	IGAC	81	1:2000	CHAPINERO	91	F46	IGAC	74	1:2000	USAQUEN
39	J24	IGAC	74	1:2000	CHAPINERO	92	F55	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
40	J25	IGAC	74	1:2000	CHAPINERO	93	F56	IGAC	74	1:2000	USAQUEN
41	J33	IGAC	58.74	1:2000	CHAPINERO	94	F65	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
42	J34	IGAC	74	1:2000	CHAPINERO	95	F66	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
43	J42	IGAC	81	1:2000	CHAPINERO	96	F75	IGAC	82	1:2000	USAQUEN
44	J43	IGAC	74.81	1:2000	CHAPINERO	97	F76	IGAC	74	1:2000	USAQUEN
45	J44	IGAC	74	1:2000	CHAPINERO	98	F85	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
46	J52	IGAC	81	1:2000	CHAPINERO	99	F95	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
47	J53	IGAC	74	1:2000	CHAPINERO	100	J4	IGAC	83	1:2000	USAQUEN
48	J62	IGAC	74.81	1:2000	CHAPINERO	101	J5	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
49	J63	IGAC	74	1:2000	CHAPINERO	102	J6	IGAC	81	1:2000	USAQUEN
50	J73	IGAC	74	1:2000	CHAPINERO	103	J15	IGAC	74	1:2000	USAQUEN
51	J13	IGAC	81	1:2000	CHAPINERO	104	J16	IGAC	74	1:2000	USAQUEN
52	L50	IGAC	81	1:2000	SAN CRISTOBAL	105	J26	IGAC	74	1:2000	USAQUEN
53	L59	IGAC	81	1:2000	SAN CRISTOBAL						

La parte urbana y algunos drenajes se complementaron ya que no se presentaba en ninguna de las dos Fuentes. Los barrios, a nivel de manzana, se digitalizaron de las planchas escala 1:500 y 1:1000 suministradas por Planeación Distrital; en total se digitalizaron 21 barrios. Ver lista Anexa.

- Fotografías Aéreas

La base del trabajo se realizó sobre fotografías aéreas escala 1:25.000 de toda el área y se adquirieron fotos recientes 1:10.000 y 1:5.000 de las zonas o puntos específicos de mayor susceptibilidad identificados inicialmente con las visitas de campo. Ver tabla No 3.

Tabla 3 Listado General de las Fotografías Aéreas usadas en el Estudio

FOTOGRAFÍAS AÉREAS			
Vuelo	Fotografías	Escala aproximada	Año
F2 SAT-404	172-158	1:25.000	1.996
F3 SAT-404	139-127	1:25.000	1.996
F4 SAT-404	119-123	1:25.000	1.996
F4 SAT-404	105-111	1:25.000	1.996
F5 SAT-404	078-087	1:25.000	1.996
F6 SAT-404	055-062	1:25.000	1.996

4.2.3 Diseño de la Aplicación del Modelo De Evaluación

Una vez definida la técnica de evaluación de la amenaza, modelo semicuantitativo de evaluación de estabilidad (SES), se requiere de su implementación o en otras palabras del mismo diseño de la experimentación, para lo cual se establecieron las siguientes actividades:

- Definición de las variables por evaluar.
- Adecuación de la evaluación semicuantitativa al área urbana.
- Implementación de las variables para ser manejadas por medio del sistema de información geográfico.
- Calibración de modelo.

La evaluación semicuantitativa de estabilidad se realizó a partir de la valoración de los parámetros de análisis, definidos como la agrupación, según su naturaleza, de cada uno de los factores que intervienen en la estabilidad de una ladera y establecidos de tal manera que permitan ser fácilmente cuantificables o fuesen susceptibles de ser calificados. En el Anexo 1 se presentan copias de artículos sobre el Sistema de Evaluación Semicuantitativo, donde se expone en detalle el modelo de evaluación de estabilidad.

El modelo de evaluación se realizó mediante el cruce sistemático de los mapas temáticos resultantes de la valoración de las variables, en términos de contribución a la estabilidad. Se cartografiaron como bases topológicas con sus correspondientes base de datos los siguientes parámetros (Tabla 1):

⇒ **M** - Material.
⇒ **R** - Relieve.
⇒ **D** - densidad de drenaje.

⇒ **V** - Cobertura vegetal.
⇒ **E** - Erosión.
⇒ **C** - Clima.
⇒ **S** - Sismo
⇒ **A** - Acción antrópica.

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. Estos últimos se clasificaron en cinco categorías, de amenaza muy baja a amenaza muy alta.

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

La calibración del mapa de amenaza general se realiza por una parte mediante la contrastación con el mapa de amenaza relativa obtenido por la MTN, y por el cruce con el mapa de inventarios de procesos actuales.

4.3 EVALUACION DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS

4.3.1 Geología

Geología General

El trabajo Geológico se enfocó hacia la definición de las diferentes Unidades Litológicas y Estructuras (Fallas y Plegamientos) a Escala 1: 10000. Los resultados de la Cartografía Geológica se presentan con detalle en el Informe Geológico del Estudio.

En particular se identificaron las siguientes unidades:

Reciente	**R**	(Basuras, Escombros, Excavación)
Cuatemario	**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)
Transición	**KT**	(Formaciones Guaduas Superior, Medio e Inferior)
Cretáceo	**K**	(Formaciones Arenisca Tierna, Arenisca de Labor, Plaeners, Arenisca Dura del Grupo Guadalupe y Grupo Chipaque)

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.

El resultado de esta actividad se representa cartográficamente en:

- Mapa de Unidades Geológicas
- Mapa Estructural (Fallas y Pliegues)
- Mapa de Densidad de Fracturamiento

TABLA No 1

SISTEMA SEMI-CUANTITATIVO DE EVALUACION DE ESTABILIDAD A ESCALA INTERMEDIA

PARAMETRO M (Material) Puntaje Máx: 60

ROCA

ORIGEN	Textura	TIPO DE ROCA: FABRICA NO ORIENTADA: Entrelazada	NO ORIENTADA: Cementada	NO ORIENTADA: Consolidada	ORIENTADA: Foliada	ORIENTADA: Cementada	ORIENTADA: Consolidada	CONDICION DE FRACTURAMIENTO * : Masiva > 100 cm	ligeram Fractu-rada 10-100 cm	Modera-mente Fractu-rada. 1-10 cm	Intensa-mente Fractu-rada. < 1 cm
IGNEO	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 ($Ó_c$ > 2000 Kg/cm²)								50	39	21	9
ROCA TIPO 2 (1000 < $Ó_c$ < 2000 Kg/cm²)								38	29	16	7
ROCA TIPO 3 (500 < $Ó_c$ < 1000 Kg/cm²)								23	18	10	4
ROCA TIPO 4 ($Ó_c$ < 500 Kg/cm²)								11	8	5	2

* Separación entre discontinuidades (según Miller)

SUELO

Tipo de Suelo → / Roca Parental ↓	RESIDUAL: SUELO G	SUELO F	SUELO SAPROLITICO G	SUELO SAPROLITICO F
Ignea	S 2	S 3	S 3	S 4
Metamor.	S 1	S 2	S 2	S 3
Sedimen	S 1	S 2	S 2	S 3
Volcánica	S 2	S 3	S 3	S 4

TRANSPORTADO: Por acción directa de la gravedad G	F	Por agentes naturales: AGUA G	F	VIENTO G	F	HIELO 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 ↓	CONDICION EN EL TERRENO: Granular (Densidad) Alta	Media	Baja	Fino (Consistencia) Dura	Media	Blanda
Tipo S 1	25	16	7	23	14	6
Tipo S 2	19	12	5	18	11	4
Tipo S 3	11	7	3	11	7	3
Tipo S 4	5	3	2	5	3	1

MATERIAL INTERMEDIO

ROCA PARENTAL		Erodabilidad de la Matriz: Baja	Media	Alta	Muy alta	Influencia de las Estructuras *: Baja	Media	Alta	Muy Alta
MATERIAL RESIDUAL	Ignea	I-2	I-3	I-4	I-4				
	Metamór.	I-1	I-2	I-3	I-4				
	Sedimen.	I-1	I-2	I-3	I-4				
MATERIAL TRANSPORTADO	Talus o material coluvial	I-2	I-3	I-4	I-4				
						35	27	15	6
						26	20	11	5
						16	13	7	3
						8	6	3	1

* ver tablas 1 y 2.

TABLA 1. IDENTIFICACION 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 erratica de los materiales	3	6
Antiguas superficies de deslizamientos (Generalmente asociados a una o varias de las estructuras anteriores)	6	12

TABLA 2. 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

TOMADA DE RAMIREZ Y MODIFICADA GONZALEZ - MILLAN(1988)

TABLA 1 (Continuación)

SISTEMA SEMI-CUANTITATIVO DE EVALUACION DE ESTABILIDAD INTERMEDIA

PARAMETRO R - Relieve- (R = A + B) Puntaje Máx.34

Sub-zonas	Pendiente	A
Interfluvio	0-2	28
Ladera con infiltración	3-7	19
Ladera con reptación	18-58	8
Escarpe o ladera rectilínea	>58	19
Ladera intermedia de transporte	36-58	8
Ladera coluvial	8-36	6
Aluviones	0-7	21
Ladera de cauce	>84	6

Perfil	B
Convexo	0
Rectilíneo	3
Cóncavo	5

PARAMETRO D (Drenaje) Puntaje Máx. 35

Pendiente promedio de cauces	Densidad de drenaje		
	Baja	Media	Alta
Baja (0-5°)	35	30	23
Media (5-15°)	25	19	13
Alta (>15°)	16	10	6

PARAMETRO E (Erosión) Puntaje Máx. 35

Tipo de erosión	E
Laminar	30
Diferencial	22
Concentrada	15
Por socavación	11

Nota : Cuando no haya erosión el puntaje será 35

PARAMETRO C (Clima-Precipitación) Puntaje Máx. 40

PMDA *	Baja	Media	Alta
C	40	19	8

* Precipitación Máxima Diaria Acumulada

PARAMETRO V (Vegetación) Puntaje Máx. 32

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

PARAMETRO S (Sismo) Puntaje Máx. 24

Riesgo sísmico → / Tipo de material** ▼	Valores de Aa*						
	0.00	5.00	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
S1	24	21	17	13	8	5	2
S2	12	10	8	7	4	3	1
S3	4	3	3	2	1	1	0

*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 depositos 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 a blanda, con ó sin intercalación de arenas u otros suelos no cohesivos.

PARAMETRO A (Factor Antrópico) Puntaje Máx. 50

ZONAS DE AFECTACION				GRADO DE INTERVENCION		
				Bajo	Medio	Alto
ZONAS DE EXPLOTACION	Canteras	Actuales	Urbanizadas		16	
			Sin urbanizar			6
		Abandonadas	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

CALIFICACION DE ESTABILIDAD CE Puntaje Máx: 300 Min: 40

CE = M + R + D + E + V + C + S ± A

ADAPTADA DE RAMIREZ Y MODIFICADA GONZALEA - MILLAN(1998)

* Adaptación área urbana.

4.3.2 Geomorfología

El mapa Geomorfológico busca determinar a nivel general las formas del relieve que modelan las laderas de los cerros orientales y sur orientales de la ciudad. Se identificaron las formas de control estructural, las denudaciones causadas por los agentes destructores del relieve y las formas de acumulación representadas en depósitos cuaternarios antiguos y recientes.

A nivel morfodinámico se realizó un inventario de los procesos denudacionales actuales, dando como resultado una cartografía de procesos y una base de datos de los principales problemas de inestabilidad levantados. En el informe de Inventario de Procesos Actuales de Movimientos en Masa se presentan en detalle los resultados del mismo.

Morfométricamente se evalúo un mapa de pendientes, cuyos intervalos se definieron teniendo en cuenta la pendiente promedio de las laderas que conforman el área de estudio, medidas con base en la lectura de familias de la metodología de Taludes Naturales (MTN), y el perfil hipotético de Dalrimple (1968).

Igualmente se caracterizó el área en función de su red de drenaje. Se establecieron las cuencas y microcuencas en función de su importancia y la pendiente de las vertientes, para determinar la densidad de drenaje y la pendiente promedio de cauces. Los resultados del aspecto hidrográfico se presentan en el informe correspondiente.

La definición de los parámetros mencionados se realizó en función de las técnicas de evaluación de la Amenaza, Metodología de Taludes Naturales y modelo semicuantitativo. El informe Geomorfológico se presenta aparte, donde se explican en detalle el procedimiento y los resultados obtenidos.

El producto del análisis se puede resumir en los siguientes planos:

- Mapa de Unidades Geomorfológicas
- Mapa de Pendientes

Los procesos morfodinámicos se cartografiaron como mapa independiente al de unidades geomorfológicas, siendo los fenómenos de remoción en masa parte esencial del estudio. El mapa e informe se presentan en el volumen "Inventario de Procesos Actuales de Movimientos en Masa". El inventario de procesos fue base de los estudios de: relación lluvia - deslizamiento, factor antrópico (delimitación de zonas de explotación), en la evaluación de riesgo actual permitiendo definir áreas de exposición y niveles de amenaza por tipología y grado de actividad; y como calibrador de los mapas de amenaza obtenidos con la metodología de Taludes Naturales (MTN) y con el Sistema de Evaluación semicuantitativo (SES).

4.3.3 Cobertura y Uso Actual del Suelo

El mapa de Cobertura y Uso presenta las diferentes unidades de tipos de Cobertura Vegetal y su Uso Actual, que existen en los cerros que rodean a Santafé de Bogotá, mediante la elaboración de un mapa síntesis. El informe en detalle se presenta en el volumen correspondiente.

El propósito de la cartografía de cobertura y uso se enfocó por una parte hacia la determinación del factor antrópico específicamente en la identificación de áreas urbanas y zonas con uso de minería, que complementaron los trabajos específicos de campo, y en la valoración del parámetro de Cobertura Vegetal en la evaluación semicuantitativo de la amenaza, para el cual se incorporan las unidades cartografiadas en la tabla de calificación de estabilidad.

Las unidades definidas en el mapa síntesis son: Tierras con Bosques, con Rastrojo, con Pastos, Agrícolas, Edificaciones y Sin Cobertura, resultado que se presenta en los mapas de Cobertura y Uso Actual para cada Localidad. Además, como mapa temático se utilizo en la elaboración de las cartografías de los temas de factor antrópico y erosión natural.

Con los datos acopiados se hace un mapeo de la zonificación de los diferentes usos actuales del suelo tales como:

a) Sin uso (zonas erosionadas o estériles, afloramientos rocosos limpios, etc.)
b) Uso urbano e industrial
c) Infraestructura (carreteras, líneas de transmisión, etc.)
d) Uso minero (minas, canteras, etc.)
e) Uso agropecuario (agricultura, uso mixto)
f) Silvicultura (viveros, bosques artificiales, etc.
g) Vegetación natural.

4.3.4 Caracterización Geotécnica de los Materiales

El propósito de la caracterización geomecánica de los diferentes materiales cartografiados en el mapa geológico es el de establecer de forma semicuantitativa el comportamiento de los suelos y rocas con base en la litología, rasgos estructurales dominantes y grados de meteorización.

El modelo de Evaluación Semicuantitativa de Estabilidad a escala intermedia involucra tres categorías de litología: suelos, material intermedio y rocas. Para cada categoría se definen las características de comportamiento o propiedades índices que permiten cuantificar por categorías en términos de puntajes de estabilidad.

La caracterización de los materiales se realizo con base en:

- Recopilación de información secundaria

Se recopiló información de perfiles estratigráficos y resumen de resultados de ensayos de diferentes estudios geotécnicos realizados en la ciudad, que en lo posible cubrieran la totalidad del área de estudio. Se tomó la información resultante de los estudios de suelos de estabilidad de sitios críticos contratados por la UPES y ejecutados durante 1998.

En total se consultaron 56 estudios, de los cuales se registraron 581 registros geomecánicos de los diferentes materiales, especialmente propiedades índices y de resistencia. (Ver Informe Geotécnico)

- Investigación del Subsuelo.

La investigación del subsuelo se estableció con base en el trabajo de reconocimiento de campo. Se realizó una exploración con equipo mecánico en 22 puntos distribuidos en el área de estudio, buscando explorar las características de los suelos residuales y depósitos cuaternarios principalmente. Las perforaciones se complementaron con ensayos de resistencia in-situ de penetración estándar SPT. La Tabla No. 4 muestra los sitios donde se realizaron perforaciones, así como las profundidades alcanzadas.

Igualmente sobre los sitios de afloramientos rocosos, especialmente los sectores de canteras se tomaron muestras en bloque de diferentes tipo de areniscas, sobre las cuales se realizaron ensayos de compresión simple.

INGEOCIM Ltda.
Ingenieros Consultores

ALCALDIA MAYOR DE SANTAFE DE BOGOTA D.C. - UPES
CONTRATO No 1314-107-97
Zonificación de Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades de Santafé de Bogotá

TABLA No 4 INVESTIGACION DEL SUBSUELO
SONDEOS MECANICOS

SECTOR	UBICACION	No Sondeo	Profundidad	CODIGO	COORDENADAS N	E
NUEVA PENSILVANIA	SUR	1	14.50	ZUPNPEN1	96030	96180
		2	7.50	ZUPNPEN2	95985	96100
		3	6.50	ZUPNPEN3	96065	96095
QUINDIO	QUINDIO	1	8.00	ZUPQUIN1	93680	99245
	PUENTE COLORADO	2	7.00	ZUPQUIN2	93800	99460
SAN LORENZO	LAS TORRES	1	4.00	ZUPSLOR1	93790	92565
		2	5.00	ZUPSLOR2	93900	92570
MANITAS		1	5.00	ZUPMAN1	94975	91980
		2	7.00	ZUPMAN2	95070	91930
LOS LIBERTADORES	LOS LIBERTADORES	1	7.75	ZUPLIB1	93170	98950
	CANADA	2	7.40	ZUPLIB2	93200	98970
LONDRES	ESCUELA	1	9.00	ZUPLON1	91565	98930
	LONDRES	2	7.00	ZUPLON2	91650	98760
PARQUE NACIONAL		1	12.00	ZUPPARN1	103120	102260
		2	5.50	ZUPPARN2	103235	102230
SAN ISIDRO	VIA LA CALERA	1	13.50	ZUPSIS1	106495	106835
LA SUREÑA	VIA LA CALERA	1	5.30	ZUPSUR1	106365	106410
BUENAVISTA		1	16.00	ZUPBUEN1	116800	105855
UNICERROS	EL PAÑUELITO	1	6.75	ZUPUNC1	112020	106190
	LA ESPERANZA	2	12.00	ZUPUNC2	112010	105825
SANTA VIVIANA	SIERRA MORENA	1	4.00	ZUPSVIV1	97910	88770
CHAPINERO ALTO		1	12.00	ZUPCHA1	105860	102295

000022

- Ensayos de Laboratorio.

Sobre las muestras obtenidas en los diferentes sitios explorados se realizó un programa de ensayos de laboratorio que contempló ensayos de clasificación (humedad natural, límites de consistencia, granulometrías y densidades) y de resistencia al corte sobre las muestras inalteradas obtenidas. Adicionalmente sobre 3 muestras de arenisca se realizaron pruebas petrográficas.

Propiedades de Materiales con Evaluación Morfológica de Taludes

Con los mapas topográficos, geológicos y geomorfológicos se hacen mediciones de la morfología (H vs. L) de poblaciones de taludes naturales con la Metodología de Taludes Naturales de Shuk (p.ej. 1997), la cual permite obtener valores de densidad y de resistencia in-situ de los materiales. Así mismo, con los últimos avances de esta metodología también es posible identificar niveles de presurización actuantes, espesores de depósitos y posibles magnitudes de falla.

Los valores deducidos de resistencia se calibran con los datos de laboratorio y los espesores con los datos de perforaciones, para extender la cuantificación de las características geomecánicas de los materiales.

Caracterización de Materiales

Con toda la información de la exploración y de los ensayos se obtiene las características geotécnicas de los materiales de cada una de las zonas en que se ha dividido el área, especialmente aquellas que involucran los movimientos en masa, así como de su interacción con los agentes meteóricos, en especial el agua.

Estas características se extrapolan a otros sitios mediante los datos de la MTN.

4.3.5 Zonificación de Susceptibilidad

Con base en toda la información básica anterior, se procede a la evaluación de Zonas Homogéneas de Susceptibilidad para las áreas de interés y se clasifican los tipos de movimientos más frecuentes en cada zona. El mapa de susceptibilidad se obtiene mediante el cruce de los parámetros de: Material, Relieve, Densidad de Drenaje y Vegetación, considerados como parámetros intrínsecos de una ladera.

Con esta zonificación se obtienen mapas de susceptibilidad semicuantitativa del área de estudio a escala 1:10.000, con la identificación, clasificación y categorización preliminar de movimientos, información que es esencial para los análisis posteriores.

Las áreas se clasificaron en cinco categorías de susceptibilidad a que las laderas presenten problemas de estabilidad del terreno.

4.4 EVALUACION DE AGENTES DETONANTES

Aunque, para conservar un ordenamiento metodológico, algunas de estas actividades se presentan en forma posterior a las de evaluación de susceptibilidad, en realidad en el tiempo pueden ser simultáneas o con antelación a otras de las que ya se han descrito en los párrafos anteriores. Los resultados de este ítem se presentan en detalle en el informe correspondiente.

4.4.1 Climatología e Hidrología

Localización y Fisiografía

En el mapa base 1:10.000 se dibujó la red hidrográfica, se localizaron las estaciones pluviométricas, meteorológicas e hidrométricas que funcionan en la actualidad y se determinaron los elementos fisiográficos que exija el estudio, tales como áreas de cuencas hidrográficas, y longitudes y pendientes de los cauces.

Isoyetas Anuales

Con series de lluvias ya corregidas y complementadas se trazaron isoyetas medias anuales. Los trazados se basaron en relaciones de generalización, buscando ajuste satisfactorio.

Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ha hecho un completo estudio de este aspecto y tiene para toda la ciudad la parametrización de estas curvas en cuadrícula de 500x500m (EAAB-IRH,1995), las cuales se emplearon en dónde se requirieron.

Lluvias Críticas

Para Colombia se han obtenido datos de lluvias críticas y su duración (Castellanos y González, 1997). Con el mismo modelo se calibraron algunos de los eventos históricos de deslizamientos ocurridos en la ciudad para encontrar estos parámetros.

El área de estudio se zonificó en función de la lluvia crítica y del período de retorno representativo de cada estación, obteniendo cinco zonas con diferentes factores de influencia o coeficientes de estabilidad.

4.4.2 Sismología

Amenaza Sísmica a Nivel de Roca

Para los sismos se considera suficiente a esta escala la información del Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (INGEOMINAS- UNIANDES, 1997), la cual tiene aceleraciones a nivel de roca basal para diferentes períodos de retorno, las cuales pueden ajustarse a:

$$\alpha = a*TR^b$$

en donde: α = aceleración a nivel de roca (en fracción de g)
TR = período de retorno en años
a,b = parámetros de ajuste

Aceleraciones para Diseño

Con los sismos a nivel basal para un período de retorno de 475 años se emplearon los valores del estudio de Microzonificación antes mencionado, asignando valores de aceleración a cada punto de acuerdo a los valores de la Microzonificación y al tipo de material presente.

4.4.3 Erosión Natural

Acá es conveniente aclarar, que en este estudio se entiende por erosión aquel fenómeno en el cual ocurre arranque y transporte inicial por un agente (agua, aire, hielo, animales u hombre) y que por lo tanto **excluye** los movimientos en masa, que se consideran como traslocaciones de material por acción de la gravedad, la cual no es un medio de transporte. Lo anterior no obsta para que las masas deslizadas sufran erosión en diversos grados o que la erosión sea uno de los agentes detonantes de los movimientos en masa. La suma de erosión y movimientos en masa, constituye el proceso de denudación de la corteza terrestre.

Entonces, con base en los estudios geológicos, geomórficos, de cobertura vegetal y de factor antrópico, se evalúa y mapea sobre la cartografía, el grado de erosión actual de las áreas de interés, clasificándola según su tipo y catalogando su intensidad desde ausencia de erosión hasta erosión muy severa. Se cartografiaron áreas con tipos de erosión: en surcos, en cárcavas, zanjones, tierras malas y socavación.

El efecto principal de la erosión natural como agente detonante de deslizamientos, puede considerarse como la transformación del perfil del talud, el cual tiende a acentuar su ángulo de inclinación a medida que la pérdida de material, normalmente superior en las partes inferiores, se acentúa.

Es uno de los efectos más difíciles de estimar, por que no es sencillo diferenciar cuándo la erosión está actuando sobre una masa estable haciéndola perder estabilidad o cuando simplemente está removiendo material ya desplazado por efectos de deslizamientos, proceso que de todas formas mantiene la inestabilidad.

4.4.4 Efectos Antrópicos

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).

Para la metodología que nos ocupa, esta intervención del hombre va intimamente ligada también a su vulnerabilidad y la de sus entornos, por lo que la identificación y evaluación de la acción antrópica como agente detonante de movimientos en masa debe hacerse en forma paralela a los análisis de vulnerabilidad.

Las causas que se consideran son (Figura No. 4):

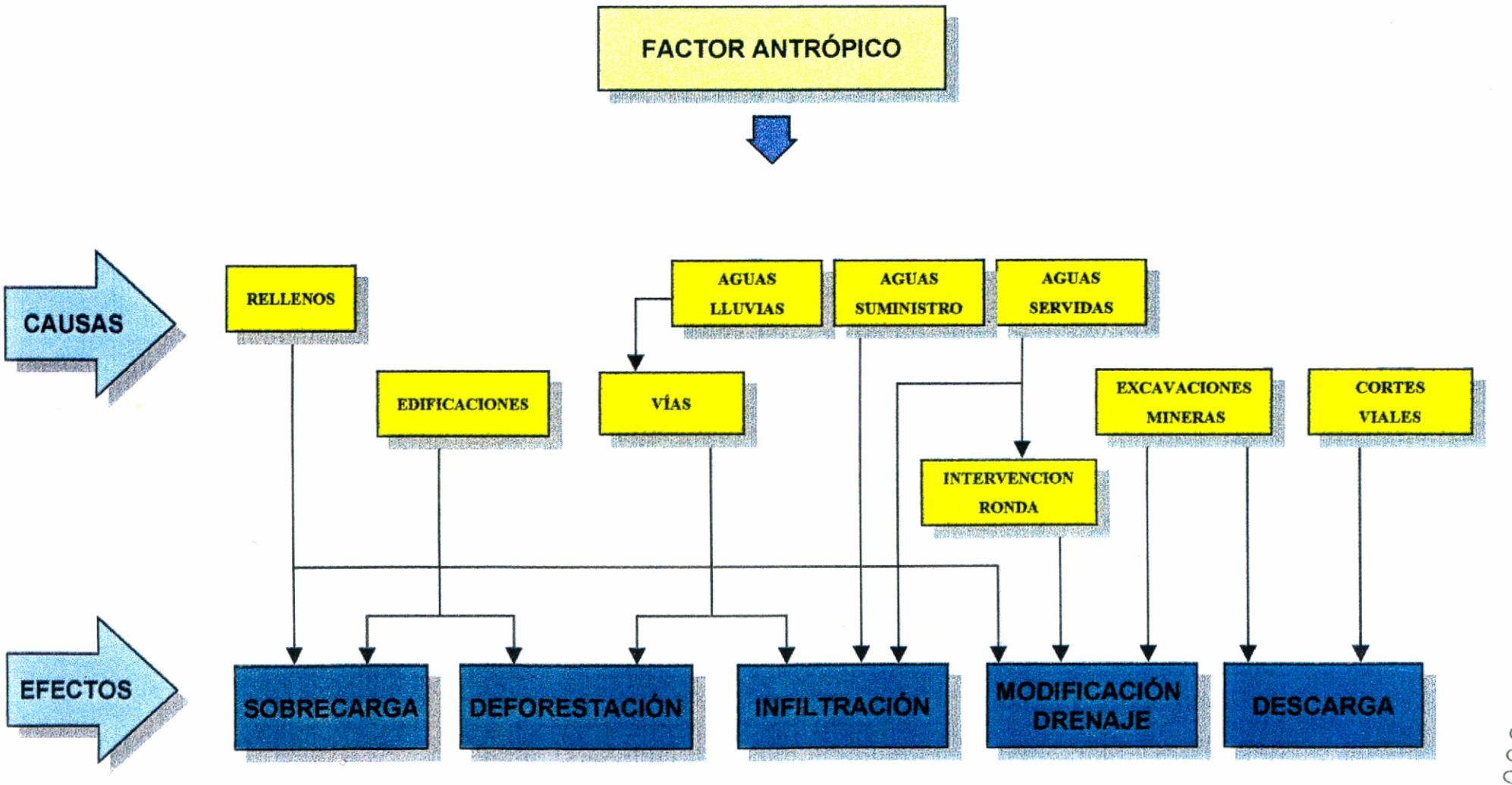
a) Deforestación
b) Construcción de rellenos
c) Excavación por explotaciones u obras
d) Descarga de efluentes

Que producen deterioro del medio fisico por la presencia de áreas de descarga (liberación de esfuerzos del suelo), infiltraciones (aumento de los niveles piezométricos y presiones hidrostáticas), sobrecargas y modificaciones del drenaje.

Para la metodología de la SES se empleará la adaptación efectuada por Lozano y Millán (1997) para el Estudio de Ciudad Bolívar (INGEOMINAS, 1997).

ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

FIGURA No 4 - EFECTO ANTRÓPICO EN LA PRODUCCIÓN DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA



000029

000027

4.5 EVALUACION DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS

4.5.1 Amenaza por Movimientos en Masa

Con la superposición de la evaluación de susceptibilidad y la de los eventos detonantes (clima, sismo, erosión y factor antrópico) se establece con el Método del SES una zonificación de posibilidad semicuantitativa de ocurrencia de movimientos en masa.

La categorización de cada área se establece según el puntaje de estabilidad obtenido una vez realizada la suma ponderada de los diferentes parámetros. Se establecen cinco categorías de estabilidad que se asocian a diferentes niveles de amenaza relativa.

La zonificación en términos de la amenaza por fenómenos de remoción en masa se establece en las siguientes categorías:

- Amenaza Muy Baja
- Amenaza Baja
- Amenaza Media
- Amenaza Alta
- Amenaza Muy Alta

4.5.2 Zonas de Influencia de la Amenaza Actual

Igualmente, para los movimientos en masa cartografiados en el inventario se delimitaron las zonas de influencia de cada uno de los fenómenos, con diferentes grados de amenaza según la tipología y grado de actividad.

Esta actividad permitió evaluar las áreas de exposición de los elementos expuestos que pueden ser afectados por la ocurrencia del evento amenazante, los criterios establecidos para la delimitación de éstas áreas son: mofométricos (posible zona de trayectoria del movimiento y avance del área en movimiento) y de magnitud del evento.

5. CARTOGRAFIA TEMATICA

5.1 CARTOGRAFÍA BASE

5.1.1 Límite de Estudio.

El límite de estudio se definió con base en los siguientes criterios:

- Límite inferior: Se establece en función de la pendiente del terreno, se contemplan zonas a partir de una pendiente mayor o igual al 5 %.
- Límite superior: Se toma como límite la divisoria de cuenca o en su defecto de vertiente, en lo posible tomando la ladera completa, de los cerros orientales y sur orientales de la ciudad.
- Límites extremos: Estos se definieron de acuerdo a los lineamientos establecidos por la UPES, específicamente, los límites extremos de las localidades de Ciudad Bolívar y Usaquén.

En la parte inferior del área de estudio, hacia la planicie de la sabana, el límite se trazó siguiendo las calles o avenidas de tal forma que la pendiente del terreno estuviera cerca al 5 %. En la Figura No 5 se muestra la delimitación del área de estudio.

000028

Cartográficamente el área se subdividió en cinco planchas a escala 1:10.000, distribuidas de tal forma que cada plancha contemplara una o dos localidades y correspondieran a los diferentes grupos del concurso. En la figura No 5 se muestra la subdivisión establecida.

En la tabla No 5 se muestra la distribución de las planchas, sobre las cuales se van a presentar los resultados de la cartografía temática y de amenaza.

Tabla No 5 Distribución Cartográfica Area de Estudio

LOCALIDAD	NO	PLANCHA No	CODIGO	AREA Ha
Ciudad Bolívar	19	1	CB	5238
Rafael Uribe Uribe y San Cristóbal	18 - 04	2	RS	4210
Santafé y Chapinero	03 - 02	3	SC	4008
Usaquén	01	4	US	3509
Suba	11	5	SU	1145

Las planchas 2, 3 y 4 presentan traslapos en sus extremos, la plancha de Rafael Uribe Uribe - San Cristóbal se trapalea con la plancha de Santafé - Chapinero, y esta a su vez con la plancha de Usaquén.

5.1.2. Mapa Base

Como mapa base se contempla en mapa topográfico con curvas de nivel cada 5 m, la red de drenaje, la parte urbana constituida por límites de manzana y red vial principal, la división política de cada localidad a nivel de barrio, y la toponimia correspondiente a cada tema; a escala 1:10000.

Complementariamente se crearon formatos de salida a escalas 1:50000 par cada localidad y a 1:100000 para toda el área de estudio, para la representación de temas específicos como zonificación sísmica, factor antrópico, entre otros.

5.2 CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

Corresponde a la representación gráfica y topológica de los diferentes parámetros de evaluación incluidos en el sistema de evaluación semicuantitativa, para ser evaluados o calificados de acuerdo al SES. En la Tabla No 1 se presentan los criterios y la calificación de los diferentes parámetros y la Figura No 2 muestra esquemáticamente el proceso de evaluación.

5.2.1 Materiales (M).

El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad dentro de los parámetros de evaluación considera al material como el de mayor incidencia en la estabilidad de una zona o región. Su valoración en términos cualitativos se hace en función de la litología: Roca, material intermedio y suelo.

El material tipo roca se valora de acuerdo al origen y textura (p.ej. rocas sedimentarias clásticas), resistencia del material rocoso y condición de fracturamiento; para el material intermedio se valora

la matriz y la influencia de las estructuras heredadas; mientras que los suelos se clasifican en residuales y transportados, valorando su consistencia o compacidad, si son finos o granulares respectivamente.

La tabla No 1 y 1 A muestra la valoración asignada de cada uno de los tipos de material y sus clases derivadas, RAMIREZ (1989). Esta tabla fue aplicada en el estudio tomando como base la información consolidada y procesada de los estudios geotécnicos realizados por diferentes firmas consultoras y la investigación del subsuelo realizada dentro del proyecto por INGEOCIM.

El Informe Geotécnico - Caracterización de los materiales se expone con mayor detalle la información utilizada, la forma como se adquirió, las limitaciones y alcances de las mismas y los resultados. Con base en los análisis de resultados de este informe se clasificaron los materiales de la forma siguiente:

5.2.1.1 Suelos

Por su comportamiento geomécanica se consideraron como suelos las Terrazas bajas (Qtb), Depósitos Aluviales (Qal), Rellenos antrópicos (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.

Como las rocas presentes en el área de estudio son de origen sedimentario y los perfiles de meteorización III y IV no son muy claros se clasificaron todos los horizontes meterorizados como suelos residuales. Estos se presentan fundamentalmente en rocas arcillosas dando a lugar una textura fina y a una consistencia que varía de media a baja, clasificándose según la Tabla No. 2 como SR2C y SR2B.

Del mapa de Inventario de proceso se tomaron los rellenos antrópicos que fueron clasificados como: **suelos transportados por gravedad con un alto porcentaje de matriz fina, de consistencia blanda**, que dan una clasificación general de ST4B. Los rellenos ocupan áreas pequeñas, exceptuando el relleno tecnificado de Doña Juana que cubre un área aproximada de 84 Ha.

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 de 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 (Qfg) o por gravedad (Qfg); 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).

En las Tablas No. 6 A y 6 A se expone la tabla simplificada utilizada y la Tabla No. 7 resume las clasificaciones de los suelos que cubren el área de estudio, tomando como base la de RAMIREZ (1988).

TABLA No. 6. CLASIFICACION DE LOS SUELOS Y PUNTAJES PARA LA EVALUACION SEMICUANTITATIVA

	CONDICION DEL TERRENO					
	GRANULAR (DENSIDAD)			FINO (CONSISTENCIA)		
TIPO DE SUELO	ALTA (A)	MEDIA (M)	BAJA (S)	DURA (D)	MEDIA (C)	BAJA (B) BLANDA
SR1	SR1A 25	SR1M 16	SR1S 7			
SR2				SR2D 18	SR2C 11	SR2B 4
ST2	ST2A 19	ST2M 12	ST2S 5			
ST3	ST3A 11	ST3M 7	ST3S 3	ST3D 11	ST3C 7	ST3B 3
ST4				ST4D 5	ST4C 3	ST4B 1

SUELO RESIDUAL		SUELO TRANSPORTADO			
		GRAVEDAD		AGUA	
GRANULAR	FINO	GRANULAR	FINO	GRANULAR	FINO
SR1	SR2	ST3	ST4	ST2	ST3

TABLA No. 7. UNIDADES DE SUELOS Y CLASIFICACIÓN PARA EL MODELO SEMICUANTITATIVO

UNIDAD	SIMBOLO	TIPO DE TRANSPORTE	CLASIFICACION	PUNTAJE
Suelos Residuales	Qsr	Meteorización	SR2C - SR2B	4 -11
Rellenos	Rfb	Gravedad	ST4B	1
Suelos de la Sabana	Qsb	Agua	ST3B	3
Formación Tilata	TQt	Agua	ST3B	3
Depositos aluviales	Qal	Agua	ST3C	7
Terrazas bajas	Qtb	Agua	ST3D	11
Flujos de tierra	Qft	Gravedad y agua	ST4B	1
Depositos coluviales	Qdlc	Gravedad	ST4C - ST4B	1
Depositos fluvioglaciares	Qfg	Agua	ST3D - ST3C	7 - 11

5.2.1.2 Material Intermedio

Se consideron materiales intermedios los depósitos del cono del Tunjuelo (Qct), conos de deyección (Qcd), Terrazas altas (Qta) y depósitos de Talus (Qdlt) y coluviales (Qdlc). Los depósitos coluviales y fluvioglaciares que estan constituidos por más del 70% de clastos fueron clasificados como material intermedio.

Estos depositos 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.**

En la Tabla No. 8 se expone la tabla simplificada utilizada por el estudio y la Tabla No. 9 resume la clasificación atribuida a cada uno de los materiales intermedios y su respectivo puntaje según RAMIREZ (1988).

TABLA No. 8 CLASIFICACION DE LOS SUELOS Y PUNTAJES PARA LA EVALUACION SEMICUANTITATIVA

	ERODABILIDAD DE LA MATRIZ			
	BAJA (B)	MEDIA (M)	ALTA (A)	MUY ALTA (x)
SUELO TRANSPORTADO	IT2B 26	IT3M 16	IT4A 8	IT4X 4

TABLA No. 9. UNIDADES DE MATERIALES INTERMEDIOS Y CLASIFICACIÓN PARA EL MODELO SEMICUANTITATIVO

UNIDAD	SIMBOLO	CLASIFICACION	PUNTAJE
Coluviones	Qdlc	IT3M	16
Talus	Qdlt	IT4A	8
Depositos fluvioglaciares	Qfg	IT3M	16
Conos del tunjuelo	Qct	IT4A	8
Conos de deyección	Qcd	IT3M	16
Terrazas altas	Qta	IT3M	16

5.2.1.3 Roca

El material tipo roca se evalúa desde tres puntos de vista, litología, resistencia a la compresión simple y grado de fracturamiento.

Litológicamente el área de estudio está conformada por rocas sedimentarias del terciario y del cretáceo superior compuesto principalmente por areniscas, arcillolitas y limolitas. En el informe Geotécnico se presentan las características mecánicas del material rocoso por formación y por tipo.

El grado de fracturamiento se determinó con base en los lineamientos de la falla o del eje de las estructuras (anticlinal o sinclinal), Se definió como el área de influencia del lineamiento por unidad de área básica (250x250 m^2).

Resistencia

Los rangos de resistencia a la comprensión simple dada por RAMIREZ (1988), fueron modificados para el estudio debido a que con dichos rangos no se discriminaba el parámetro. Se tomo 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 10 se muestran los rangos utilizados.

TABLA No. 10 CLASIFICACION DE LAS ROCAS SEGUN LA RESISTENCIA A LA COMPRENSION

TIPO DE ROCA - (RESISTENCIA)	RESISTENCIA A LA COMPRENSION (KG/CM²).
R1 - (alta)	> 1120
R2 - (media)	560 - 1120
R3 - (baja)	280-560
R4 - (muy baja)	< 280

Las areniscas presentes en el área de estudio se clasifican como rocas de resistencia muy baja a media (50-800 kg/cm².), excepto las areniscas duras del Guadalupe que alcanzan a valores de resistencia de 800 a 1200 kg/cm². Las arcillolitas clasifican como rocas muy blandas con resistencia menores de 100 kg/cm², 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/cm². en la Tabla No. 11 se resume la clasificación de las rocas según su resistencia a la comprensión simple.

TABLA No. 11. VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRENSION SIMPLE EN LAS UNIDADES ROCOSAS

UNIDAD	SIMBOLO	COMPRENSION SIMPLE	CLASIFICACION
Arenisca Dura	Ksgd	800 -1200	R2
Arenisca Plaeners	Ksgp	400 - 800	R3
Lidita Plaeners	Ksgp	120	R4
Arenisca Labor	Ksgl	200 - 600	R3
Limolita Labor	Ksgl	280	R4
Arenisca Tierna	Ksgt	300-500	R3
Arenisca Guaduas Medio	KTgm	200-400	R3
Arcillolitas Guaduas superior e inferior	KTgs KTgi	< 280	R4
Arenisca Cacho	Tpc	50-200	R4
Arcillolitas Bogotá	Tpb	< 280	R4
Areniscas Bogotá	Tpb	< 280	R4
Arenisca regadera	Teri		R4
Arcillolita Regadera	Ter		R4
Arenisca Usme	Tmu	300-600	R3
Arcillolita Usme	Tmu		R4

Densidad de fracturamiento
La densidad de fracturamiento se determino según 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 hizo con los siguientes criterios:

- Persistencia 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, en la tabla siguiente se exponen varios ejemplos de ellas.

TABLA No. 12. FRANJA DE INFLUENCIA UTILIZADAS SEGUN EL TIPO DE ESTRUCTURAS

ANCHO DE LA FRANJA (M)	TIPO DE ESTRUCTURAS
150	Falla de Bogotá, Anticlinal de Bogotá
130	Falla Carro Viejo, Falla Serrezuela, Falla La Cuchilla, Falla San Cristóbal
100	Falla Patios, Falla Chico, Falla Usaquén, Falla San Cristóbal
90	Falla Parque Nacional, Falla El Zuque, Falla La Fiscala
70	Fallas satélite de persistencia alta
35	Fallas satélites de persistecia baja

La densidad de fracturamiento se definió como unidad de área afectada por los lineamientos por unidad de área básica. Estableciendo la condición de fracturamiento para la condición regional, en las clases mostradas en la Tabla No 13, resultado del análisis de frecuencias de los datos de densidad obtenidos para cada unidad básica.

TABLA No. 13. RANGOS DE DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO

TIPO	DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO
Baja	0 – 600
Media	600 – 2700
Alta	2700 – 6300
Muy alta	Mayor a 6300

Cualificacion de las rocas

Se tomo los puntajes dados por RAMIREZ (1989). La Tabla siguiente resume los puntajes atribuidos a cada una de las rocas y la simbologia utilizada en el mapa tematico.

TABLA No. 14. CLASIFICACION DE LAS ROCAS Y EL PUNTAJE PARA LA EVALUCION SEMICUANTITATIVA

TIPO DE	CONDICION DE FRACTURAMIENTO			
SUELO	BAJA (B)	MEDIA (M)	ALTA (A)	MUY ALTA (x)
R1 > 1120	R1B 50	R1M 39	R1A 21	R1X 9
R2 560-1120	R2B 35	R2M 29	R2A 16	R2X 7
R3 280-560	R3B 23	R3M 18	R3A 10	R3X 4

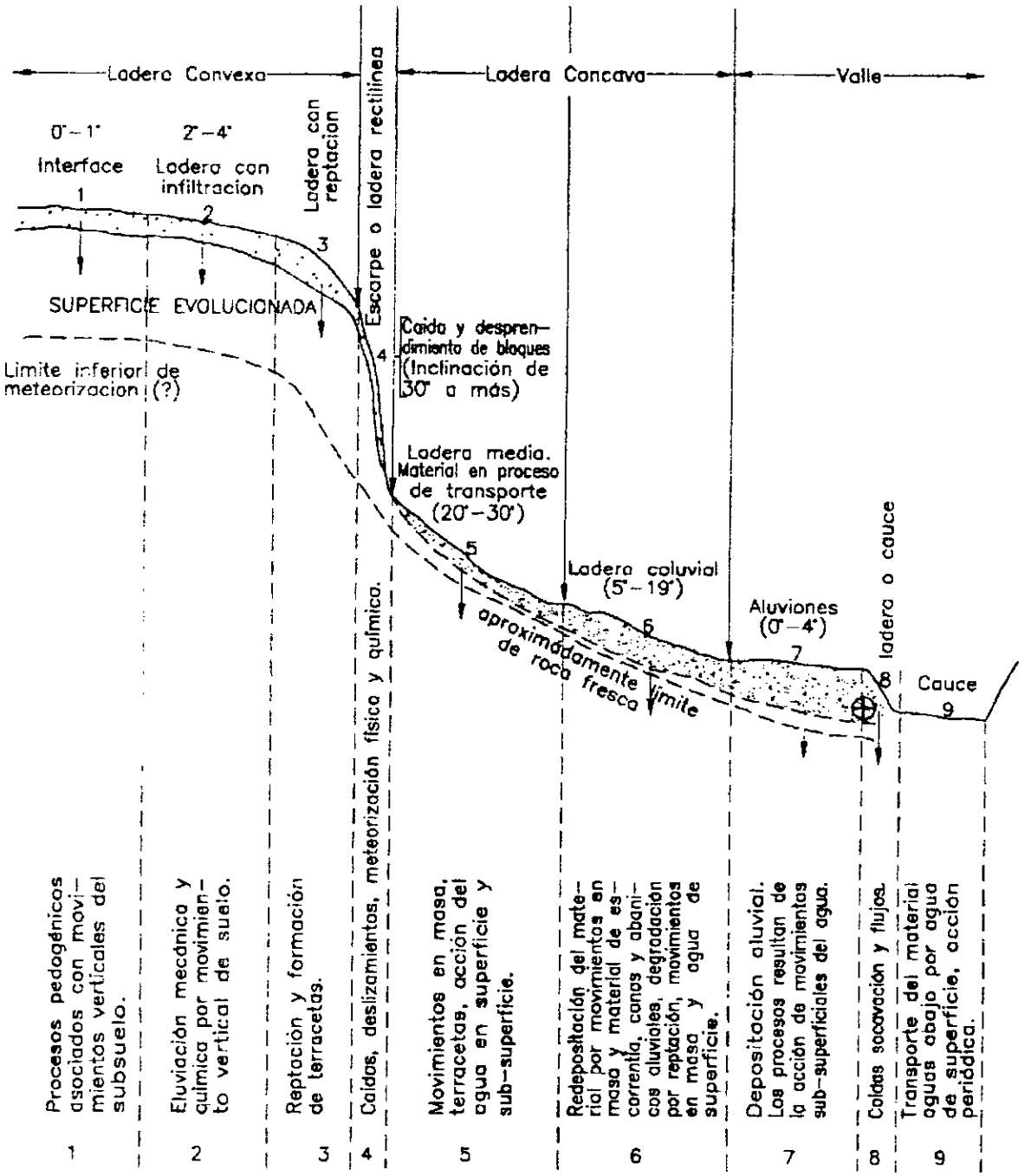
5.2.2 Relieve (R).

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 parámetro relieve parte del modelo morfológico de una vertiente propuesto por Dalrymple et al (1962), donde se distinguen 9 unidades hipotéticas, definidas en función de su forma y de los procesos morfodinámicos dominantes sobre ellas. De esta manera se puede describir una vertiente en función de las unidades establecidas con relación a su papel en la formación, transporte y desarrollo de fenómenos de remoción en masa. Figura No 6.

FIGURA No 6

MODELO DE PROCESOS GEOMORFICOS

Modificado de J.B. Dalrymple et al. 1968



Nota: Las flechas indican la dirección e intencidad relativa de la meteorización y movimiento de los suelos.

⊕ Indica la direccion del transporte hacia aguas abajo.

000035

La valoración del parámetro relieve se realizó siguiendo las actividades que a continuación se mencionan:

- Elaboración mapa de pendientes.
- Cruce mapa de pendientes con mapa base.
- Calificación de unidades

El rango de pendientes se estableció con base en el registro establecido con la medida de las 2800 familias de taludes naturales, las cuales cubren la totalidad del área de estudio, y con los límites establecidos en el modelo de Dalrymple. Del análisis de frecuencias se establecieron los siguientes intervalos:

INTERVALO	PENDIENTE%
1	0 - 8
2	8 - 14
3	14 - 22
4	22 - 37
5	37 - 61
6	61 - 100
7	100 -

Una vez obtenido el mapa de pendientes, éste se cruzó de manera manual con las curvas de nivel y la red de drenaje. Como lo establece el SES, para cada unidad de pendiente se le asoció su localización dentro de la vertiente y se le definió la forma de perfil predominante según el perfil hipotético de Dalrymple.

La calificación de estabilidad, tabla 1a presenta valores entre 6 y 34 puntos, correspondientes a laderas de cauce e interfluvios respectivamente. Así por ejemplo, una unidad de pendiente entre 37 % y 61 %, se consideró como una zona de ladera intermedia de transporte y un perfil rectilíneo, con una calificación de estabilidad de 9 puntos.

5.2.3 Drenaje (D)

El sistema de drenaje dentro de un valle es un factor determinante en la generación de procesos morfodinámicos actuantes. Los canales naturales constituyen el agente más importantes de transporte de materiales desde las zonas altas hacia las partes bajas.

El parámetro drenaje se evalúa bajo dos elementos fundamentales: la densidad de drenaje y la pendiente promedio del cauce. El puntaje de estabilidad varía entre 35 puntos para un área con densidad baja y pendiente promedio del cauce baja y 6 puntos para las condiciones opuestas.

El cálculo de la pendiente promedio del cauce se realizó tomando como unidad base la microcuenca, para cada una, se midieron las pendientes de los drenajes que la conforman y se estableció como dato representativo de la unidad, el promedio ponderado por longitud de cauce. Las microcuencas se clasifican de pendiente de cauces baja para datos promedios menores al 8 %, en media entre 8 % y 27 % y de alta pendiente para datos mayores.

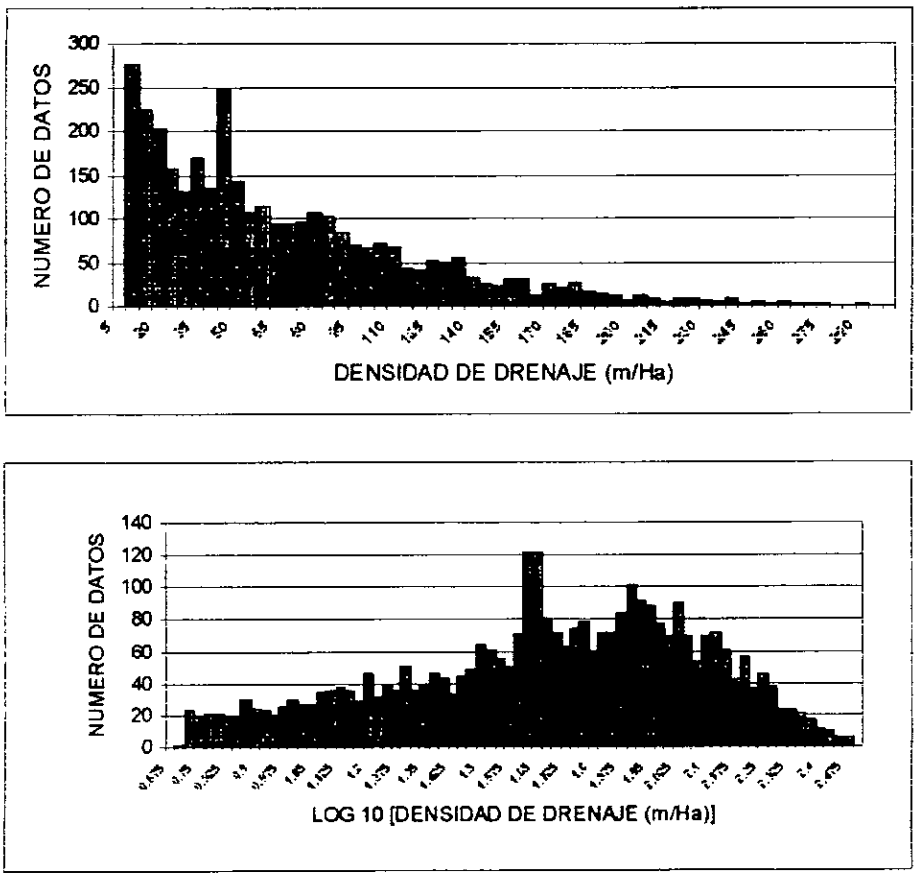
La densidad de drenaje (dd), definida como la relación entre la sumatoria de las longitudes de los cauces y un área básica de análisis. Se estableció una malla, en toda el área de estudio, con cuadrados de 250 m de lado, para cada área base se calculo su densidad de drenaje en m/ha. La

000096

definición de zonas de densidad baja, media y alta se realizó con base en el criterio estadístico, tomando la distribución de frecuencias de tipo logarítmica (Figura No 7) de los datos calculados para toda el área de estudio; y el límite entre una zona y otra corresponde a la isolínea de densidad así: áreas de densidad baja zonas con dd menores a 30 m/ha, media con dd entre 30 m/ha y 80 m/ha y alta para zonas con registros mayores.

La combinación de los factores de densidad y pendiente de cauces se realizo mediante el sistema de información geográfico, arrojando como resultado las combinaciones posibles establecidas en el SES, sobre las cuales se le asigno el puntaje correspondiente.

Figura No 7. Distribución de frecuencias densidad de drenaje



5.2.4 Vegetación (V).

La cobertura del suelo se constituye en un factor determinante en las condiciones de estabilidad de una ladera, particularmente en lo referente al control de la erosión e infiltración de aguas de escorrentía. La influencia de la vegetación en la estabilidad de laderas está en función de la pendiente del terreno, Crozier (1984) al respecto, sugiere que para pendientes mayores al 100 % el peso de la vegetación es desfavorable en términos de estabilidad, y favorables para laderas con pendientes menores al 100 %.

000037

El mapa síntesis del parámetro de vegetación se obtiene de cruzar cartográficamente mediante el sistema de información el mapa de pendientes y el mapa de cobertura y uso actual. El mapa de pendientes para ser usado en este temático se generalizó según Ramírez en tres grupos: el primero para pendientes menores al 22 %, el segundo entre 22 % y 61 % y el tercero para pendientes mayores.

La inclusión de la cobertura urbana (tierras edificadas) se realizó tomando en cuenta la similitud en el efecto de intercepción, retardo e impermeabilización que producen las áreas de consolidación urbana con respecto a la cobertura de vegetación. Así, la parte urbana se clasificó en áreas con y sin pavimento, las áreas con pavimento se asimilaron a las zonas con cobertura de rastrajo bajo y las áreas sin pavimentar a zonas con pastos. Adicionalmente las áreas de canteras, definidas en el mapa de cobertura como sin cobertura, se asimilaron a áreas con cultivos limpios o de desmonte.

La asignación del puntaje de estabilidad asociado a este parámetro queda definida de la siguiente forma: Tabla No 15.

Tabla No 15 Puntajes de Estabilidad Parámetro de Vegetación (SES)

PENDIENTE %	0 - 22	22 - 61	61 -
TIPO DE COBERTURA	Puntaje	Puntaje	Puntaje
Bosque nativo, secundario, rastrojo alto	32	25	19
Rastrojo bajo, cultivos permanentes y semipermanente, zona urbana pavimentada	27	17	7
Pastos o vegetación herbácea, zona urbana sin pavimentar	25	14	6
Cultivos limpios o de desmonte, zonas de quemas y áreas de explotación minera.	20	8	3

Con base en la tabla anterior se calificaron las diferentes unidades representadas en el mapa de cobertura y uso actual del suelo, en función de la pendiente del terreno, asociando cada unidad a una de las cuatro categorías de cobertura definidas en el SES. Así por ejemplo, en el último grupo clasificaron todas las zonas sin cobertura (S) y sus asociaciones y cuerpos de agua (W).

5.2.5 Clima (C)

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 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.

000038

La zonificación del parámetro lluvia se realizó con base en el análisis de la relación lluvia - deslizamiento. Se determinó la lluvia crítica representativa y su periodo de retorno correspondiente de cada una de las estaciones pluviométricas analizadas, en función de los eventos o deslizamientos ocurridos en la vecindad de las mismas. En el informe hidrológico se muestra en detalle el procedimiento y resultados del análisis de lluvia crítica.

Para el método SES se empleó el periodo de retorno de la lluvia crítica 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.

Entonces, la cuantificación del parámetro clima se definió como se muestra en la Tabla No 16:

TABLA No 16 VALORACION PARAMETRO CLIMA

PERIODO DE RETORNO (ANOS)	CLASIFICACION	PUNTAJE
0 - 10	MUY ALTA	3
10 - 15	ALTA	9
15 - 20	MEDIA ALTA	19
20 - 25	MEDIA	26
25 - 30	BAJA	32
30 -	MUY BAJA	37

En la figura No 7 se muestra la distribución espacial de la zonificación por lluvia crítica. La zona más crítica se localiza en la parte alta de la de la vertiente de la localidad de Usaquén, las localidades de Santafé y Chapinero se encuentran clasificadas de influencia alta, Suba de influencia media y las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar con influencia entre media y baja.

5.2.6 Sismo (S)

La evaluación del parámetro de sismo, como factor contribuyente o detonante de fenómenos de remoción en masa se realizó tomando como partida la Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá (Ingeominas - U Andes). Ver figura No 8.

El área de estudio se localiza en las zonas de respuesta sísmica 1 y 2, lo que en el modelo semicuantitativo de evaluación de la amenaza (SES) representaba una sensibilidad muy baja. Para mejorar esta condición, se discriminó el área en función de los materiales involucrados, así: para los materiales rocosos, asumidos dentro del modelo SES como tipo (S1), se les asignó un puntaje de estabilidad de 8 puntos; para los materiales intermedios (S2) un puntaje de 4 y para los suelos residuales y transportados (S1) un puntaje de 1. Estos puntajes son coherentes con la asignación de puntajes del SES para sismo.

Es de anotar que en el inventario de procesos actuales no se identificó ningún deslizamiento disparado por sismo.

5.2.7 Erosión.

La evaluación de la erosión, como detonante en la generación de movimientos en masa, dentro del SES es un parámetro que requiere de ser ajustado según las características del área de estudio.

Dentro del proceso cartográfico de los diferentes mapas temáticos se identificaron zonas con procesos de erosión de diferentes características, gran parte por el efecto que produce la acción antrópica sobre el medio físico. Así se decidió definir un mapa temático erial, el cual contempla todas las áreas con evidencias de procesos erosivos.

La erosión como parámetro contribuyente en la generación de fenómenos de remoción en masa se evaluó a partir del mapa erial. El mapa temático fue el resultado del cruce de las zonas sin cobertura del mapa de Cobertura y Uso Actual, de los procesos de erosión (surcos, cárcavas, tierras malas y socavación) y áreas afectadas por movimientos en masa cartografiados en el mapa de procesos actuales, de las áreas urbanas sin pavimento, de intervención de rondas y de las áreas de explotación minera.

Tabla No 17 Asignación puntaje de estabilidad al mapa erial.

EROSION						
PROCESOS	**SURCOS**	**CARCAVAS**	**ZANJAS DE EROSION INTENSA**	**TIERRAS MALAS**	**SOCAVACION**	**SIN EROSION**
TEMAS	SS	CV	ZI	TM	SV	SE
PROCESOS	22	15	11	8	2	
SUELOS						
S1 - AR						32
S2		18				
CA / S3	24					
ANTROPICO						
Zvrs	28					
Zvns	28					
RONDAS						
Ro					6	
Ri					4	
Ru					7	
Rb						30
SIN EROSION						34

La asignación de puntajes se estableció con base en el conocimiento del área de estudio por parte de los evaluadores y ajustando los valores establecidos en el SES, para cada área identificada con procesos de erosión se le asignó el tipo de erosión predominante;a su vez, dentro de los intervalos de puntajes establecidos en el SES, se les asoció un puntaje característico, lo que permitió sensibilizar la evaluación.

La Tabla No 17, muestra la asignación del tipo de erosión representativo a cada una de las zonas antes mencionadas. Por ejemplo, las áreas de uso minero y zonas urbanas sin pavimentar se asociaron para efectos de la calificación de puntaje de estabilidad por erosión a zonas afectadas por surcos, las áreas afectadas por movimientos en masa como zonas de erosión concentrada (zanjones), y las rondas a erosión por socavación, que según el grado de intervención antrópica se calificaba con diferentes intensidades.

5.2.8 Factor Antrópico

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

Su evaluación, por su variada naturaleza, resulta difícil de estimar más si es de forma cuantitativa. Para el estudio de la amenaza por fenómenos de remoción en masa (FRM) la evaluación del efecto antrópico se realiza con base en el sistema semicuantitativo (cruce cualitativo de mapas), cuya valoración de los diferentes factores se realiza asignándoles valores de estabilidad relativos, según el grado de influencia del factor en la estabilidad de las laderas, a zonas consideradas con un grado de intervención similar (Millán, Lozano 1995). En el informe de Factor Antrópico se explican los objetivos, la justificación, el marco conceptual, el procedimiento y los resultados.

El mapa de factor antrópico generado establece zonas donde el efecto del hombre sobre el medio físico establece zonas con efectos de intensidad similar (áreas de conflicto). En su elaboración se consideran los procesos de consolidación urbana, como el manejo de aguas de suministro y servidas y la red vial, la ubicación geográfica de los asentamientos, y las actividades industriales como la explotación de materiales para la construcción y elaboración de productos (ladrillos, tejas, etc.) que por su dinámica se han incorporado gradualmente al área urbana al ser ocupadas las áreas de explotación con fines habitacionales.

En el análisis del Factor Antrópico se pretende evaluar los efectos como la sobrecarga, descarga, infiltración y la modificación del drenaje. A continuación se explican las variables utilizadas para hallar cada uno de estas.

Sobrecarga.
Para la sobrecarga de los taludes por acción del hombre se establece de las área de rellenos y las edificaciones. En el mapa de inventario de procesos actuales se cartografiaron los rellenos y las zonas de actividades mineras transformadoras, donde se presenta disposición, de estériles en forma aleatoria y sin ningún control técnico.

Descarga
La descarga de los taludes naturales se presenta en las excavaciones mineras, los cortes de las vías y cortes de edificaciones. Como la descarga de mayor magnitud y severidad se produce en las explotaciones mineras se tomaron las zonas de actividades mineras de carácter extractivo o extractivo-transformador.

Infiltración de Aguas
Uno de los aspectos que más aporta en el incremento del contenido de humedad en los materiales es el vertimiento de las aguas sanitarias en las partes altas de los cortes de canteras, a largo de las vías de los barrios sin consolidar y sobre las laderas de los cauces En las áreas de mayor antigüedad en el Distrito Capital, las redes de agua potable sufren rupturas debido al envejecimiento y desgaste por cavitación disparando fenómenos de remoción en masa o en otras ocasiones la acometida de la red permite la filtración constante de agua a presión que va alterando el material y produciendo cambios en su estructura.

Las áreas sin cobertura vegetal proporcionan gran cantidad de sedimentos que son arrastrados hacia las partes más bajas dificultando la evacuación de las aguas lluvias y sanitarias. Eventualmente ocasionan inundaciones que generan en forma puntual un alto grado de infiltración.

En algunos barrios sin consolidar o ubicados por encima de la cota de servicios públicos, los pobladores se abastecen de agua para el consumo interceptando la red matriz y transportándola a través de mangueras. Es muy normal que las mangueras sufran rupturas y que a lo largo de su recorrido estén constantemente aportando agua a los materiales.

Para evaluar el incremento de la infiltración por acción del hombre se establecen áreas según la forma de abastecimiento de agua potable y de manejo de aguas sanitarias. Para contemplar el incremento de infiltración de aguas lluvias se determina áreas según el tipo de cobertura y uso actual del suelo (áreas pavimentadas residencial, áreas sin pavimentar residencial, áreas pavimentadas de uso diferente al residencial y áreas sin pavimentar residencial de uso diferente al residencial).

Modificación del Drenaje
Las modificaciones del drenaje más severas se encuentran en las áreas mineras y urbanizadas, la intensidad de la modificación se establece de manera subjetiva y se clasifican en zonas de similar afectación.

Se define como ronda de un cauce, el área comprendida a lo largo del cauce sobre la cuál se desarrolla la dinámica fluvial y las áreas de protección del cauce, para los drenajes primarios se les atribuye una zona de 30 metros a lado y lado del cauce y a los demás se les asigna un corredor de 15 metros a la cota margen. Con la información obtenida en campo y de manera indirecta se clasificaron estas áreas según el grado de modificación del drenaje.

5.2.8.1 Explotaciones Mineras

Las áreas de explotación minera constituyen las fronteras urbanas en el proceso de ampliación urbanística, proceso que es dinámico en la medida que muchas de ellas son incorporadas al área urbana y transformado su uso; para simultáneamente transformar áreas de uso agrícola en minero y proseguir el proceso de ampliación del área urbana.

Las áreas de explotación minera actuales y abandonadas ocupan 23 Km^2 de los 189 Km^2 área del estudio, es decir que el 12% de la zona esta siendo afectada o ha sido afectada por la actividad minera.

Durante el Inventario de Procesos Actuales se identificó que existe una relación directa entre las zonas de explotaciones mineras y la ocurrencias de procesos debido a que los cortes tienen descargas de aguas en las partes superiores que junto a las pendientes elevadas y al alto grado de fracturación del material se presentan caídas y deslizamientos de roca y suelo. Además la disposición de los estériles y los botaderos inadecuados crean áreas con una alta probabilidad de fallar y que usualmente son utilizados para asentamientos humanos.

Los taludes dejados por estas explotaciones, los drenajes impedidos, la eliminación de la cobertura vegetal, la disposición de estériles y los rellenos realizados hacen de éstas áreas muy susceptibles a desarrollar procesos como caídas de rocas, flujos y deslizamientos; las industrias transformadores o mixtas (ladrilleras, tubos de gres, tejas.) dejan gran cantidad de botaderos de estériles que generalmente son inestables.

Dentro de la valoración del grado de afectación del hombre sobre el medio físico se tomo los siguientes criterios para clasificar las explotaciones mineras según con su grado de afectación y la probabilidad que presente fenómenos de remoción en masa.

- Las explotaciones inactivas donde sus frentes han permanecido durante un tiempo sin arranque de material presentan una mayor propensión a desarrollar procesos de remoción en masa debido a las descargas de agua en la parte superior, a la erosión y meteorización de las rocas expuestas a la intemperie, a la fracturación intensa por las formas de arranque de material (explosivos) y a que muchos métodos de explotación a cielo abierto se hace por medio de derrumbe dirigido (en el mismo sentido del buzamiento de las capas). Aunado a que no existen planes de recuperación de las áreas de explotación minera para otro uso sino que generalmente se adecua antitécnicamente para viviendas, excepto en las áreas de viviendas de estratos altos.

- Las explotaciones que tienen carácter extractivo-transformador y transformador generan una gran cantidad de estériles de materia prima y semielaborada, que por lo general son dejados en botaderos inadecuados. Además de crear empozamientos de agua para la elaboración de ladrillo, teja, etc. y que al ser abandonados generan sitios de saturación y flujos subsuperficiales que afectan a las áreas bajas de dichas explotaciones.

- Las explotaciones antiguas cuyo uso se ha transformado al residencial e incluso se presenta también como mixto, presentan más afectación debido a los cortes y rellenos antitécnicos hechos para la adecuación de vivienda, el trazado de vías internas, la acometida de las redes de acueducto y alcantarillado o el transporte de agua potable en mangueras.

Para clasificarse se otorgo símbolos a cada uno de ellas. Los símbolos utilizados definen en las dos primeras letras el estado actual y las dos últimas el tipo de actividad minera. Tabla No 18.

TABLA No.18 SIMBOLOGIA PARA EXPLOTACIONES MINERAS

ESTADO ACTUAL				**ACTIVIDAD MINERA**	
Activa	A	Urbanizada	U	Extractiva	e
Inactiva	I	Sin Urbanizar	N	Extractiva-Transformadora	et
Ocasional	O	Recreacional/Botadero	R	Transformadora	t

Ejemplo: Una explotación minera abandonada urbanizada extractiva transformadora tendría el siguiente símbolo:

IUet

Teniendo en cuenta lo anterior se hizo una matriz de decisión donde el puntaje máximo es 10, que corresponde a un área de explotación minera abandonada urbanizada extractiva transformadora (IUet) y el valor 0 a las activas sin urbanizar extractivas (ANe).

En la Tabla No.19 se exponen las matrices de decisión para Explotaciones Mineras y la Figura No.8 gráfica la distribución de la cualificación de las Explotaciones Mineras.

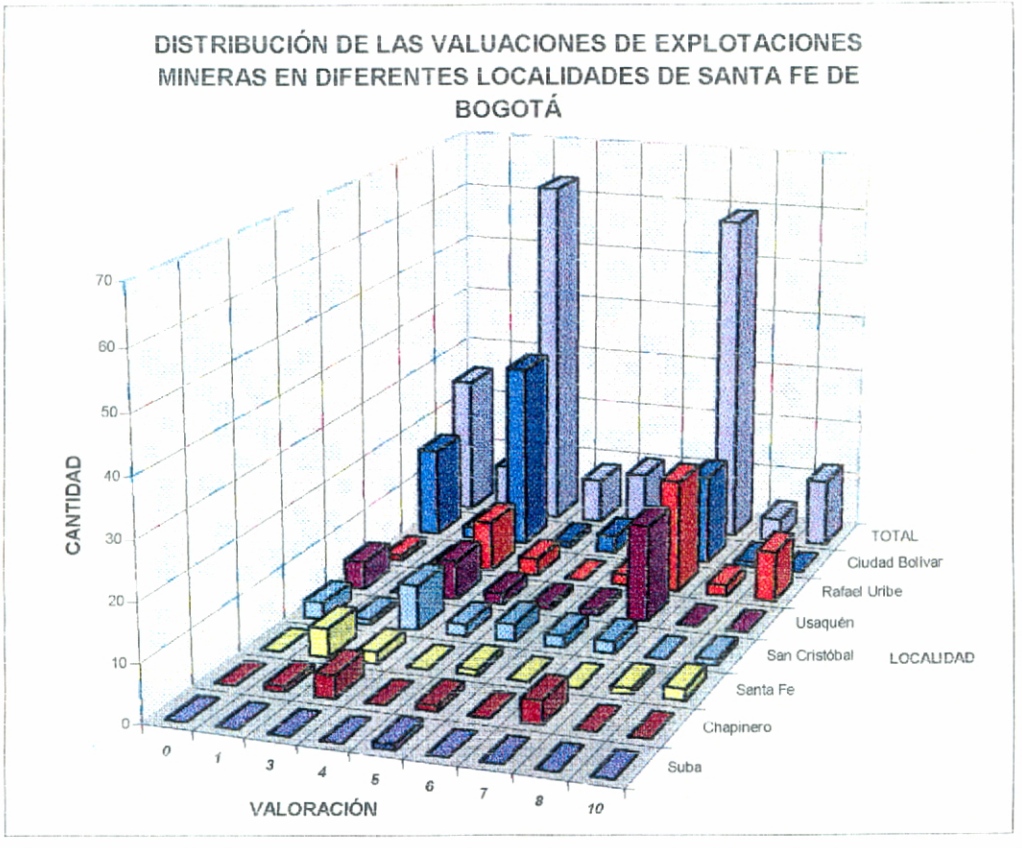
TABLA No.19 MATRIZ VALORACION ACTIVIDAD MINERA

Estado Actual / Actividad Minera	ACTIVA (A) = 2			OCASIONAL (O) = 3			ABANDONADA (I) = 5		
	Urbanizada (U) 5	No Urbbanizada (N) = 1	Recreación / Botadero (R) 3	Urbanizada (U) 5	No Urbbanizada (N) = 1	Recreación / Botadero (R) 3	Urbanizada (U) 5	No Urbbanizada (N) = 1	Recreación / Botadero (R) 3
Extractiva (e) = 2	AUe = 4	ANe = 0	ARe = 2	OUe = 5	ONe = 1	ORe = 3	IUe = 7	INe = 3	IRe = 5
Transformadora (t) = 3	AUt = 5	ANt = 1	ARt = 3	OUt = 6	ONt = 2	ORt = 4	IUt = 8	INt = 4	IRt = 6
Extractiva Transformadora (et) = 5	AUet = 7	ANet = 3	ARet = 5	OUet = 8	ONet = 4	ORet = 6	IUet = 10	INet = 6	IRet = 6

5.2.8.2 Suministro de Agua Potable

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Santa Fe de Bogotá, EAAB, tiene como área de prestación de servicios públicos la que se encuentra por debajo de la cota 2720 m.s.n.m. Algunos de los barrios en proceso de legalización o de consolidación se encuentran fuera de esta área, abasteciéndose de agua potable a través de carrotanques, manantiales y conexiones clandestinas a la red matriz; incluso existen barrios que tienen la acometida de la red de agua potable pero sin líquido (Barrio Paraiso - Ciudad Bolivar).

Figura No 8.



000944

La elaboración del mapa temático se realizó con base a la información existente en forma digital de las redes de la EAAB y el trabajo de campo realizado por INGEOCIM durante los meses de Julio y Agosto del presente año.

La determinación de las diferentes áreas se baso en los siguientes criterios:
- Existencia de redes de agua potable,
- Tipo de redes y
- Densidad de redes.

Se establecieron cinco (5) unidades que definen zonas de diferentes características en las redes y diferente forma de adquisición de agua potable. La cualificación de las diferentes unidades se llevo a valores de 1 a 10, atribuyéndose los siguientes puntajes paraca cada una de las zonas:

TABLA No. 20. CUALIFICACION DE LAS AREAS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE

SIMBOLO	CUALIFICACION	LEYENDA
Zaac	10	Zonas urbanas de uso principalmente residencial con redes de acueducto comunitario.
Zaof	6	Zonas urbanas de uso principalmente residencial con redes de acueducto oficial.
Zanr	4	Zonas urbanas de uso diferente al residencial con redes de acueducto oficial
Zasa	2	Zonas de uso principalmente residencial sin redes de acueducto
Zar	0	Zonas rurales y zonas urbanas de reserva forestal que no poseen red de acueducto.

5.2.8.3 Recolección de Aguas Sanitarias

El proceso de urbanización trae consigo un volumen adicional de agua proveniente de las actividades básicas de los humanos (aseo y comida) cuya disposición varía de acuerdo a la capacidad adquisitiva de los pobladores. En sociedades donde este nivel es alto, las aguas servidas no representan un problema mayor para la inestabilidad de los taludes y para el medio ambiente.

Las áreas habitadas que no se encuentran dentro del casco urbano, el manejo de las aguas servidas depende del nivel de organización de las comunidades. Es frecuente la existencia de barrios con alcantarillado comunitario colindando con barrios sin ningún manejo de las aguas servidas.

Las zonas donde no existen redes de alcantarillado, las aguas corren libremente alcanzando las partes bajas o vertiéndose en la parte superior de las laderas de los cauces y en los cortes de explotación y de vías; saturando los suelos, lavando los materiales y creando presiones en el macizo rocoso.

Las redes de alcantarillado comunitario presentan problemas técnicos en los empates, la capacidad hidráulica, la acometida y el mantenimiento presentando filtraciones y rupturas en las redes.

000045

Las redes de alcantarillado oficial se ven constantemente afectadas por el alto grado de sedimentación de las áreas sin cobertura vegetal (explotaciones mineras y zonas urbanizadas sin pavimentar) las cuales se taponan e impiden la fácil evacuación de las aguas, incluso se presenta reflujo en algunas áreas. Algunas de las zonas incorporadas al casco urbano incorporan el alcantarillado comunitario a la red oficial, presentándose problemas de rupturas y filtraciones.

Los criterios utilizados para definir las unidades de trabajo para el alcantarillado sanitario fueron: existencia de redes, tipos de redes y densidad de redes. Se establecieron cinco (5) unidades, la cualificación de las diferentes unidades se llevo a valores de 1 a 10, determinándose los siguientes puntajes.

TABLA No. 21 CUALIFICACION DE LAS AREAS DE RECOLECCION DE AGUAS SANITARIAS

SIMBOLO	CUALIFICACION	LEYENDA
Zsus	10	Zonas urbanas de uso principalmente residencial sin redes de alcantarillado
Zusc	8	Zonas urbanas de uso principalmente residencial con redes de alcantarillado comunal
Zsof	5	Zonas urbanas de uso principalmente residencial con redes de alcantarillado oficial
Zsnr	4	Zonas urbanas de uso diferente al residencial (institucional, recreacional)
Zsr	0	Zonas rurales o zonas urbanas de reserva forestal sin red de alcantarillado.

muy discutible

5.2.8.4 Estado de las vías

En las áreas urbanas, el volumen de las aguas lluvias que se infiltran esta estrechamente relacionada con las condiciones, la pendiente y la densidad de las vías. Los procesos de urbanización reducen a las vías el área sobre el cual las aguas lluvias corren libremente, en zonas donde las vías están pavimentadas la infiltración tiende a 0 (vías en buen estado) y en las vías donde están sin pavimentar el mayor volumen de infiltración se presenta en las áreas donde cambia la pendiente topográfica, en las zonas de mayor pendiente el agua principalmente se escurre sobre las superficies desnudas erosionándolas

Los criterios utilizados fueron el uso actual del suelo y el porcentaje de vías pavimentadas. Se determinaron las siguientes seis (5) unidades de zonas de tipos de vías, la cualificación de las diferentes unidades se llevo a valores de 1 a 10, determinándose los siguientes puntajes.

000043

TABLA No. 22. CUALIFICACION DEL ESTADO DE LAS VIAS

SIMBOLO	CUALIFICACION	LEYENDA
Zvrs	10	Zonas urbanas de uso principalmente residencial, donde el 80 % o más de las vías se encuentran sin pavimentar.
Zvns	8	Zonas urbanas de uso diferente al residencial, donde más del 80% de las vías se encuentran sin pavimentar
Zvnp	6	Zonas urbanas de uso diferente al residencial, donde menos del 20% de las vías se encuentran sin pavimentar
Zvrp	2	Zonas urbanas de uso principalmente residencial, donde menos del 20 % de las vías se encuentran sin pavimentar
Zvr	0	Zonas rurales

5.2.8.5 Intervención de rondas

La intervención de las rondas de las quebradas en forma parcial o total modifica el drenaje creando empozamientos, áreas húmedas, reducción de la capacidad hidráulica e intensificación de la socavación vertical.

Las rondas fueron clasificadas según el tipo de intervención y el uso y cobertura del suelo, presentándose cuatro (4) unidades, en orden de mayor a menor grado.

TABLA No. 23. CUALIFICACION DE LAS AREAS DE INTERVENCION DE RONDAS

SIMBOLO	CUALIFICACION	LEYENDA
Ro	10	Obstrucción del cauce de las quebradas por botaderos de basura, estériles de minería y desechos de construcción. Intervención Muy alta
Ri	8	Invasión de la ronda y el cauce de las quebradas para uso residencial, recreativo, minero, vial e institucional. Intervención Alta
Ru	4	Rondas y cauces moderadamente intervenidos por botaderos, en áreas urbanas de uso diferente al residencial. Intervención Media
Rb	1	Rondas y cauces de las quebradas poco intervenidas en áreas no urbanas cubiertas de bosques, rastrojo alto y pastos. Intervención Baja

5.2.8.6 Cualificación del parámetro Factor Antrópico

Teniendo en cuenta el grado de severidad de las diferentes actividades humanas sobre el medio fisico se planteo el siguiente orden de prioridades:

- Explotaciones mineras
- Recolección de aguas servidas
- Intervención de rondas y cauces
- Estado de las vías
- Suministro de agua potable

Y se aplicaron 2 matrices de decisión, de las cuales se obtuvieron cuatro (4) tipos de evaluaciones. Las matrices utilizadas fueron:

TABLA No. 24. MATRIZ DE DECISION # 1

	EXPLOTA-CIONES MINERAS	RECOLECION DE AGUAS SANITARIAS	INTERVEN-CION DE RONDAS	ESTADO ACTUAL DE LAS VIAS	SUMINISTRO DE AGUA POTABLE
EXPLOTACIONES MINERAS	1	1.5	2	2.5	3.0
RECOLECION DE AGUAS SANITARIAS	2/3	1	1.5	2.0	2.5
INTERVEN-CION DE RONDAS	1/2	2/3	1	1	2.0
ESTADO ACTUAL DE LAS VIAS	2/5	1/2	1	1	1.5
SUMINISTRO DE AGUA POTABLE	1/3	1/5	1/2	2/3	1

TABLA No. 25. MATRIZ DE DECISION # 2

	EXPLOTA-CIONES MINERAS	RECOLECION DE AGUAS SANITARIAS	INTERVEN-CION DE RONDAS	ESTADO ACTUAL DE LAS VIAS	SUMINISTRO DE AGUA POTABLE
EXPLOTA-CIONES MINERAS	1	2.0	3.0	4.0	5.0
RECOLE-CION DE AGUAS SANITARIAS	1/2	1	1.5	2.0	2.5
INTERVEN-CION DE RONDAS	1/3	2/3	1	4/3	5/3
ESTADO ACTUAL DE LAS VIAS	1/4	1/2	3/4	1	5/4
SUMINISTRO DE AGUA POTABLE	1/5	2/3	3/5	4/5	1

Las dos (2) matrices suman los puntajes según el tipo de mapa temático, es decir a menor puntaje menor afectación antrópica. Se evalúo estadísticamente la distribución de la frecuencia de las áreas con un mismo puntaje obteniéndose que la matriz de decisión # 2, en su columna derecha daba una distribución más normal. La intersección de los 5 mapas temáticos del factor antrópico con la matriz seleccionada produjo aproximadamente 6.000 polígonos con una variación del puntaje entre 0 y 90.83, Según la evaluación semicuantitativa se definió un puntaje máximo de 50 puntos, para ello se hizo un ajuste del puntaje anterior estableciéndose los siguientes rangos:

000043

TABLA No. 26. RANGOS DEL GRADO DE AFECTACION ANTROPICA

	INTERVALO	CUALIFICACION DE AFECTACION	PUNTAJE DE ESTABILIDAD	CATEGORIA
1	0.00 - 7.26	3.60	48	A
2	7.26 - 14.53	10.89	45	B
3	14.53 - 22.32	18.40	41	C
4	22.32 - 30.11	26.20	37	D
5	30.11 - 37.90	34.00	33	E
6	37.90 - 45.69	41.70	29	F
7	45.69 - 53.48	49.60	25	G
8	53.48 - 61.27	57.30	21	H
9	61.27 - 76.05	68.66	16	I
10	76.05 - 90.84	83.44	8	J

6. EVALUACION 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), Relieve (R), Drenaje (D) y Vegetación (V), considerados como parámetros intrínsecos, se obtuvo un mapa semicuantitativo de zonas homogéneas de estabilidad.

La superposición a las zonas homogéneas con los agentes detonantes: Clima (C), Sismo (S), Erosión (E) y Factor antrópico (A), permitió establecer una zonificación en términos de categorías de estabilidad.

Los intervalos de la calificación de estabilidad (CE) de cada parámetro o mapa temático, establecidos en el estudio son:

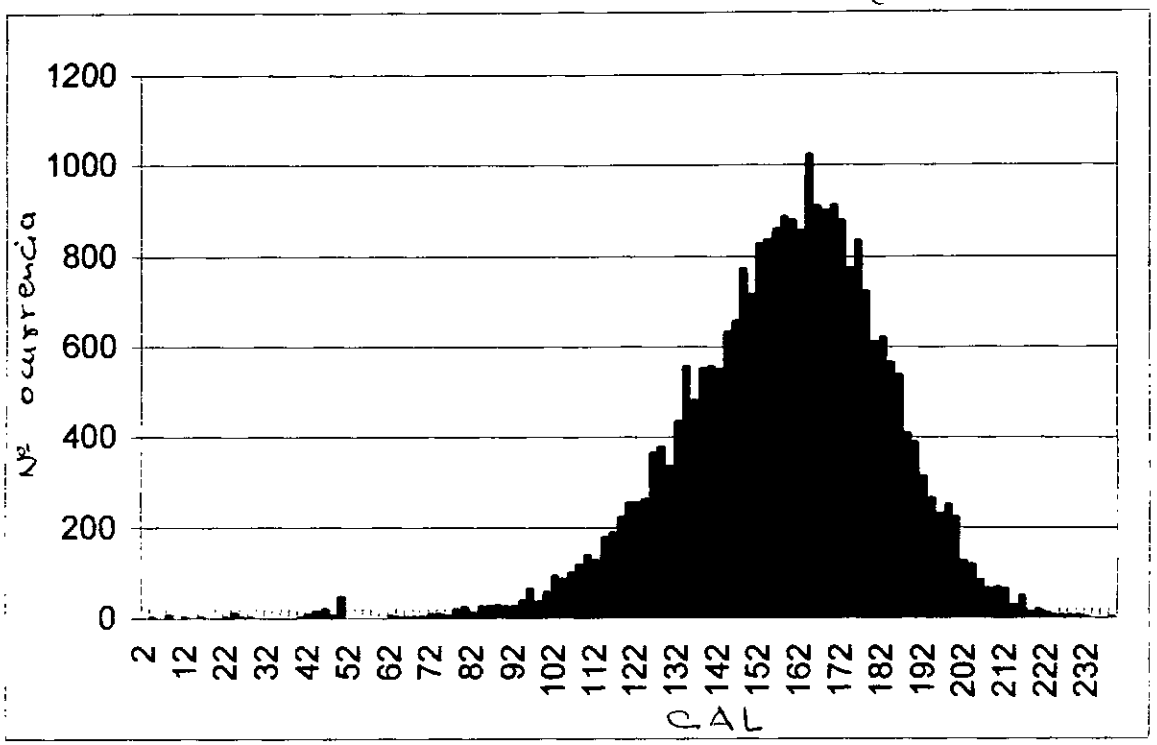
PARAMETRO	SIMBOLO	PUNTAJE	
		MAXIMO	MINIMO
MATERIAL	M	50	1
RELIEVE	R	34	6
DENSIDAD DE DRENAJE	D	35	6
VEGETACIÓN	V	32	3
EROSION	E	35	2
CLIMA	C	40	3
SISMO	S	24	0
ACTOR ANTROPICO	A	50	2
CALIFICACION DE ESTABILIDAD		300	23

La categoría de estabilidad en términos de niveles de Amenaza en función de la calificación de estabilidad, definida como la sumatoria ponderada de los valores de estabilidad asignados a cada parámetro (Numeral 5), se estableció a partir del análisis de frecuencias de la calificación de estabilidad, asignada a cada polígono resultante del cruce de topología de los mapas temáticos.

El resultado del análisis de frecuencias se presenta en la Figura 9, donde se puede observar una distribución de tipo normal, con valores extremos de calificación de estabilidad entre 4 y 237, con un valor promedio de 157, media 159, desviación estándar de 25 y moda 163. Los valores menores

a 23 corresponden a errores de tipología que no se tiene en cuenta en los análisis y que por lo general corresponden a polígonos con áreas muy pequeñas.

Figura No. 9. Distribución de frecuencias de qué? de CAL



Así. Las categorías de Amenaza se establecen en los siguientes intervalos:

TABLA No. 27. RANGOS DE CATEGORIZACION DE AMENAZA

CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACION DE ESTABILIDAD (CAL)
Muy Alta	CAL ≤ 126
Alta	126.5 < CAL < 151
Media	151.5 < CAL < 177
Baja	177.5 < CAL < 202
Muy Baja	202 < CAL

La distribución areal de las categorías de Amenaza para cada localidad y para el área de estudio se muestran en la Figura 10. Arealmente se presenta un sesgo en la distribución de frecuencias hacia la derecha, lo cual corresponde a la influencia de las zonas rurales con niveles bajos de intervención antrópica en la evaluación de estabilidad semicuantitativa.

Las áreas categorizadas con niveles de amenaza alta y muy alta corresponden al 10 % del área total de estudio (388 Hectáreas), incluyendo el relleno de Doña Juana categorizada como área de amenaza muy alta. El 70 % área se clasifica con niveles de amenaza baja a muy baja y el 20% restante como media.

25 125
159

Las localidades de Ciudad Bolívar y Usaquén presentan el mayor porcentaje de áreas categorizadas con amenaza alta y muy alta, correspondiendo a las zonas donde la intervención antrópica es intensa, esto último debido a la existencia de explotaciones mineras y la invasión e intervención de rondas.

Mientras, Santafé y Chapinero presentan zonas categorizadas como amenaza alta y muy alta en un 11% de su área total, que se asocia a una condición de estabilidad natural, justificada por su ubicación geográfica en la zona de piedemonte y por consiguiente la presencia de depósitos cuaternarios y a su vez la influencia de la falla de Bogotá. Además, en la zonificación por lluvia crítica se cataloga como la zona más desfavorable desde el punto de vista estabilidad por acción de las lluvias.

En contraste las localidades de Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal y Suba presentan un alto porcentaje de área categorizada en niveles de amenaza baja y muy baja (mayor al 80%); esto asociado especialmente a su morfología, con pendientes moderadas desarrolladas sobre rocas blandas arcillosas, y al hecho de que son áreas con un proceso avanzado de consolidación urbana, que actúa como elemento positivo al mejorar las condiciones de estabilidad del terreno.

En general, el mapa resultante presenta una correlación aceptable con las zonas donde en la actualidad se presentan fenómenos de remoción en masa. Así, zonas categorizadas con niveles de amenaza alta y muy alta corresponden con las áreas que presentan evidencias actuales de inestabilidad. Estas áreas se localizan, preferencialmente, en las zonas de explotación minera y rondas de los cauces.

000051

BIBLIOGRAFIA

BISHOP, A.W. (1967). - Progressive Failure - with Special Reference to the Mechanism Causing It.- Panel Discussion -Proceedings Geotechnical Conference - Oslo, Vol 2, pp.142-150, 1967

BISHOP, A.W. (1973). - The Stability of Tips and Spoil Heaps.- Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.6, pp. 335-377.

BJERRUM, L. (1967). - Progressive Failure in Slopes of Overconsolidated Plastic Clay and Clayey Shales.- Journal SMFD, ASCE, Vol 93, SM5, pp.3-49.

CARDONA A., O. D. (1988). - Estudios de Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo Sísmico: Planificación Física y Urbana en Areas Propensas.- 2a. Conferencia sobre Riesgos Geológicos en el Valle de Aburrá - Memorias.- INGEOMINAS, Soc. Col. Geolog., U. Eafit, Soc. Ant. de Ing.- Medellín, Agosto de 1988

CARO P., P.; GARCIA N., J. (1989). - Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá.- INGEOMINAS.- I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol. I, pp. 587-606, Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989

CASTELLANOS, R., GONZALEZ A.J. (1997). - Algunas Relaciones de Precipitación Crítica - Duración que Disparan Movimientos en Masa en Colombia - 2o. Simposio Panamericano de Deslizamientos - Vol. 2 pp. 863-878 - ABMS - Rio de Janeiro, Noviembre 1997.

CORTES D., R. (1989). - Clasificación de Zonas Geotécnicamente Homogéneas.- I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol.I, pp. 56 - 75, Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989

EAAB- IRH (1995). - Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá - Volumen I - Informe General - Noviembre 1995

GONZALEZ G., A.J. (1974) - Safety Factors: a Conceptual Review - Unpublished M.Sc. Thesis - Imperial College - University of London - 1974

GONZALEZ G., A.J. (1989a). - Una Relación Directa entre la Resistencia al Corte y el Criterio de Taludes de Shuk.- I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol. I, pp. 333- 341, Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989

GONZALEZ G., A.J. (1990a) - Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos - VI Jornadas Geotécnicas- SCI - Memorias - Tomo I, pp. 153-170, Bogotá, Octubre 1990.

GONZALEZ G., A.J. (1990b) - Metodología para Evaluación de Riesgo por Deslizamientos a Nivel Intermedio- VI Jornadas Geotécnicas- SCI - Memorias - Tomo II- Bogotá, Octubre 1990.

GONZALEZ G., A.J. (1992) - Avalanche Risk Evaluation at Utica - Colombia - Primer Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) - Memorias pp. 356-378- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Bogotá, Abril 1992

INGEOMINAS (1995). - Evaluación Preliminar de Susceptibilidad y Amenaza en las Localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, Usme y San Cristóbal de Santafé de Bogotá D.C. - Octubre, 1995

INGEOMINAS-UNIANDES (1997). - Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá - 1 Vol.- 3 planos - Bogotá, 1997

LOBO-GUERRERO U., A. (1992). - Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana -

MILLAN, J., LOZANO J. (1995). - Evaluación de Estabilidad y Análisis de Susceptibilidad Geotécnica a Fenómenos de Remoción en Masa del Sector de Ciudad Bolívar - VIII Jornadas Geotécnicas - pp. 174-201- SCI-SCG- Octubre 1995

MILLAN, J., LOZANO J. (1996). La Erosión en los Estudios de Zonificación de Areas urbanas por Fenómenos de Remoción en Masa. - VI Congreso Colombiano de Geotecnia, Bucaramanga.

MILLAN, J., LOZANO J. (1997). - La Contrastación de Mapas en la evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa. - IX Jornadas Geotécnicas - Sociedad Colombiana de Ingenieros, Santafé de Bogotá.

RAMIREZ, F.; GONZALEZ G., A.J. (1989).- Evaluación de Estabilidad para Zonas Homogéneas.- I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol. I, pp. 174- 192, Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989

SCHUSTER, R.L., Ed. (1986). - Landslide Dams: Processes and Mitigation.- Geotechnical Special Technical Publication STP No. 3- ASCE, 1986

SCHUSTER, R.L. (1989). - Management of Lanslide Hazards - Conferencia Principal Invitada - Sesión IV - I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol. I, pp. 555-586 , Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989

SHUK E., T. (1968). - Un Método Sencillo de Diseño para Minimizar el Costo de Taludes en Roca.- Primer Simposio de Ingeniería Geológica, Vol. II, MOPT-SCI, Bogotá, 1968

SHUK E., T. (1970). - Optimization of Slopes Designed in Rock.- Proceedings 2nd. Intl. Congress on Rock Mechanics.- Vol. 3. - Paper 7-2- pp. 275-280.-ISRM, Beograd,

SHUK E., T. (1989). - Aproximación a Dos Aspectos del Costo de Falla de Taludes: Magnitud y Tiempo.- I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol.I, pp. 726 - 743, Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989

SHUK E., T. (1990). - La Evolución y el Estado Actual de la Metodología Basada en Taludes Naturales para Análisis de Estabilidad en Masas de Materiales Geológicos - Parte I- III Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas, SVMSIF, Caracas, Octubre de 1990.

SHUK E., T. (1997). -Metodología de Taludes Naturales (MTN) - Principios y Aplicaciones - Manuscrito en proceso - Sociedad Colombiana de Geotecnia.

SHUK E., T.; GONZALEZ A.J. (1993a). - Quantification of Slope Instability Risk and Cost Parameters for Geotechnical Applications in a Highway Project and in a Regional Study - ICOSSAR'93 (Sixth Intl. Conference on Structural Safety and Reliability) - Vol. 3, pp. 2025-2032 - Innsbruck - Ausgust 1993- A.A.Balkema

000053

SKEMPTON, A.W. (1964). - The Long-Term Stability of Clay Slopes - Rankine Lecture - Geotechnique, Vol.14 No. 2 pp. 75-102.

SKEMPTON, A.W. (1985). - Residual Strength of Clays in Landslides, Folded Strata and the Laboratory.- Geotechnique, Vol. 35,No.1 p. 3-18

VAN WESTEN,C.J. (1989).- ITC-UNESCO Project on G.I.S. for Mountain Hazard Analysis-I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol. I, pp.214-224, Sociedad Colombiana de Geotecnia.-Paipa,Agosto de 1989

VARNES, D.J. (1984). - Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice.- UNESCO, París, 1984

Alcaldía Mayor
de Santa Fe de Bogotá, D.C.

INGEOCIM Ltda.
Ingenieros Consultores

UPES *FOPAE*

Unidad de Prevención y Atención de Emergencias
Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias

EVALUACION DE AMENAZA

PARTE II

000055

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION 53
1.1 OBJETIVO 53
1.2 METODOLOGIA DE TALUDES NATURALES (MTN) 53
1.2.1 Generalidades 53
1.2.2 Análisis Tradicionales y la Metodologia de Taludes Naturales 53
1.2.3 Principios Básicos de la Metodología de Taludes Naturales (MTN). 53
1.2.4 Procedimientos Generales de Medición 54
1.2.5 Cálculo de Parámetros 55
1.2.6 Análisis Probabilísticos de Estabilidad. 56
1.2.7 Limitaciones de la MTN 56
2. METODOLOGIA DEL ESTUDIO 57
2.1 ITEMS DE INFORMACION EMPLEADOS 57
2.2 MEDICION DE LAS FAMILIAS DE TALUDES NATURALES 57
2.2.1 Método de Medición 57
2.2.2 Proceso de Medición Inicial 57
2.2.3 Proceso Final 58
2.3 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD INCONDICIONAL 59
2.3.1 Datos No Considerados 59
2.3.2 Regresión 60
2.3.3 Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla Incondicionales 60
2.3.4 Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla Incondicionales para las Familias No Consideradas en la Regresión 61
2.4 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD CON SISMO 62
2.4.1 Asignación de Aceleraciones Sísmicas 62
2.4.2 Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla 62
2.5 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD CON LLUVIA 63
2.5.1 Procedimiento 63
2.5.2 Asignación de Valores de CN, Lluvias y Períodos de Retorno 64
2.5.3 Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla 64
2.6 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD CON SISMO Y LLUVIA 12
2.7 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD TOTAL 66
2.7.1 Probabilidad Total 66
2.8 EFECTO ANTROPICO 66
3. MAPA DE AMENAZAS Y LIMITACIONES 67
3.1 Escogencia de Intervalos de Factor de Seguridad Relativo para Amenaza 67
3.2 Escogencia de Periodo de Análisis para el Mapa de Amenaza Relativa 68
3.3 Resultado del Análisis 68
3.4 Limitaciones 68
REFERENCIAS 70

000056

LISTA DE TABLAS

TABLA No. 1. Registro de Familias Medidas por Localidad
TABLA No. 2. Distribución de Familias por localidad
TABLA No. 3. Familias No Consideradas Para La Regresión
TABLA No. 4. Familias Consideradas Para La Regresión
TABLA No. 5. Valores de Cn Para Cálculo De Infiltración
TABLA No. 6. Resumen del Análisis de Amenaza

PARTE II

METODOLOGIA DE TALUDES NATURALES - MTN

1. INTRODUCCION

1.1 OBJETIVO

Este informe presenta los resultados del estudio de amenaza geotécnica efectuado por medio de la Metodología de Taludes Naturales (MTN) para el estudio de Zonificación de Riesgos por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá.

1.2 METODOLOGIA DE TALUDES NATURALES (MTN)

1.2.1 Generalidades

Como se consignó en la Metodología del Estudio, como parte del estudio de amenazas por inestabilidad del terreno, se emplea la Metodología de Taludes Naturales, desarrollada por el Ingeniero Tomás Shuk, la cual ha sido usada con éxito en análisis de estabilidad de taludes de tipo regional, en obras lineales y para estudios de avalanchas.

1.2.2 Análisis Tradicionales y la Metodologia de Taludes Naturales

Los análisis tradicionales para estudio de taludes existentes, consisten básicamente en hacer numerosos análisis de estabilidad (lo que presupone exploración y ensayos de manera intensa), con los consiguientes elevadísimos costos, o en graficar la altura contra el ángulo del talud o contra la tangente de éste, y de allí tratar de deducir, conocidos los taludes estables e inestables, una línea de diseño. Estas metodologías son ampliamente superadas por la MTN.

La Metodología de Taludes Naturales (MTN), se basa en el principio que dice "la propia Naturaleza es el mejor laboratorio posible" y ha sido desarrollada por el Ingeniero colombiano Tomás Shuk E.La Metodología de Taludes Naturales (MTN) permite, además de evaluar la estabilidad, deducir, entre otras cosas, parámetros de presurización (Ru), de densidad y de resistencia (c,ø) de los taludes, tanto a nivel de masa como de elemento constitutivo, en este último caso para los dos últimos tipos de parámetros.

1.2.3 Principios Básicos de la Metodología de Taludes Naturales (MTN).

El principio básico consiste en que una familia de mediciones de los valores de H (altura en metros) y L (longitud correspondiente, también en metros), en segmentos de una ladera compuesta de materiales homogéneos en origen y composición, se encuentran ligadas por la relación funcional básica:

$$H = A (L)^{b} \qquad (1)$$

000053

función denominada por Shuk (1990) como Envoluta Actual, la cual posee siempre un alto coeficiente de correlación (r>0.95), en la gran mayoría de los casos tiene b<1 y representa el perfil promedio de la superficie de la masa térrea. Debido a que esta superficie es la interface del material térreo con su entorno ambiental, por razones físicas y termodinámicas debe estar, en promedio, en equilibrio dinámico con este ambiente en que está inmersa.Por esta razón Shuk (1968,1970,1995) postula que esta línea de regresión debe corresponder a un factor de seguridad de 1.0 o lo mismo a una probabilidad de falla del 50%.

En consecuencia, en una ladera de material homogéneo, aquellos tramos con alturas superiores al promedio tenderán a ser más inestables que aquellos que tengan alturas inferiores al mismo promedio y de allí es posible deducir tanto los factores de seguridad como las probabilidades de falla de segmentos de esa ladera de material homogéneo.Adicionalmente, en toda ladera hay valores máximos de H y L, denominados valores límites (HLD y LLD), los cuales determinan un ángulo límite βLD (Tan βLD = HLD/LLD), valores que se transforman, para hacerlos pertenecer a la Envoluta Actual de regresión, en los valores HLF, LLF y Tan βLF, bastante similares a los originales.

Dado el equilibrio de la ladera con su entorno, hay relación directa entre los parámetros del perfil (A,b) y los valores límites transformados (HLF,LLF,βLF), con las propiedades geomecánicas del material y su estado de esfuerzos. Partiendo de esta base y por medio de correlaciones complejas entre una serie de envolutas hipotéticas desarrolladas a partir de la envoluta actual, Shuk (1990,1995) en una forma iterativa ha llegado a un método totalmente novedoso para deducir las propiedades geomecánicas y el estado de esfuerzos de las masas de materiales térreos, el cual se ha ido calibrando paulatinamente con ensayos de laboratorio y análisis de comportamiento de los materiales naturales.

No sobra advertir que la confiabilidad de los resultados obtenidos con esta novedosa técnica corresponde a la fidelidad del mapa topográfico empleado y que por lo tanto si el mapa topográfico no es lo suficientemente veraz , tampoco lo serán los parámetros obtenidos de él.

Volviendo a la Envoluta Actual, si se colocan los valores límites (HLD,LLD) de varias familias pertenecientes a una misma formación geológica (las cuales constituyen una población) la relación funcional vuelve a cumplirse, aunque con coeficientes de correlación algo más bajos, lo cual indica la propiedad fractal de la relación funcional. Sin embargo en este caso la situación de estabilidad se invierte: dentro de la población las alturas límites superiores al promedio no indican tendencia a la inestabilidad sino todo lo contrario, pues pertenecen a materiales que, en equilibrio, son relativamente más resistentes que aquellos con alturas menores al promedio de la población.

Este principio puede extenderse a familias de diferentes formaciones geológicas, sometidas a condiciones ambientales similares, grupos isoambientales de poblaciones que conforman un universo de familias.

1.2.4 Procedimientos Generales de Medición

Para cada ladera escogida dentro de un mismo material y delimitada morfológicamente, se toman a la escala más apropiada (preferentemente 1:10.000 como mínimo), valores de H y L, verificando que la direccionalidad de la medición sea perpendicular a las curvas de nivel y que HLD y LLD pertenezcan realmente a la familia o ladera que se va a medir.

Dentro de los sistemas de medición existen varias posibilidades (Shuk,1995):

a) Método de Taludes Enteros (TE), en el cual se mide cada talud desde su pata hasta su cresta en una sola línea, cuidando que esta línea de medición sea representativa de la ladera sobre la cual se encuentra. El grado de representatividad de la variabilidad in-situ de los materiales usando este método depende de la forma de escogencia de los taludes y por tanto tiene una componente subjetiva alta. Dentro de este método existe la variante de Taludes Enteros de Pendientes Máximas (TEPX).

b) Método de Facetas de Taludes (FT), el cual fué el empleado inicialmente por la MTN y en donde se miden las facetas rectilíneas que abarcan, para un mismo material y ladera, un número de curvas de nivel de gradiente topográfico similar. El muestreo de las facetas puede hacerse de dos formas: aleatoriamente, con un método estadístico o con el "universo de facetas de taludes", con las facetas contenidas dentro de una ladera y muestreadas con una densidad uniforme.

c) Método Secuencial Cumulativo de Intervalos de Curvas de Nivel (SCICN), en el cual se parte de la curva de nivel más baja y se recorre todo el intervalo entre ésta y la siguiente curva de nivel, buscando solamente dos distancias perpendiculares entre las dos curvas: la mínima y la máxima y se anotan éstas, así como su promedio. Luego, partiendo de la misma curva de nivel mínimo se hace el mismo proceso, pero cubriendo dos, tres o más intervalos de nivel, hasta llegar a la altura máxima, en la cual usualmente sólo hay una pareja de valores, denominados HLD y LLD.

De los tres métodos el más adecuado estadísticamente en el SCICN, pero es el más demorado pues su medición es usualmente manual, le siguen el de taludes enteros TE y el de facetas FT, los cuales pueden ser adaptados para medición automática con computador.

1.2.5 Cálculo de Parámetros

Con los cuatro parámetros básicos (A, b, HLD, LLD) y la MTN de Shuk es posible deducir los siguientes parámetros geomecánicos:

Parámetros de Densidad (para masa, elemento y suelo derivado)

- Peso Específico de Sólidos	(Gs)	- Peso Unitario Total	(Gt)
- Peso Unitario Seco	(Gd)	- Porosidad	(n)
- Relación de Vacios	(e)	- Humedad	(w%)
- Saturación	(Sr%)		

Parámetros de Resistencia (para masa y elemento)

- Intercepto de cohesión no drenada	(Ctu, t/m2)
- Angulo de fricción no drenado	(øu)
- Intercepto de cohesión efectivo	(Ctef, t/m2)
- Angulo de fricción efectivo	(øef)
- Compresion Inconfinada	(Qinc, t/m2)

Parámetros de Presurización (masa)

- Condición de Presurización :	negativa(NG),cuasi-equilibrio(PEQ), positiva(P), positiva en exceso disipada (PED), positiva en exceso activa(PEX)
- Parámetros de Presión de Poros :	Rupr = ru promedio Rumx = ru máximo (o de falla)

000080

Parámetros Límites de Talud (masa)

- Altura Vertical a Corto Plazo: Hoe (m)
- Altura Vertical a Largo Plazo: Hom (m)

1.2.6 Análisis Probabilísticos de Estabilidad.

Con los datos resultantes de la MTN es posible calcular Factores de Seguridad (Fs) y Probabilidades de Falla (Pf) Relativos para las familias de taludes naturales de una población dada de taludes, para condiciones de corto, mediano y largo plazo.

Con los datos de Hoe y Hom para la totalidad de los datos y mediante correlaciones entre probabilidades de falla (Pf) (y/o confiabilidades = 1-Pf) es posible obtener relaciones entre períodos de diseño para la condición TG (tiempo geológico nominal), LP (largo plazo o período de proyecto nominal), MP (mediano plazo) y CP (corto plazo o ciclo menor).

Para obtener valores numéricos de los períodos, es necesario adoptar uno de ellos. Dado que en la zona interandina de Colombia el ciclo de picos anuales de lluvias se encuentra entre 4 y 5 años, usualmente se puede adoptar como Tcp = 4.2 años (período de corto plazo), igual al de uno de los ciclos de Denness (1987) y luego deducir los tiempos promedios para los otros plazos. Posteriormente, adicionando datos de lluvias y sismos críticos se deducen, con base en el Teorema de Probabilidad Total, probabilidades de falla totales para corto, mediano y largo plazo, y/o se interpolan valores para otros períodos de estudio.

1.2.7 Limitaciones de la MTN

Explicado lo anterior y dado que la metodología, de un alcance y utilidad impresionantes, se encuentra en evolución, es conveniente señalar algunas de sus limitaciones actuales, a saber:

a) Los factores de seguridad y probabilidades de falla resultantes de la MTN son relativos para la población que se está estudiando, los cuales se acercan a los reales a medida que la población es más numerosa. Por ésta razón en ocasiones es necesario hacer algunos pocos análisis tradicionales para efectuar la calibración necesaria.(*)

b) Los parámetros de densidad para el suelo derivado son todavía inciertos y aún no se ha desarrollado totalmente el algoritmo para propiedades de resistencia.

c) Dado el carácter dinámico de la superficie medida, los factores de seguridad y las probabilidades de falla deben evolucionar con el tiempo, pero hasta ahora hay sólo una forma de evaluación de esta variación, para corto, mediano y largo plazo, por medio de alturas verticales Hom y Hoe.(*)

d) La MTN se desarrolló básicamente para materiales rocosos y la aplicabilidad a materiales muy desagregados (p.ej. suelos sueltos) o livianos (p.ej. volcánicos) aún está en investigación, en especial en cuanto a deducción de propiedades geomecánicas.

e) La MTN se ha aplicado hasta el momento para laderas con inclinaciones superiores a los 10° (pendientes mayores de 17%), para pendientes menores se está investigando su adaptación.

f) La MTN hasta ahora se ha empleado en ambientes naturales donde la intervención del hombre ha sido relativamente escasa. La aplicabilidad a medios con intervención antrópica alta se obtendrá en parte del presente estudio.

000061

Finalmente es importante anotar que las limitaciones marcadas con (*) son compartidas con los métodos de análisis tradicionales, con los cuales sin embargo es muy difícil deducir probabilidades de falla y menos aún sus variaciones espaciales y temporales.

2. METODOLOGIA DEL ESTUDIO

2.1 ITEMS DE INFORMACION EMPLEADOS

Inicialmente se contó con el Plano Digital de Bogotá, en escala 1:5000, con intervalos de curvas de nivel cada 5m y de Agosto de 1990. Sin embargo en este plano no se encontraba cerca del 60% del área de estudio, la cual fué necesario digitalizar a partir de planos 1:2000 y 1:5000 de diferentes fechas, desde 1958 hasta 1987. Finalmente, luego de la digitalización y de los estudios geológicos e hidrológicos, finalmente INGEOCIM Ltda. obtuvo para el desarrollo del presente estudio:

- Planos Topográficos en escala 1:5.000, con intervalos entre curvas de nivel de 5 m.

- Mapas Geológicos en escala 1:5.000

- Ubicación y delimitación de todos los cuerpos de materiales cuaternarios en planos topográficos en escala 1:5.000.

- Mapas y datos de lluvias críticas con sus períodos de retorno, zonas sísmicas, usos del suelo, canteras, vías y procesos de inestabilidad.

2.2 MEDICION DE LAS FAMILIAS DE TALUDES NATURALES

2.2.1 Método de Medición

Por las limitantes previstas de tiempo, desde el comienzo se escogió como sistema de medición el de Taludes Enteros, localizando las líneas de medición de forma representativa. Esta labor fué realizada por la Ing. Clara I. Bernal, asistente del Ing. Tomás Shuk y quien tiene gran experiencia, por haber trabajado en el tema por cerca de 10 años.

2.2.2 Proceso de Medición Inicial

Dada la falta inicial de cartografía adecuada para toda la zona de estudio y la necesidad de una pronta ejecución del trabajo, la delimitación y medición iniciales de las familias de taludes naturales se efectuaron manualmente en planos topográficos de diferentes edades y escalas: en especial las mediciones iniciales en la Localidad de Ciudad Bolívar se hicieron en planos 1:2000 y 1:5000 de varias fechas originales del IGAC.

En el resto de localidades las mediciones de HLD y LLD se hicieron manualmente sobre los planos 1:5000, digitalizados en gran parte por INGEOCIM. Adicionalmente en forma provisional se emplearon al comienzo algunos pocos datos de un estudio del Túnel de los Rosales realizado por el Ing. Tomás Shuk para la FEN.

Los valores iniciales de medición se hicieron completos para algunos sitios en las localidades de Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Santa Fe (los de Rosales estaban completos) y posteriormente, para poder obtener rápidamente valores de factores de seguridad relativos, se hicieron solamente medidas de HLD y LLD.

000062

Adicionalmente y sin contar aún con los planos geológicos y geomorfológicos completos, la escogencia (muestreo) de las localizaciones de las familias se hizo independientemente de la geología, pero dentro de los límites de la zona de estudio, procurando tener visualmente una densidad de área relativamente uniforme, pero que tuviera en cuenta el muestreo de las diferentes geoformas presentes; y, por lo tanto, constituye lo que se denomina como un "muestreo aleatorio".

Como primer resultado se llegaron a tener 3091 mediciones; posteriormente se hizo una primera verificación y se eliminaron 471 familias, por encontrarse por fuera de los límites de la zona de estudio, por tener TanBLD < 5%, por tener alturas inferiores a 14m (15m es la mínima altura para curvas de nivel cada 5m) y por errores de localización. En definitiva quedaron, para el análisis preliminar de amenaza, 2620 familias de taludes, con la siguiente distribución:

TABLA No. 1. Registro de Familias Medidas Inicialmente por Localidad

LOCALIDAD	NUMERO DE FAMILIAS	PORCENTAJE
CIUDAD BOLIVAR	1400	53.44
RAFAEL URIBE	210	8.02
SAN CRISTOBAL	359	13.70
SANTA FE	151	5.76
CHACINERO	73	2.79
ROSALES	136	5.19
USAQUEN	201	7.67
SUBA	90	3.44
TOTAL	**2620**	**100.0**

Cada familia (línea de medición) tenía datos de HLD, LLD, Coordenadas N y E del Centro, Cota de Base y Azimut de Medición. Con estos datos se calcularon las coordenadas de los extremos de cada línea, las cuales se incorporaron a la información del plano digital.

Se observó un porcentaje muy alto de los datos de Ciudad Bolívar en relación a los demás, asunto que se corrigió parcialmente con factores de ponderación entre la correlación de todos los datos y una correlación de los centros de gravedad de cada subpoblación datos, obteniendose la siguiente correlación final para la evaluación preliminar de amenaza:

$$Hro = 1.660571 * L^{0.671464} ; \quad HLDr=190m \quad LLDr=590m \qquad (2)$$

Con la correlación encontrada se obtuvieron factores de seguridad y probabilidades de falla relativos incondicionales para el universo de mediciones, con la localización se asignó a cada línea su respectivo factor de seguridad y con la interpolación del SIG se produjo el Plano Preliminar de Amenaza.

2.2.3 Proceso Final

Posteriormente, ya para la fase final se siguió el siguiente procedimiento:

a) Revisión conjunta, por el Geol. Iván Patiño y la Ing. Clara I. Bernal, de los contactos geológicos y de la localización de las familias de la MTN para minimizar conflictos y errores posteriores.

b) Ante la necesidad de contar con parámetros geomecánicos, en especial para los análisis de estabilidad con lluvias y la caracterización de materiales, se optó por efectuar las mediciones de H

y L con el computador, mediante un programa especialmente desarrollado por el Ing. Ciro Parrado y aplicado a los mapas digitales. Con estas mediciones se renumeraron las familias y se les reasignaron coordenadas.

c) Desarrollo de programas específicos por el Ing. Alvaro J. González para el cálculo de regresiones a partir de los datos de medición por computador para obtener los parámetros básicos de la MTN : A, b, HLD y LLD, así como para detectar errores.

d) Verificación de los datos obtenidos del SIG, para corregir errores, principalmente de ubicación inicial de las familias (con coordenadas calculadas) en relación a las curvas de nivel, de medición de familias en planos diferentes (en especial en Ciudad Bolívar) y medición adicional manual de familias con errores (cerca del 30% del total final).

e) Captura con el SIG de datos de ubicación de familias en relación a geología, usos del suelo, vías, canteras y procesos de inestabilidad.

Como resultado final de este proceso se tuvieron las siguientes familias definitivas de MTN, cuyos datos se encuentran en la Tabla AMZTN-1 del Anexo 2:

TABLA No. 2. Distribución de Familias Definitivas por Localidad

LOCALIDAD	NUMERO FAMILIAS DEFINITIV.	AREA (km2)	DENSIDAD (fam/km2)	PORCENTAJE (%)
Ciudad Bolívar	1209	52.38	23.08	44.48
Rafael Uribe-San Cristóbal	723	42.11	17.17	26.60
Santafé - Chapinero	353	40.09	8.81	12.99
Usaquén	335	35.10	9.55	12.33
Suba	98	11.45	8.56	3.61
TOTAL	**2718**	**181.13**	**15.01**	**100.00**

Se observa nuevamente un porcentaje alto, así como una densidad mayor, en los datos de Ciudad Bolívar y Rafael Uribe-San Cristóbal en relación a los demás, asunto que se tiene en cuenta posteriormente para las correlaciones.

2.3 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD INCONDICIONAL

2.3.1 Datos No Considerados

Para la regresión no se consideraron 207 familias así:

a) 162 familias de rocas y suelos residuales en pendientes menores de 16%
b) 39 familias tomadas en cortes de canteras o vías
c) 6 familias tomadas en el relleno sanitario de Doña Juana.

Los datos no considerados para la regresión tienen la siguiente distribución:

000064

TABLA No. 3. Familias No Consideradas Para La Regresion

LOCALIDAD	ROCA O SUELO RESIDUAL	CORTES	RELLENOS	TOTAL
Ciudad Bolívar	121	16	6	**143**
Rafael Uribe-San Cristóbal	28	15	0	**43**
Santafé - Chapinero	5	0	0	**5**
Usaquén	4	8	0	**12**
Suba	4	4	0	**4**
TOTAL	**162**	**39**	**6**	**207**

2.3.2 Regresión

Para la regresión básica quedaron entonces 2511 familias con la siguiente distribución:

TABLA No. 4. Familias Consideradas Para La Regresion

LOCALIDAD	NUMERO FAMILIAS REGRES.	AREA (km2)	DENSIDAD (fam/km2)	PORCENTAJE (%)
Ciudad Bolívar	1066	52.38	20.35	42.45
Rafael Uribe-San Cristóbal	680	42.11	16.15	27.08
Santafé - Chapinero	348	40.09	8.68	13.86
Usaquén	323	35.10	9.20	12.86
Suba	94	11.45	8.21	3.74
TOTAL	**2511**	**181.13**	**13.86**	**100.00**

Como se anotaba, hay un porcentaje muy alto de los datos de Ciudad Bolívar y Rafael Uribe-San Cristóbal en relación a los demás. Esta distorsión se corrigió con factores de ponderación entre la correlación de todos los datos y una correlación de los centros de gravedad de cada una de las cinco (5) subpoblaciones de datos, obteniendose la siguiente correlación final básica para la evaluación de los datos incondicionales:

$$Hro = 1.7541239 * L^{0.6662068} = Hrip \; ; \quad HLDr=190m \quad LLDr=590m \qquad (3)$$

2.3.3 Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla Incondicionales

Con esta correlación se calcularon los Factores de Seguridad (Fs) y Probabilidades de Falla Relativos (Pf) Incondicionales para las 2511 familias de taludes naturales, cuyos resultados se presentan en la Tabla AMZTN-2 del Anexo 2, con la siguiente formulación:

$$Fst = H/Hrt \qquad (4)$$

$$Pft = (0.5)^{[Fst^k]} \qquad (5)$$

En la cual

Fst = factor de seguridad relativo para el tiempo t
H = altura de la familia en consideración

000065

Hrt = altura de la regresión para el tiempo t
= 10^ [(log Hro)^2/ log(Hro+Hot)] **(6)**

Pft = probabilidad relativa de falla para el tiempo t

k = factor de Weibull unimodal dependiente del coeficiente de variación de Fst (Cvf)

Cvf = $\{ [\Gamma(1+2/k)/\Gamma^2(1+1/k)]-1\}^{0.5}$ **(7)**
y Γ = función Gama $[\Gamma(1+n)= n!]$

$\approx 1.7285 + 1.248 * Cvf^{-1} + 1.058 * Cvf^{-0.5} - 3.040 * Cvf^{-0.25}$ **(8)**

Con los datos de Hoe y Hom para la totalidad de las familias de la regresión:

Hoe = 113.97m (=Hocp, para Corto Plazo)
Hom= 9.47m (= Homp, para Mediano Plazo)

se encontró que, en forma aproximada, pero con excelentes correlaciones:

Hrmp = 0.8110565 * L^0.7856990 **(9)**

Hrcp = 0.2709219 * L^0.8569932 **(10)**

y mediante correlaciones entre probabilidades de falla (Pf) (y/o confiabilidades = 1-Pf) fué posible obtener periodos de diseño para las condiciones TG (tiempo geológico nominal), LP (largo plazo o periodo de proyecto nominal), MP (mediano plazo) y CP (corto plazo o ciclo menor).

Dado que los ciclos medios de picos de lluvias oscilan entre 3.1 y 5.4 años para promedios móviles entre 1 y 11 años, con un promedio de 4.26 años (ver Informe de Hidrología), se adoptó como Tcp = 4.2 años (periodo de corto plazo), igual al de uno de los ciclos de Denness (1988) y similar a la frecuencia aproximada de los ciclos del Fenómeno del Niño. Con estas hipótesis, los periodos encontrados fueron:

Periodo de Corto Plazo	Tcp = 4.20 años (adoptado de Denness)
Período de Mediano Plazo	Tmp = 19.39 años
Período de Largo Plazo	Tlp = 26.57 años
Período de Tiempo Geol.	Ttg = 32.79 años

Con la correlación entre los datos de Ho y T, fué posible extrapolar valores de Ho para otros períodos así:

T= 10 años	Ho10 = 32.04m
T= 20 años	Ho20 = 8.40m

2.3.4 Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla para las Familias No Consideradas en la Regresión

Para las 162 familias no consideradas en la regresión se adoptaron las siguientes condiciones:

a) Se descartaron definitivamente las 6 familias del relleno sanitario de Doña Juana.

b) Para las familias de roca con pendientes menores de 16%, se conservaron los valores de HLD y se obtuvieron valores nuevos de LLDn hipotéticos, haciendo un giro sobre la envolvente de mediano plazo Hrmp, para obtener LLDn < LLD, así:

$$LLDn = (LLDgiro)^2/LLd \quad (11)$$

$$LLDgiro = LLDmp = (HLD/Amp)^{(1/bmp)} \quad (12)$$

c) Para las familias de suelo residual con pendientes menores de 16%, se conservaron los valores de HLD y se obtuvieron valores nuevos de LLDn hipotéticos, haciendo un giro sobre la línea de la pendiente mínima, para obtener LLDn < LLD, aplicando la ecuación (11) con:

$$LLDgiro = LLDpend = HLD/0.16 \quad (13)$$

d) Para las familias en cortes, se conservaron los valores de HLD y se obtuvieron valores nuevos de LLDn hipotéticos, haciendo un giro sobre la envolvente de mediano plazo Hrmp, para obtener LLDn > LLD, empleando las mismas relaciones (11) y (12).

Con los nuevos valores de LLDn y HLD, se obtuvieron valores estimados de factores de seguridad y probabilidades de falla relativos, en todo el proceso de cálculo, para las familias con estas condiciones especiales y así lograr una aproximación a su comportamiento real en campo.

2.4 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD CON SISMO

2.4.1 Asignación de Aceleraciones Sísmicas

Se emplearon las aceleraciones básicas de terreno (Am) obtenidas del Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (los materiales INGEOMINAS-UNIANDES, 1997), en el cual se asignaron, para un período de retorno de 475 años, los siguientes valores de α = ah/g

Zona 1	- Cerros	- 0.24
Zona 2	- Piedemonte	- 0.30
Zona 5	- Terrazas y Conos	- 0.20

Para efectos de asignación a las familias, los materiales se clasificaron en cinco grupos y se les asignaron valores de aceleración horizontal a nivel de terreno, así:

MATERIAL	SIMBOLO	ACELERACION α
Roca con pendiente menor de 60%	R1	0.22
Roca con pendiente mayor de 60%	R2	0.24
Suelos residuales y duros (Qsr, Qct, Qcd, Qal)	M1	0.26
Suelos medios (Qfg, Qsb, Qdlt, Qfd)	M2	0.28
Suelos blandos (Tqt, Qta,Qtb, Qdlc,Qft,Ra)	M3 y M4	0.30

2.4.2 Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla

Los datos de sismo se incorporaron con el método seudoestático conservando para el talud la dimensión DLD = (HLD^2+LLD^2)^0.5, afectando el ángulo de talud en $\Delta\beta LD = Arctan(\alpha)$ e incrementando los pesos unitarios por el factor FG= (1+α^2)^0.5, con lo cual:

000087

$$\text{Tan}(\beta LDsis) = \text{Tan}^2\beta / \text{Tan}(\beta LD + \Delta\beta LD) \quad \textbf{(14a)}$$

$$HLDsis = DLD * \text{Sen}(\beta LDsis)/FG \quad \textbf{(14b)}$$

$$LLDsis = DLD * \text{Cos}(\beta Ldsis) \quad \textbf{(14c)}$$

El sismo hace disminuir los factores de seguridad, en especial los más altos e incrementa la posibilidad de falla de taludes en términos de estos factores. Sin embargo, debido a la menor posibilidad de ocurrencia del sismo, la probabilidad de falla combinada es menor:

$$Pf(Dz/Ss) = Pf(Dz \cup Ss) = [P(Fs<1)] * P(Ss) < P(Ss) \quad \textbf{(15)}$$

La lista de los factores de seguridad y probabilidades de falla (sin combinar) relativos con sismo se encuentran en la Tabla AMZTN-2 del Anexo 2.

2.5 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD CON LLUVIA

2.5.1 Procedimiento

Para los datos de lluvia se siguió en forma aproximada el método de Lumb, que incorpora un volumen infiltrado por la lluvia, el cual se transforma en Ru. Para calcular la infiltración se empleo el método SCS-CN del USDA (p.ej. Chow et. al, 1988; Wanielista, 1990), en el cual, de acuerdo a la cobertura y al material, asigna un valor de CN o Número de Curva, ($0 < CN \leq 100$), el cual, junto con la precipitación P define los otros parámetros así:

Abstracción $S'(mm) = (25400/CN) - 254$ **(16)**

Escorrentía $R(mm) = (P - 0.2S')2 / (P+0.8S')$ para $P > 0.2S$ **(17a)**

$= 0$ para $P \leq 0.2S$ **(17b)**

Infiltración $I(mm) = P - R$ **(18)**

Se observa que: para $CN \rightarrow 0$ $S' \rightarrow \infty$ $R \rightarrow 0$ $I \rightarrow P$

para $CN = 100$ $S' = 0$ $R = P$ $I = 0$

Una vez obtenidos los valores de infiltración I, se transformaron a valores de Ru, con la siguiente formulación:

$$\Delta Ru = [I^* (Aa/A)] / [n_{ef} * \gamma * HLD] \quad \textbf{(19)}$$

$$Rull = Rupr + \Delta Ru \leq Rumx \leq 1.0 \quad \textbf{(20)}$$

en las cuales

ΔRu = incremento de Ru por lluvia
I = infiltración
Aa/A = relación de área aferente al talud y área del talud
= 3.0 conservativamente
n_{ef} = porosidad efectiva = 2/3 *n (adoptado)
n = porosidad
γ = peso unitario total de la masa
HLD = altura del talud
Rull = Ru con lluvia
Rupr = Ru promedio de MTN
Rumx = Ru máximo de MTN

2.5.2 Asignación de Valores de CN, Lluvias y Períodos de Retorno

Los valores de CN vienen tabulados para cuatro diferentes tipos de suelos (del más permeable al más impermeable: A, B, C y D), diversas condiciones de cobertura y tres tipos de humedad antecedente (I= seco; II = promedio ; III = húmedo).

De acuerdo a la Zonificación de Uso del Suelo se asignaron valores de CN-II y CN-I para las diferentes coberturas y para los cuatro tipos de suelo, los cuales se presentan en la Tabla No. 5.

Los materiales de los taludes se clasificaron en las cuatro categorías con los siguientes criterios:

SUELO A: Qct, Qdlt,Qal
SUELO B: Ksgd, Ksgt, Tpc, Teri, Ters, TQt, Qcd, Qsb, Qta, Qft
SUELO C: Ksch, Ksgp, Ksgl, KTgm, Qsr, Qfg, Qtb, Qdlc
SUELO D: KTgi, KTgs, Tpb

Con la anterior clasificación se asignaron conservativamente valores de CN-I (para maximizar la infiltración), los cuales se multiplicaron por un factor de vías FV, para tener en cuenta el efecto de urbanización (auncuando en los CN ya está incorporado el hecho de la existencia de zona urbana), en la siguiente forma:

$$CN = CN\text{-}I * FV \leq 100 \qquad (21)$$

en la cual FV = 1.250 para vías pavimentadas FV = 1.125 para vías sin pavimentar
FV = 1.000 para zonas sin vías

Con los valores de lluvia crítica, duración y período de retorno en las 27 estaciones finalmente consideradas en el Estudio Hidrológico, con las coordenadas del centro de las familias de la MTN y mediante el método de interpolación multicuadrático radial del programa SURFER, se asignaron a cada familia los valores de lluvia, período de retorno y duración.

2.5.3 Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla

Una vez tenidos los valores de Rull, se calcularon los valores de HLDll y LLDll para lluvia, así:

$$HLDll = HLD * (\gamma / \gamma sat) * [(1 - Rull) / (1- Ru\ prm)] \wedge (1/b) \qquad (22)$$

$$LLDll = (DLD\wedge 2 - HLD\wedge 2) \wedge 0.5 \qquad (23)$$

La lluvia hace disminuir los factores de seguridad e incrementa la posibilidad de falla de taludes en términos de estos factores. Sin embargo, al igual que con el sismo y debido a la menor posibilidad de ocurrencia de la lluvia, la probabilidad de falla combinada disminuye puesto que:

$$Pf(Dz/Ll) = Pf(Dz\ U\ Ll) = [P\ (Fs<1)] * P(Ll) < P(Ll) \qquad (24)$$

La lista de los factores de seguridad y probabilidades de falla (sin combinar) relativos con lluvia se encuentran en la Tabla AMZTN-2.

2.6 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD CON SISMO Y LLUVIA

Para esto se tomaron los valores de HLDll y LLDll y se les aplicaron las ecuaciones (14) para obtener HLDllsis y LLDllsis, con los cuales se calcularon factores de seguridad y probabilidades de falla relativos con sismo y lluvia, los cuales se presentan en la Tabla AMZTN-2 del Anexo 2.

TABLA No. 5. Valores de Cn Para Cálculo De Infiltración

		VALORES DE CN II				VALORES DE CN I			
No.	USO	A	B	C	D	A	B	C	D
1	A1a	59.0	74.0	82.0	86.0	38.96	55.28	65.53	71.23
2	A1b	66.0	77.0	85.0	89.0	46.18	58.97	69.76	75.86
3	B1a	45.0	66.0	77.0	83.0	26.23	46.18	58.97	66.91
4	B1b	25.0	55.0	70.0	77.0	11.54	35.10	50.61	58.97
5	B2b	36.0	60.0	73.0	79.0	19.13	39.95	54.09	61.53
6	C1	77.0	85.0	90.0	92.0	58.97	69.76	77.49	80.89
7	C2	57.0	72.0	81.0	86.0	37.01	52.91	64.17	71.23
8	P1a	49.0	69.0	79.0	84.0	29.65	49.48	61.53	68.32
9	P1b	39.0	61.0	74.0	80.0	21.41	40.96	55.28	62.84
10	P2b	39.0	61.0	74.0	80.0	21.41	40.96	55.28	62.84
11	R1	30.0	58.0	71.0	78.0	14.84	37.98	51.75	60.24
12	R1a	30.0	58.0	71.0	78.0	14.84	37.98	51.75	60.24
13	R2	45.0	66.0	77.0	83.0	26.23	46.18	58.97	66.91
14	R2a	39.0	61.0	74.0	80.0	21.41	40.96	55.28	62.84
15	R2b	39.0	61.0	74.0	80.0	21.41	40.96	55.28	62.84
16	S1	77.0	86.0	91.0	94.0	58.97	71.23	79.16	84.54
17	S1a	74.0	84.0	90.0	92.0	55.28	68.32	77.49	80.89
18	S2	70.0	79.0	84.0	88.0	50.61	61.53	68.32	74.28
19	S2a	63.0	77.0	85.0	88.0	43.01	58.97	69.76	74.28
20	S3	77.0	86.0	91.0	94.0	58.97	71.23	79.16	84.54
21	S3a	74.0	84.0	90.0	92.0	55.28	68.32	77.49	80.89
22	SQ	39.0	61.0	74.0	80.0	21.41	40.96	55.28	62.84
23	A1a/P1a	56.0	72.5	81.1	85.4	36.05	53.50	64.31	70.35
24	B1b/C1	40.6	64.0	76.0	81.5	22.66	44.05	57.72	64.85
25	B2b-C1	48.3	67.5	78.1	82.9	29.04	47.81	60.37	66.77
26	B2b/C1	56.5	72.5	81.5	85.5	36.53	53.50	64.85	70.50
27	B2b/P1b	36.9	60.3	73.3	79.3	19.80	40.25	54.44	61.92
28	B2b/R1	34.2	59.4	72.4	78.7	17.80	39.36	53.38	61.14
29	C1/B2b	64.7	77.5	84.9	88.1	44.79	59.60	69.62	74.44
30	C1/P1b	65.6	77.8	85.2	88.4	45.75	59.98	70.06	74.91
31	C2/P1b	51.6	68.7	78.9	84.2	31.97	49.14	61.40	68.61
32	P1b/A1a	45.0	64.9	76.4	81.8	26.23	45.00	58.22	65.26
33	P1b/B2b	38.1	60.7	73.7	79.7	20.71	40.66	54.92	62.44
34	P1b/C1	50.4	68.2	78.8	83.6	30.89	48.59	61.27	67.76
35	P1b/C2	44.4	64.3	76.1	81.8	25.73	44.37	57.84	65.26
36	P1b/R1	36.3	60.1	73.1	79.4	19.35	40.05	54.21	62.05
37	P1b/R2	40.8	62.5	74.9	80.9	22.82	42.49	56.37	64.04
38	P1b/S1	50.4	68.5	79.1	84.2	30.89	48.92	61.66	68.61
39	P1b/S2	48.3	66.4	77.0	82.4	29.04	46.61	58.97	66.08
40	R1-B2b	33.0	59.0	72.0	78.5	16.94	38.96	52.91	60.88
41	R1/B2b	31.8	58.6	71.6	78.3	16.09	38.57	52.44	60.62
42	R1/P1b	35.7	61.3	73.4	79.8	18.90	41.26	54.56	62.57
43	R2a/P1b	39.0	61.0	74.0	80.0	21.41	40.96	55.28	62.84
44	R2b/P1a	42.0	63.4	75.5	81.2	23.77	43.43	57.10	64.44
45	R2-B2b	40.5	63.0	75.0	81.0	22.58	43.01	56.49	64.17
46	R2/B2b	42.3	64.2	75.8	81.8	24.02	44.26	57.47	65.26
47	R2/P1a	46.2	66.9	77.6	83.3	27.24	47.16	59.73	67.33
48	R2/S2	52.5	69.9	79.1	84.5	32.79	50.49	61.66	69.04
49	S1-R2	61.0	76.0	84.0	88.5	40.96	57.72	68.32	75.07
50	S1/SQ	65.6	78.5	85.9	89.8	45.75	60.88	71.09	77.16
51	S2a/P1b	58.8	74.6	83.2	86.8	38.76	56.00	67.19	72.44
52	S2/B1a	62.5	75.1	81.9	86.5	42.49	56.61	65.39	71.96
53	S2/C1	72.1	80.8	85.8	89.2	53.03	63.90	70.94	76.18
54	S2/P1b	60.7	73.6	81.0	85.6	40.66	54.80	64.17	70.64
55	S3/R2	67.4	80.0	86.8	90.7	47.70	62.84	72.44	78.65

000070

Tomando en conjunto los datos de lluvia y sismo se obtienen las probabilidades de ocurrencia conjunta y obviamente el accionar combinado de los dos eventos detonantes principales hace disminuír fuertemente los factores de seguridad. Sin embargo, como anteriormente, debido a la ya muchísimo menor posibilidad de ocurrencia conjunta, la probabilidad de falla es menor que la de cualquiera de los dos eventos:

$$Pf(Dz/Ll \text{ y } Ss) = Pf(Dz \cup Ll \cup Ss) = [P(Fs<1)]*P(Ll)*P(Ss) < P(Ss)*P(Ll) \quad \textbf{(25)}$$

2.7 ANALISIS PROBABILISTICOS DE ESTABILIDAD TOTAL

2.7.1 Probabilidad Total

Aplicando el Teorema de la Probabilidad Total se obtiene que la Probabilidad de Deslizamiento P(Dz) viene dada por:

$$\begin{aligned} P(Dz) = {} & [P(Dz/(\underline{Ll})(\underline{Ss}))]*P((\underline{Ll})(\underline{Ss})) + [P(Dz/(Ll)(\underline{Ss}))]*P((Ll)(\underline{Ss})) \\ & + [P(Dz/(Ss)(\underline{Ll}))]*P((Ss)(\underline{Ll})) + [P(Dz/(Ll)(Ss))]*P((Ll)(Ss)) \end{aligned} \quad \textbf{(26)}$$

en dónde, si se asume que la lluvia y el sismo son independientes :

$P(Dz/(\underline{Ll})(\underline{Ss}))$ = P(Fs<1) sin lluvia y sin sismo = Pf (incondicional)
$P((\underline{Ll})(\underline{Ss}))$ = Probabilidad que no haya lluvia ni sismo
= (1-P(Ll))*(1-P(Ss))

$P(Dz/(Ll)(\underline{Ss}))$ = P (Fs<1) con lluvia y sin sismo
$P((Ll)(\underline{Ss}))$ = Probabilidad que haya lluvia pero no sismo
= P(Ll)*(1-P(Ss))

$P(Dz/(Ss)(\underline{Ll}))$ = P(Fs<1) con sismo y sin lluvia
$P((Ss)(\underline{Ll}))$ = Probabilidad que haya sismo pero no lluvia
= P(Ss)*(1-P(Ll))

$P(Dz/(Ll)(Ss))$ = P (Fs<1) con lluvia y con sismo
$P((Ll)(Ss))$ = Probabilidad que haya lluvia y sismo
= P(Ll)*P(Ss)

Con los datos de probabilidad total P(Dz) se dedujeron Factores de Seguridad Totales Ajustados Fsta, empleando como kd, el k ponderado de los cuatro análisis (incondicional, con sismo, con lluvia y con sismo y lluvia) y haciendo algunos tanteos para tratar de hacer coincidir el coeficiente de variación de los factores de seguridad ajustados Fsta con el exponente kd:

$$Fsta = [\ln(P(Dz)/\ln(1/2)]^{(1/kd)} \quad \textbf{(5a)}$$

La lista de los factores de seguridad y probabilidades de falla totales relativos se encuentran en la Tabla AMZTN-2 del Anexo 2.

2.8 EFECTO ANTROPICO

El efecto antrópico se incorporó de varias formas durante el proceso de la MTN:

a) El efecto de descarga se tuvo en cuenta en el tratamiento especial a los cortes.

b) Los valores de CN se asignaron de acuerdo al uso del suelo.

c) En la infiltración se tuvo en cuenta el efecto de la urbanización tanto en la evaluación del CN-I como con el factor de vías FV.

No se tuvieron en cuenta en forma explícita los siguientes factores:

a) Sobrecarga por edificaciones, el cual es benéfico en los procesos de falla planar, pero no en los procesos rotacionales o de caída de bloques. Ante esta dualidad se optó por no considerarlo.

b) Rellenos: estarían considerados directamente, como el de Doña Juana, pero se optó por no incluirlos.

c) Descarga de aguas no servidas: se considera que estos eventos, que causan infiltración similar a la lluvia, indirectamente resulta de la evaluación de lluvia crítica, pues los períodos de retorno de la zona urbanizada son menores que los de la que no lo está.

d) Modificación del drenaje: se tuvo en cuenta en las vías, pero no en las rondas, las cuales, por su posición no están en la medición de MTN.

3. MAPA DE AMENAZAS Y LIMITACIONES

3.1 Escogencia de Intervalos de Factor de Seguridad Relativo para Amenaza

Con los resultados de Factores de Seguridad Relativos Totales Ajustados de la MTN, se obtuvieron los parámetros estadísticos para el Factor de Seguridad a Largo Plazo y distribución lognormal:

Mínimo	= 0.0645
Promedio - 2* Desviación	= 0.2959
Promedio - 1* Desviación	= 0.5109
Promedio	= 0.9168
Promedio+ 1* Desviación	= 1.6138
Promedio+ 2* Desviación	= 2.8406
Máximo	= 3.6313

Con el fin de tener en cuenta los errores normales en la medición y el proceso, se adoptó conservativamente para límite superior de amenaza alta Fsta=1.1, con los cual los intervalos quedan:

Mínimo	= 0.0645
Límite - 1* Desviación	= 0.6249
Límite	= 1.1000
Límite + 1* Desviación	= 1.9364
Límite + 2* Desviación	= 3.4087
Máximo	= 3.6313

Y entonces los intervalos definitivos adoptados para el Mapa de Amenaza Relativa son:

AMENAZA MUY ALTA	Fsta $\leq$ 0.6
AMENAZA ALTA	0.6 < Fsta $\leq$ 1.1
AMENAZA MEDIA	1.1 < Fsta $\leq$ 1.9
AMENAZA BAJA	1.9 < Fsta $\leq$ 3.4
AMENAZA MUY BAJA	3.4 < Fsta

000072

3.2 Escogencia de Período de Análisis para el Mapa de Amenaza Relativa

Dado que la cartografía es de variadas fechas, desde 1958 hasta 1990, con un lapso de 32 años, no es fácil saber cual es el período más apropiado para análisis hoy en 1998.

Parece demasiado conservativo usar los datos de Largo Plazo y muy inseguro emplear los de Corto Plazo, por lo que se optó por adoptar, ya con intervalos conservadores, como período de análisis:

Tanálisis = 10 años

3.3 Resultado del Análisis

El resultado del análisis se consigna en las tablas y en el Mapa de Amenaza Relativa con la MTN, pero se pueden observar los siguientes datos:

TABLA No. 6. Resumen del Análisis de Amenaza

	NUMERO DE FAMILIAS (N=2712)					
	Fs	**LP**	**20A**	**MP**	**10A**	**CP**
AMENAZA MUY ALTA	< 0.60	666	347	326	94	23
AMENAZA ALTA	0.60 - 1.10	1079	988	968	670	107
AMENAZA MEDIA	1.10 - 1.90	689	864	876	860	738
AMENAZA BAJA	1.90 - 3.40	276	485	510	857	979
AMENAZA MUY BAJA	> 3.40	2	28	32	231	865

	PORCENTAJE					
	Fs	**LP**	**20A**	**MP**	**10A**	**CP**
AMENAZA MUY ALTA	< 0.60	24.56	12.80	12.02	3.47	0.85
AMENAZA ALTA	0.60 - 1.10	39.79	36.43	35.69	24.70	3.94
AMENAZA MEDIA	1.10 - 1.90	25.40	31.86	32.30	31.71	27.21
AMENAZA BAJA	1.90 - 3.40	10.18	17.88	18.81	31.60	36.10
AMENAZA MUY BAJA	> 3.40	0.07	1.03	1.18	8.52	31.90

Como puede apreciarse, a medida que se incrementa el período de diseño, se aumenta la posibilidad relativa de falla de taludes, lo cual es coincidente con los datos de amenaza preliminar y con la dinámica de deterioro de la zona de estudio.

3.4 Limitaciones

Ya las limitaciones de la MTN se han consignado en el aparte 1.2.7, las cuales se trataron de obviar hasta donde fué posible. Sin embargo es importante resaltar lo siguiente, ya también expresado al comienzo:

"No sobra advertir que la confiabilidad de los resultados obtenidos con esta novedosa técnica corresponde a la fidelidad del mapa topográfico empleado y que por lo tanto si el mapa topográfico no es lo suficientemente veraz, tampoco lo serán los parámetros obtenidos de él."

000073

a) El uso obligado de cartografía de diferentes épocas hace difícil estimar hasta donde los resultados de la MTN son totalmente veraces, por las razones anotadas.

b) Por lo mismo, muchas de las mediciones no corresponden a la realidad actual, en especial en áreas muy afectadas por los efectos antrópicos, los cuales a su vez son de difícil incorporación a la MTN.

c) El Mapa de Amenaza Relativa por Fenómenos de Remoción en Masa con la MTN es parte integral del proceso de evaluación de amenaza, pero para el mapa definitivo se hacen los siguientes pasos adicionales:

- Contrastación de los mapas de amenaza de MTN y Ramírez.
- Contrastación de los mapas de amenaza de MTN y Ramírez, ya contrastados entre sí, con el Mapa de Procesos
- Obtención del Mapa de Amenaza Definitivo

d) Por todo lo anterior el Mapa de Amenaza Relativa con la MTN, aunque muy útil, no debe usarse solo.

000074

BIBLIOGRAFIA

ANG, A.H.S; TANG, W.H. (1984).- Probability Concepts in Engineering Planning and Design- Vol.II - Decision, Risk and Reliability- 562 pp.- John Wiley & Sons.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. (1988).- Applied Hydrology - 572 pp.- McGraw Hill Intl. Ed.

DENNESS, B. (1988).- The Variation of the Universal Gravitational Constant and the Distribution of Earthquakes in China Through Time and Space - Conferencias para la Investigación de Deslizamientos de la Red Vial Nacional - Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería - Noviembre de 1988.

GONZALEZ G., A.J. (1990a) - Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos - VI Jornadas Geotécnicas- SCI - Memorias - Tomo I, pp. 153-170, Bogotá, Octubre 1990.

GONZALEZ G., A.J. (1990b) - Metodología para Evaluación de Riesgo por Deslizamientos a Nivel Intermedio- VI Jornadas Geotécnicas- SCI - Memorias - Tomo II- Bogotá, Octubre 1990.

GONZALEZ G., A.J. (1992) - Avalanche Risk Evaluation at Utica - Colombia - Primer Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) - Memorias pp. 356-378- Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Bogotá, Abril 1992

INGEOMINAS-UNIANDES (1997).- Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá - 1 Vol.- 3 planos - Bogotá, 1997

RAMIREZ, F.; GONZALEZ G., A.J. (1989).- Evaluación de Estabilidad para Zonas Homogéneas.-I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol. I, pp. 174- 192, Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989

SHUK E., T. (1968).- Un Método Sencillo de Diseño para Minimizar el Costo de Taludes en Roca.- Primer Simposio de Ingeniería Geológica, Vol. II, MOPT-SCI, Bogotá, 1968

SHUK E., T. (1970).- Optimization of Slopes Designed in Rock.- Proceedings 2nd. Intl. Congress on Rock Mechanics .- Vol. 3 .- Paper 7-2- pp. 275-280.-ISRM, Beograd,

SHUK E.,T. (1989).- Aproximación a Dos Aspectos del Costo de Falla de Taludes: Magnitud y Tiempo.- I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol.I, pp. 726 - 743, Sociedad Colombiana de Geotecnia.- Paipa, Agosto de 1989

SHUK E.,T. (1990).- La Evolución y el Estado Actual de la Metodología Basada en Taludes Naturales para Análisis de Estabilidad en Masas de Materiales Geológicos - Parte I- III Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas, SVMSIF, Caracas, Octubre de 1990.

SHUK E.,T. (1995).-Metodología de Taludes Naturales (MTN) - Principios y Aplicaciones - Manuscrito en proceso - Sociedad Colombiana de Geotecnia.

000075

SHUK E.,T.; GONZALEZ A.J. (1993a).- Quantification of Slope Instability Risk and Cost Parameters for Geotechnical Applications in a Highway Project and in a Regional Study - ICOSSAR'93 (Sixth Intl. Conference on Structural Safety and Reliability) - Vol. 3, pp. 2025-2032 - Innsbruck - Ausgust 1993- A.A.Balkema

WANIELISTA, M. (1990).- Hydrology and Water Quantity Control - John Wiley & Sons - 565pp.- New York, 1990

Alcaldía Mayor
de Santa Fe de Bogotá. D.C.

INGEOCIM Ltda.
Ingenieros Consultores

UPES *FOPAE*

Unidad de Prevención y Atención de Emergencias
Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias

EVALUACION DE AMENAZA

PARTE III

000077

TABLA DE CONTENIDO

Pág.
1. INTRODUCCION 74
1.1 OBJETIVO 74
1.2 PROCEDIMIENTO 74
2. SISTEMA SEMICUANTITATIVO DE EVALUACION DE ESTABILIDAD (SES) 74
2.1 GENERALIDADES 74
2.2 ALCANCES Y LIMITACIONES 75
2.3 RESULTADOS 76
3. METODOLOGIA DE TALUDES NATURALES (MTN) 76
3.1 GENERALIDADES 76
3.1.1 Principios Básicos de la Metodología de Taludes Naturales (MTN). 76
3.1.2 Análisis Probabilísticos de Estabilidad. 77
3.1.3 Limitaciones de la MTN 78
3.2 RESULTADOS 78
3.2.1 Mediciones 78
3.2.2 Obtención de Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla 79
4. INVENTARIO DE PROCESOS ACTUALES 79
4.1 GENERALIDADES 79
4.2 PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS 79
4.3 ALCANCES Y LIMITACIONES 80
4.4 CLASIFICACION DE PROCESOS DE REMOCION EN MASA 81
4.5 ASIGNACION DE PROBABILIDADES DE FALLA 81
5. CONTRASTACION DE MAPAS DE AMENAZA 82
5.1 PROCEDIMIENTO 82
5.2 CONTRASTACION VISUAL 82
5.3 MODELOS DE SUPERPOSICION Y CONTRASTACION 82
5.4 ASIGNACION DE PROBABILIDADES Y SOLICITACIONES 84
6. LIMITACIONES 87
REFERENCIAS 89

PARTE III

ZONIFICACION FINAL

1. INTRODUCCION

1.1 OBJETIVO

Este informe presenta los resultados de la valoración y zonificación final de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa efectuada para el estudio de Zonificación de Riesgos por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá.

1.2 PROCEDIMIENTO

El procedimiento general seguido para la obtención del Mapa Final de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa fué el siguiente, no necesariamente en orden cronológico:

a) Obtención del Mapa de Amenaza Relativa por Fenómenos de Remoción en Masa con el Sistema Semicuantitativo de Evaluación de Estabilidad (SES) de Ramírez (1988,1989)
b) Obtención del Mapa de Amenaza Relativa por Fenómenos de Remoción en Masa con la Metodología de Taludes Naturales (MTN) de Shuk (1968,1970,1995)
c) Obtención del Mapa de Procesos Actuales
d) Contrastación de los mapas de amenaza de SES y MTN.
e) Contrastación de los mapas de amenaza de SES y MTN, ya contrastados entre sí, con el Mapa de Procesos Actuales
f) Obtención del Mapa de Amenaza Definitivo

El detalle tanto de los métodos y procedimientos empleados, como de los resultados obtenidos en los tres primeros puntos, se encuentra consignado en los respectivos informes y mapas y en este informe tan sólo se describen los tres últimos pasos.

2. SISTEMA SEMICUANTITATIVO DE EVALUACION DE ESTABILIDAD (SES)

2.1 GENERALIDADES

El Sistema Semicuantitativo de Evaluación de Estabilidad (SES) comprende fundamentalmente la evaluación de ocho parámetros, donde cada uno de ellos es el resultado de diversos factores asociados según su naturaleza. Para cada factor se fijan intervalos de variabilidad de acuerdo con su influencia (en mayor o menor grado) en la estabilidad de las laderas. La combinación de los diferentes factores otorga 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 índice de estabilidad resultante de la suma ponderada de índices de cada factor asociado a éste. La calificación final de estabilidad es la suma ponderada de los índices de estabilidad de cada parámetro (Ramírez, 1988).

000979

La evaluación se realizó mediante el cruce sistemático con el SIG de los mapas temáticos resultantes de la cuantificación de las variables, en términos de contribución a la estabilidad. Se cartografiaron como bases topológicas, con sus correspondientes base de datos, los siguientes parámetros:

INTRINSECOS
- **M** - Material
- **R** - Relieve
- **D** - Densidad de Drenaje
- **V** - Cobertura Vegetal

DETONANTES
- **E** - Erosión
- **C** - Clima (Lluvias)
- **S** - Sismo
- **A** - Acción Antrópica

La adecuación del modelo de evaluación para ser aplicada en un área urbana se refiere a la inclusión del factor antrópico como parámetro que afecta la estabilidad de una ladera. Al respecto se tomó como lineamiento el trabajo de Amenaza Preliminar de un Sector Sur de Santafé de Bogotá, realizado por Millán y Lozano (INGEOMINAS, 1995).

2.2 ALCANCES Y LIMITACIONES

El SES tiene alcance en área y originalmente se empleó como unidad de mapeo la Unidad de Terreno, dentro de la clasificación geomorfológica de Grant (1976) (Provincia, Unidad, Componente y Elemento de Terreno), para su empleo a escala intermedia (1:10.000 a 1:50.000).

Posteriormente, ya con la introducción de los Sistemas de Información Georreferenciados (SIG), se hicieron posibles otros métodos de combinación de parámetros y para el presente estudio se empleó el sistema de Unidades de Condición Unica, que resultan del cruce de las diferentes áreas homogéneas de los diversos parámetros.

Las limitaciones del método están asociadas a tres aspectos fundamentales:

a) La naturaleza de los factores que determinan la estabilidad de una ladera
b) El peso asignado a cada uno de los factores para categorizar la estabilidad
c) La disponibilidad de la información que permita fijar intervalos de influencia de los factores.
d) Representa una condición temporal del estado actual (corto plazo).

En los dos primeros aspectos existe necesariamente un cierto grado de incertidumbre difícil de evaluar y no es posible eliminar totalmente la componente subjetiva del proceso. En el último aspecto el grado de incertidumbre en los diferentes factores es diferente y no necesariamente se tiene un conjunto estadisticamente homogéneo.

El modelo de evaluación SES no permite establecer la condición de estabilidad para un tiempo determinado, las variables clima y sismo, cada una por separado representa una condición temporal que no necesariamente son correspondientes. Tal vez la variable que permite establecer la temporabilidad es el factor antrópico, el cual es dinámico y muy sensible al cambio y su cartografía representa el estado actual del medio físico.

Adicionalmente, ha sido necesario efectuar cambios y adaptaciones, los cuales introducen incertidumbres adicionales: en el sistema original se incluían, en lugar del efecto antrópico, la frecuencia de deslizamientos en la unidad de terreno y por otro lado se usaban los valores de aceleración y de tipo de suelo del CCCSR de 1984, en lugar de los valores de aceleración asignados en el presente estudio.

2.3 RESULTADOS

Como resultado de la valoración de la Calificación de Estabilidad CE y del estudio de su variación en la zona objeto del proyecto, se obtuvieron cinco categorías de amenaza, según la siguiente distribución:

CATEGORIA DE AMENAZA	CALIFICACION DE ESTABILIDAD CE		
MUY ALTA		CE	< 126
ALTA	126.5 <	CE	< 151
MEDIA	151.5 <	CE	< 177
BAJA	177.5 <	CE	< 202
MUY BAJA	202.5 <	CE	

Con las anteriores categorías se elaboró el Mapa de Amenaza Relativa según el SES.

3. METODOLOGIA DE TALUDES NATURALES (MTN)

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Principios Básicos de la Metodología de Taludes Naturales (MTN).

El principio básico consiste en que una familia de mediciones de los valores de H (altura en metros) y L (longitud correspondiente, también en metros), en segmentos de una ladera compuesta de materiales homogéneos en origen y composición, se encuentran ligadas por la relación funcional básica:

$$H = A * (L)^b \qquad (1)$$

función denominada por Shuk (1990) como Envoluta Actual, la cual posee siempre un alto coeficiente de correlación ($r>0.95$), en la gran mayoría de los casos tiene $b<1$ y representa el perfil promedio de la superficie de la masa térrea. Debido a que esta superficie es la interfaz del material térreo con su entorno ambiental, por razones físicas y termodinámicas debe estar, en promedio, en equilibrio dinámico con este ambiente en que está inmersa.

Por esta razón Shuk (1968,1970,1995) postula que esta línea de regresión debe corresponder a un factor de seguridad de 1.0 o lo mismo a una probabilidad de falla del 50%. En consecuencia, en una ladera de material homogéneo, aquellos tramos con alturas superiores al promedio tenderán a ser más inestables que aquellos que tengan alturas inferiores al mismo promedio y de allí es posible deducir tanto los factores de seguridad como las probabilidades de falla de segmentos de esa ladera de material homogéneo.

Adicionalmente, en toda ladera hay valores máximos de H y L, denominados valores límites (HLD y LLD), los cuales determinan un ángulo límite βLD (Tan βLD = HLD/LLD), valores que se

transforman, para hacerlos pertenecer a la Envoluta Actual de regresión, en los valores HLF, LLF y Tan βLF, bastante similares a los originales.

No sobra advertir que la confiabilidad de los resultados obtenidos con esta novedosa técnica corresponde a la fidelidad del mapa topográfico empleado y que por lo tanto si el mapa topográfico no es lo suficientemente veraz, tampoco lo serán los parámetros obtenidos de él.

Volviendo a la Envoluta Actual, si se colocan los valores límites (HLD,LLD) de varias familias pertenecientes a una misma formación geológica (las cuales constituyen una población) la relación funcional vuelve a cumplirse, aunque con coeficientes de correlación algo más bajos, lo cual indica la propiedad fractal de la relación funcional. Sin embargo en este caso la situación de estabilidad se invierte: dentro de la población las alturas límites superiores al promedio no indican tendencia a la inestabilidad sino todo lo contrario, pues pertenecen a materiales que, en equilibrio, son relativamente más resistentes que aquellos con alturas menores al promedio de la población. Este principio puede extenderse a familias de diferentes formaciones geológicas, sometidas a condiciones ambientales similares, grupos isoambientales de poblaciones que conforman un universo de familias.

3.1.2 Análisis Probabilísticos de Estabilidad.

Con los datos resultantes de la MTN es posible calcular Factores de Seguridad (Fs) y Probabilidades de Falla (Pf) Relativos para las familias de taludes naturales de una población dada de taludes, para condiciones de corto, mediano y largo plazo, con la siguiente formualción:

$$Fst = H/Hrt \quad (2)$$

$$Pft = (0.5)^{[Fst^k]} \quad (3)$$

En la cual
Fst = factor de seguridad relativo para el tiempo t
H = altura de la familia en consideración
Hrt = altura de la regresión para tiempo t,=10^ [(log Hro)^2/ log(Hro+Hot)] **(4)**
Hro = altura de la regresión incondicional
Hot = altura límite para el tiempo t
Pft = probabilidad relativa de falla para el tiempo t
k = factor de Weibull unimodal, función del coeficiente de variación de Fst (Cvf)

Con los datos de alturas límite Ho para la totalidad de los datos y mediante correlaciones entre probabilidades de falla (Pf) (y/o confiabilidades=1-Pf) es posible obtener relaciones entre períodos de diseño para la condición TG (tiempo geológico nominal), LP (largo plazo), MP (mediano plazo) y CP (corto plazo o ciclo menor). Para obtener valores numéricos de los períodos, es necesario adoptar uno de ellos. Dado que en la zona interandina de Colombia el ciclo de picos anuales de lluvias se encuentra entre 4 y 5 años, usualmente se puede adoptar como Tcp = 4.2 años (período de corto plazo), igual al de uno de los ciclos de Denness (1988) y luego deducir los tiempos promedios para otros plazos.

Posteriormente, adicionando datos de lluvias y sismos críticos se deducen, con base en el Teorema de Probabilidad Total, probabilidades de falla totales para corto, mediano y largo plazo, y/o se interpolan valores para otros períodos de estudio.

000082

3.1.3 Limitaciones de la MTN

Explicado lo anterior y dado que la metodología, de un alcance y utilidad impresionantes, se encuentra en evolución, es conveniente señalar algunas de sus limitaciones actuales, a saber:

a) Los factores de seguridad y probabilidades de falla resultantes de la MTN son relativos para la población que se está estudiando, los cuales se acercan a los reales a medida que la población es más numerosa. (*)

b) Los parámetros de densidad para el suelo derivado son todavía inciertos y aún no se ha desarrollado totalmente el algoritmo para sus propiedades de resistencia.

c) Dado el carácter dinámico de la superficie medida, los factores de seguridad y las probabilidades de falla deben evolucionar con el tiempo, pero hasta ahora hay sólo una forma de evaluación de esta variación, para corto, mediano y largo plazo, por medio de alturas verticales límite.(*)

d) La MTN se desarrolló básicamente para materiales rocosos y la aplicabilidad a materiales muy desagregados (p.ej. suelos sueltos) o livianos (p.ej. volcánicos) aún está en investigación, en especial en cuanto a deducción de propiedades geomecánicas.

e) La MTN se ha aplicado hasta el momento para laderas con inclinaciones superiores a los 10° (pendientes mayores de 17%), para pendientes menores se está investigando su adaptación.

f) La MTN hasta ahora se ha empleado en ambientes naturales donde la intervención del hombre ha sido relativamente escasa. La aplicabilidad a medios con intervención antrópica alta se obtendrá en parte del presente estudio.

Finalmente es importante anotar que las limitaciones marcadas con (*) son compartidas con los métodos de análisis tradicionales, con los cuales sin embargo es muy difícil deducir probabilidades de falla y menos aún sus variaciones espaciales y temporales.

3.2 RESULTADOS

3.2.1 Mediciones

Como resultado final de un largo proceso de medición y depuración, se tuvieron las siguientes familias definitivas de MTN:

TABLA No. 1 Familias Definitivas MTN

LOCALIDAD	NUMERO FAMILIAS DEFINITIV.	AREA (KM2)	DENSIDAD (FAM/KM2)	PORCENT. (%)
Ciudad Bolívar	1209	52.38	23.08	44.48
Rafael Uribe-San Cristóbal	723	42.11	17.17	26.60
Santafé - Chapinero	353	40.09	8.81	12.99
Usaquén	335	35.10	9.55	12.33
Suba	98	11.45	8.56	3.61
TOTAL	**2718**	**181.13**	**15.01**	**100.00**

000083

3.2.2 Obtención de Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla

Se hicieron ajustes para: materiales rocosos y residuales con pendientes menores del 16%, zonas de cortes y se descartaron las mediciones en el Relleno Sanitario de Doña Juana.

Se calcularon los Factores de Seguridad y Probabilidades de Falla Relativos para las siguientes condiciones: sin sismo ni lluvia (incondicional), con sismo, con lluvia y con sismo y lluvia, para períodos de corto plazo (4.2 años), mediano plazo (19.39 años), largo plazo (26.57 años), 10 años y 20 años. Posteriormente, con el Teorema de Probabilidad Total se calcularon las probabilidades de falla totales y factores de seguridad ajustados.

Con los Factores de Seguridad Relativos Totales Ajustados se obtuvieron parámetros estadísticos para el Factor de Seguridad Total a Largo Plazo (Fsta) y distribución lognormal, de los cuales finalmente se obtuvieron los intervalos para las Categorías de Amenaza Relativa, así:

CATEGORIA DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD
AMENAZA MUY ALTA	**Fsta ≤ 0.6**
AMENAZA ALTA	**0.6 < Fsta ≤ 1.1**
AMENAZA MEDIA	**1.1 < Fsta ≤ 1.9**
AMENAZA BAJA	**1.9 < Fsta ≤ 3.4**
AMENAZA MUY BAJA	**3.4 < Fsta**

Dado que la cartografía usada fué de variadas fechas, desde 1958 hasta 1990, con un lapso de 32 años, no fué fácil escoger el período más apropiado para el análisis en 1998. Finalmente, ya con intervalos conservadores de Fst, se adoptó Tanálisis = 10 años.

Con los valores de Factor de Seguridad Relativos para un período de 10 años y mediante interpolación con el SIG se elaboró el Mapa de Amenaza Relativa según la MTN.

4. INVENTARIO DE PROCESOS ACTUALES

4.1 GENERALIDADES

Un inventario de fenómenos de remoción en masa recolecta la información sobre la distribución geográfica, la intensidad, la magnitud, el estado actual y los mecanismos de falla de estos. Esta información es utilizada en el proceso de zonificación de la amenaza, especialmente, en la definición de los parámetros y variables a utilizar, la regionalización y la valoración de estos y en la calibración de los mapas de zonificación.

4.2 PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

El procedimiento utilizado para la elaboración del inventario de procesos fué el siguiente

- Elaboración del formato de inventario de procesos de remoción en masa (FRM)
- Recolección de la información indirecta sobre procesos de FRM
- Cartografía de los FRM y procesos erosivos.
- Elaboración de la base de datos

La elaboración del formato contempló información general (localización, fecha, zona sísmica, tipo de área en que se presenta), daños, descripción general, esquema, geología, hidrología, erosión,

000084

morfometria del talud afectado, clasificación y características de FRM y medidas preventivas. La clasificación utilizada para los fenómenos de remoción en masa fue la de Varnes (1978)

Se recolectó la información de los conceptos técnicos de la UPES, el registro de emergencias y los estudios contratados por la UPES y el Distrito para evaluar la amenaza y el riesgo de diferentes áreas específicas, los cuales se ubicaron gráficamente con el objetivo de actualizar la información existente durante los recorridos en el área de estudio.

Los elementos cartografiados involucraron: FRM antiguos y nuevos, áreas de canteras abandonadas y actuales, rondas intervenidas de las quebradas, rellenos, canales, obras correctivas y preventivas, erosión hídrica y escarpes.

La cartografía se elaboró con planos a escala 1:5.000 y los recorridos se hicieron tomando las microcuencas como unidad base para la recolección de información. Las convenciones utilizadas para la cartografía fueron tomadas de ITC de Holanda y adaptadas a los requerimientos del estudio.

Para la cartografia se utilizaron dos grupos de trabajo, conformados cada uno de ellos por un ingeniero geotecnista, un geólogo y dos auxiliares de ingeniería. La cartografia se levantó de marzo a junio de 1.998.

Se obtuvieron 154 fichas en el área de estudio, las cuales fueron procesadas en una base de datos e incorporadas al mapa de inventario de procesos y distribuídas de la siguiente forma:

LOCALIDAD	FICHAS
CIUDAD BOLIVAR	60
RAFAEL URIBE URIBE	23
SAN CRISTOBAL	33
SANTA FE	16
USAQUEN	22
TOTAL	154

El Mapa de Procesos Actuales final de los diferentes procesos registrados en campo fue obtenido después de procesar la información en planos borradores, digitalizarlos y corregirlos.

4.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Debido a que la mayoría de problemas de inestabilidad se restringen a áreas muy pequeñas, la escala del trabajo utilizada fue de 1:5.000, cartografiando los procesos de un área mayor de 144 m^2 (12 m x 12 m). Sin embargo, algunos procesos fueron agrupados en áreas para poder ser cartografiados o fueron dejados como puntos en el mapa.

Las fichas se utilizaron solamente en las áreas de gran magnitud y/o afectación severa a la población, puntos y lineas vitales; debido al tiempo que se requeria en llenar cada una de estos formularios. En las otras áreas, cartografiadas sin ficha, la información se limitó a la identificación del proceso.

El mapa elaborado en campo se complementó con la información de procesos morfodinámicos suministrada por las fotografias aéreas. Además se hizo un registro fotográfico de las zonas cartografiadas que permitiera correlacionar la intensidad y magnitud de las diferentes áreas levantadas.

000085

Una de las principales limitaciones del inventario fué la información cartográfica disponible. Las áreas cubiertas por la información proveniente del Mapa Digital de Catastro es incompleta y el área restante que se digitalizó de las planchas del IGAC de diversos años, está desactualizada.

4.4 CLASIFICACION DE PROCESOS DE REMOCION EN MASA

Los procesos identificados se clasificaron en las siguientes categorías:

TABLA No. 2 Clasificación de procesos

TIPO DE PROCESO	SÍMBOLO
Caída de rocas en escarpes naturales	Cren
Caída de rocas en escarpes de origen antrópico (canteras, corte de vías, etc.)	Crea
Deslizamiento rotacional en suelo	Drs
Deslizamiento traslacional en suelo	Dts
Deslizamiento traslacional en roca	Dtr
Deslizamiento compuesto (traslacional y rotacional en suelo)	Dcp
Deslizamiento rotacional en material intermedio	Dri
Deslizamiento traslacional en material intermedio	Dti
Flujo en suelos	Fls
Flujos en material intermedio	Fli

Los materiales intermedios corresponden principalmente a saprolitos y depósitos coluviales.

4.5 ASIGNACION DE PROBABILIDADES DE FALLA

Dependiendo de la actividad identificada para cada fenómeno, se asignó la probabilidad cualitativa de ocurrencia, según la siguiente tabla:

TABLA No. 3 Probabilidad de Ocurrencia de la Amenaza según la Actividad del Proceso

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD
Aa	Proceso Activo	Muy Alta
Ac	Proceso Colapsado	Media
Ai	Proceso Incipiente	Alta
E	Proceso Estabilizado	Baja

Para la valoración de la probabilidad en términos cuantitativos, se utilizó la valoración por medio de conjuntos difusos, obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA No. 4 Probabilidades Cuantitativas de Amenaza por Procesos Actuales

Probabilidad Cualitativa	Confianza	Pr Máxima	Pr Mínima
Muy Alta	0.5	1.000	0.875
Alta	0.5	0.875	0.625
Media	0.5	0.625	0.375
Baja	0.5	0.375	0.175
Muy Baja	0.5	0.125	0.000

000086

5. CONTRASTACION DE MAPAS DE AMENAZA

5.1 PROCEDIMIENTO

Una vez obtenidos los Mapas de Amenaza Relativa por los métodos SES y MTN, cada con cinco (5) categorías de amenaza y el Mapa de Procesos, se adelantó el siguiente procedimiento:

a) Contrastación visual entre cada uno de los mapas de amenaza (SES vs Procesos, MTN vs Procesos, SES vs MTN)

b) Elaboración de varios modelos de superposición y contrastación, con diferentes niveles de conservatismo y/o preponderacia de los métodos y escogencia de uno de ellos.

c) Asignación de probabilidades de falla y tipo de solicitaciones.

Es de anotar que las características de cada uno de los mapas no facilita la contrastación debido a lo siguiente:

a) El SES se aplica a unidades de área y es el que tiene cubrimiento total. Los tamaños de la Unidades de Condición Unica son muy variables y no controlables previamente al proceso.

b) La MTN tiene básicamente mediciones lineales y la extensión a un cubrimiento de área se hace con métodos matemáticos de interpolación y extrapolación, los cuales influyen en la forma de las zonas de amenaza. Por la escala de trabajo (1:5.000), la altura mínima medible es de 15m.

c) El Mapa de Procesos cubre tan sólo las áreas afectadas y no permite extrapolación. Por la escala de trabajo (1:5.000) hay un tamaño mínimo cartografiable (144m2).

5.2 CONTRASTACION VISUAL

El proceso de contrastación visual es esencialmente subjetivo y se llevó a cabo tanto en la pantalla del computador, como con copias en papel translúcido de los diferentes mapas. De este análisis se pudo apreciar lo siguiente:

a) Los resultados de SES y MTN son relativamente contradictorios en las zonas de pendientes extremas (muy altas o muy bajas), debido a las hipótesis diferentes con las cuales se trabajan las pendientes del terreno en los dos modelos.

b) Hay mayor coincidencia de SES y Procesos en relación a MTN y Procesos, debido a que la mayoría de procesos se deben a efectos antrópicos, los cuales se tuvieron en cuenta explícitamente en el SES, mientras que son de difícil incorporación a la MTN. Adicionalmente, por la escogencia semialeatoria de las familias de la MTN, no hubo mediciones en muchas de las zonas con procesos antrópicos.

c) En general hay coincidencias entre SES y MTN cuando los materiales són débiles (depósitos cuaternarios

5.3 MODELOS DE SUPERPOSICION Y CONTRASTACION

Es necesario obtener zonas de comportamiento homogéneo de amenaza y por las características de los Modelos SES y MTN, no es posible decir cual de los dos podría tener preponderancia. Lo que sí es cierto es que los procesos actuales, por su propia naturaleza, priman sobre los otros métodos.

En consecuencia se planteó inicialmente la siguiente matriz de superposición conservativa entre SES y MTN, para amenaza Muy Alta (MA), Alta (A), Media (M), Baja (B) y Muy Baja (MB) :

SES

MTN \ CAT.	MA	A	M	B	MB
MA	MA	MA	A	A	M
A	MA	A	A	M	M
M	A	A	M	M	B
B	A	M	M	B	B
MB	M	M	B	B	MB

Con esta matriz se hizo un mapa de prueba y se pudo constatar que zonas tradicionalmente con estabilidad aceptable se encontraban en categorías críticas, por lo cual se optó por una segunda matriz totalmente equilibrada y con diferentes niveles dentro de las categorías de Amenaza Alta, Media y Baja así:

SES

MTN \ CAT.	MA	A	M	B	MB
MA	MA	A1	A2	M1	M2
A	A1	A2	M1	M2	M3
M	A2	M1	M2	M3	B1
B	M1	M2	M3	B1	B2
MB	M2	M3	B1	B2	MB

Con esta nueva matriz se produjeron mapas de prueba tanto con los cinco niveles originales como con los nueve subniveles deducidos, encontrándose una aproximación aceptable con la apreciación en la pantalla del computador, por lo que se adoptaron para seguir el proceso y se les denominó Mapas de Métodos.

Al Mapa de Métodos de cinco niveles se le superpuso el Mapa de Procesos Actuales con sus niveles de amenaza y con la siguiente matriz de superposición, asignando la categoría más alta de los dos mapas contrastados:

PROCESOS

METOD \ CAT.	MA	A	M	B
MA	MA	MA	MA	MA
A	MA	A	A	A
M	MA	A	M	M
B	MA	A	M	B
MB	MA	A	M	B

Con esta matriz y la anterior se produjeron los Mapas de Amenaza por Inestabilidad del Terreno Definitivos.

5.4 ASIGNACION DE PROBABILIDADES Y SOLICITACIONES

En las zonas de procesos, se mantuvieron las probabilidades asignadas anteriormente a las diferentes categorías las cuales se colocan a las categorías modificadas. Igualmente se mantienen las solicitaciones ya asignadas.

En las zonas en las cuales no hay procesos actuales, se asignaron los Factores de Seguridad de la MTN para el período de 10 años y de ellos se dedujeron probabilidades de falla para los nueve (9) niveles de categoría de amenaza, con k10=1.688573 y la fórmula (3) así:

	FACTOR DE SEGURIDAD			PROBABILIDAD DE FALLA		
AMENAZA	DE	A	ASIGN.	DE	A	ASIGN.
MA	0.1954	0.6249	0.3494	95.695%	73.098%	88.920%
A1	0.6249	0.8291	0.7198	73.098%	60.344%	67.176%
A2	0.8291	1.1000	0.9550	60.344%	44.300%	52.661%
M1	1.1000	1.3282	1.2087	44.300%	32.651%	38.496%
M2	1.3282	1.6036	1.4594	32.651%	21.466%	26.919%
M3	1.6036	1.9362	1.7621	21.466%	12.059%	16.462%
B1	1.9362	2.5689	2.2302	12.059%	3.305%	6.818%
B2	2.5689	3.4082	2.9589	3.305%	0.410%	1.318%
MB	3.4082	4.8764	4.0767	0.410%	0.004%	0.059%

Dado que tanto el SES como la MTN han sido desarrollados básicamente para deslizamientos, no es posible asignar un tipo de FRM diferente, como si se hizo para los procesos.

5.5 PRESENTACION DE RESULTADOS

Como producto final se obtuvo la cartografía de la amenaza por inestabilidad del terreno para el área de estudio a escala 1:10.000, distribuidos en cinco planchas.

La Tabla No. 5, resume los resultados obtenidos en términos de distribución areal de cobertura de cada una de las categorías de amenaza establecidos, para cada una de las planchas y para el área de estudio.

En promedio el 61% del área de estudio se categorizó en el nivel de amenaza media, el 11%v como amenaza alta y el restante 28% como amenaza baja. Lo que permite concluir que la condición general de estabilidad del área de estudio se encuentra en equilibrio relativo con relación a su entorno, dando lugar a la posibilidad de que un área determinada cambie de categoría de estabilidad, en forma positiva o negativa, dependiendo principalmente de la acción antrópica sobre el medio físico.

La localidad de Ciudad Bolívar presenta el mayor porcentaje del área con niveles de amenaza alta y muy alta (15.4 % del área de estudio de la localidad), mientras la localidad de Suba presenta un 4.3% de su área.

En contraste la localidad de Usaquén presenta un 43% del área en categoría de amenaza baja y muy baja, mientras Ciudad Bolívar el 18% y Suba el 20% del área.

Las localidades de Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santafé y Chapinero presentan un comportamiento similar; zonas con niveles de amenaza altos, entre 8.8% y 10.2% del area de las

056089

planchas correspondientes, el 62% del área con categoría de amenaza media y el restante en categorías de amenaza baja.

Como resumen descriptivo de los resultados obtenidos en cada plancha de análisis, se establecen las condiciones generales a las cuales se asocian las diferentes categorías de amenaza.

LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR

MUY ALTA. Laderas con fenómenos de remoción en masa activos, bien definidos, recientes, y asociados principalmente a la acción del hombre. Se localiza, generalmente en áreas de explotación minera y en zonas de vertimiento sin control de aguas servidas. En esta categoría clasifica el Relleno de Doña Juana y el flujo de basuras.

ALTA. Laderas con evidencias de procesos de inestabilidad inactivos o estabilizados y procesos erosivos intensos, desarrollados sobre depósitos cuaternarios y suelos residuales, con influencia de los lineamientos de falla del Mochuelo, Terreros y Quiba. Se localizan en áreas de explotación minera, ronda de los cursos de agua y áreas sin cobertura de servicios públicos.

MEDIA. Laderas sin evidencias de inestabilidad actual, con procesos erosivos de intensidad media a baja. Cubre gran parte del área rural y áreas urbanas consolidadas o en proceso. la acción antrópica es de intensidad moderada, especialmente en lo referente a la falta de redes de alcantarillado y vías sin pavimentar.

BAJA. Laderas de piedemonte de pendiente baja conformadas sobre depósitos de terraza, que cubren áreas urbanas consolidadas. Y laderas estables localizadas en las partes altas de las vertientes, labradas especialmente sobre la formación Arenisca Dura (Ksgd).

MUY BAJA. Generalmente zonas planas en áreas urbanas consolidadas, localizadas en la zona de acumulación de la vertiente conformando las terrazas altas y bajas.

LOCALIDADES DE RAFAEL URIBE URIBE Y SAN CRISTOBAL

MUY ALTA Laderas con FRM. Activos, bien definidos, recientes, localizados a lo largo de las rondas de los cauces principales de los ríos San Cristóbal y quebradas Chiguaza, Trompetas y otros cauces menores.

ALTA Laderas con evidencias actuales de inestabilidad. Desarrolladas en depósitos cuaternarios y con materiales arcillosos de las Formaciones Bogotá (Tpb) y Regadera (Ters). Asociadas a las áreas de explotación minera activas y abandonadas, y rondas de cauces. La inestabilidad del terreno esta acentuada por procesos erosivos intensos y falta de cobertura de servicios públicos básicos.

MEDIA Laderas sin evidencias de inestabilidad actual. Representan áreas rurales y áreas urbanas consolidadas o en proceso. Los procesos de erosión son de baja a media intensidad, en áreas de uso minero estos se acentúan generando mayor susceptibilidad a que se presenten FRM.

BAJA Laderas rectilíneas estables localizadas en la parte alta de la vertiente derecha del río Tunjuelito con cobertura vegetal de bosque; sobre rocas de formación arenisca dura. (Ksgd). Laderas intermedias de transporte en depósito cuaternarios (TQt, QTb, Qta), en zonas urbanas consolidadas.

MUY BAJA Generalmente laderas rectilíneas de las partes altas de la vertiente. Y zonas urbanas de pendientes bajas.

LOCALIDADES DE SANTAFE Y CHAPINERO

MUY ALTA Laderas con FRM. Activos, bien definidos, antiguos o recientes, localizados especialmente en antiguas zonas de explotación minera. Sobre materiales arcillosos; localmente laderas con procesos de FRM sobre depósitos cuaternarios.

ALTA Laderas coluviales y rectilíneas con pocas evidencias de inestabilidad actual y con procesos erosivos de alta intensidad, con influencia predominante de la Falla de Bogotá y el sistema de fallas transversales. Asociadas a los valles de los cursos principales de los ríos y quebradas en partes bajas de la vertiente; y a zonas urbanas sin pavimentación.

MEDIA Laderas de cauce y rectilíneas entallada en su mayoría en rocas del Grupo Guadalupe sin evidencias de inestabilidad actual. En las partes alta conforman área forestales de protección y en las partes bajas corresponden a zonas urbanas consolidadas.

BAJA Laderas de cauce labradas en roca de la Formación Arenisca dura localizadas en la parte alta de la vertiente. Laderas del Pie de Monte conformadas predominantemente por depósitos de terraza (Qta, Qtb) que cubren áreas urbanas consolidadas.

MUY BAJA Generalmente zonas de pendiente muy baja en áreas urbanas consolidadas.

LOCALIDAD DE USAQUEN

MUY ALTA Laderas con fenómenos de remoción en masa activos, recientes, y asociados principalmente a la acción del hombre. Se localiza generalmente en áreas de explotación minera y eventualmente en áreas conformadas por depósitos coluviales localizados en zonas de pendiente media a alta.

ALTA Laderas con evidencias de desarrollo de procesos de inestabilidad y presencia de procesos erosivos intensos, desarrollados principalmente sobre depósitos de ladera (Qdlc, Qdlt) y material de la Formación Labor del grupo Guadalupe, sin cobertura vegetal, con influencia de los lineamientos de falla en sentido NE-SW. Se localiza en áreas de explotación minera y áreas urbanas en proceso de consolidación, con cobertura de servicios públicos básicos.

MEDIA Laderas sin evidencias de inestabilidad actual, con procesos erosivos de intensidad media a baja. Cubre áreas rurales, urbanas de conservación, y áreas urbanas consolidadas.

La acción antrópica es de intensidad moderada, y se refleja especialmente en áreas de explotación minera y áreas urbanas sin pavimentar.

BAJA Laderas rectilineas de pendiente alta, estables, entallados en rocas tipo arenisca del grupo Guadalupe destinadas principalmente a áreas de protección. Laderas de piedemonte, de pendiente baja sobre depósitos de terraza (Qta, Qtb) de uso urbano consolidado.

LOCALIDAD DE SUBA

MUY ALTA Laderas con FRM activos, bien definidos, recientes; desarrollados en depósitos coluviales y en las rondas de drenajes menores

ALTA Laderas con evidencias actuales de inestabilidad, en zonas de antigua explotaciòn y rondas de cauces menores.

Principalmente se localiza en depósitos coluviales.

MEDIA Laderas sin evidencias de inestabilidad. Representa la mayor parte de la localidad tanto áreas urbanas, construidas y de conservación.

000091

BAJA Laderas rectilíneas con la Formación Guaduas (KTg) sin urbanizar, con cobertura vegetal. Zonas planas conformadas por depósitos de terraza y coluviales en áreas urbanas consolidadas.

MUY BAJA Generalmente laderas rectilíneas de las partes altas de la vertiente. Y zonas urbanas de pendientes bajas.

NOTA: Las zonas de categoría de Amenaza Alta y Media son susceptibles a cambiar de nivel, dependiendo de las acciones antrópicas que tienden a mejorar o no la condición Física - Ambiental de las mismas zonas.

6. LIMITACIONES

El análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa es una tarea muy compleja dado que muchos factores pueden jugar un papel importante en la ocurrencia de los eventos. Se han empleado las técnicas estimadas como las más adecuadas y precisas para su evaluación, pero aún hay grandes limitaciones, compartidas con cualquier método que se emplee o se haya empleado en cualquier lugar del mundo. (p.ej. Cruden y Fell, 1997)

En los informes detallados de cada uno de los métodos y durante el desarrollo del presente informe ya se han identificado las limitaciones de los diferentes procedimientos empleados para obtener el Mapa de Amenaza, sin embargo hay una limitante común que tiene que ver con el uso obligado de cartografía de diferentes épocas, necesariamente desactualizada y heterogénea, lo cual hace que tanto la MTN, como el SES, el Mapa de Procesos y por lo tanto el Mapa Definitivo de Amenaza, tengan una validez limitada y difícil de estimar, en especial en las zonas con afectación antrópica reciente.

Por lo tanto el mapa de amenaza es una guía para toma de decisiones, en conjunto con los estudios complementarios de vulnerabilidad y riesgo, más que una delimitación cartográfica exacta de predicción de fenómenos de remoción en masa.

ALVARO J. GONZALEZ G.

Santafé de Bogotá, Octubre de 1998

INGEOCIM Ltda.
Ingenieros Consultores

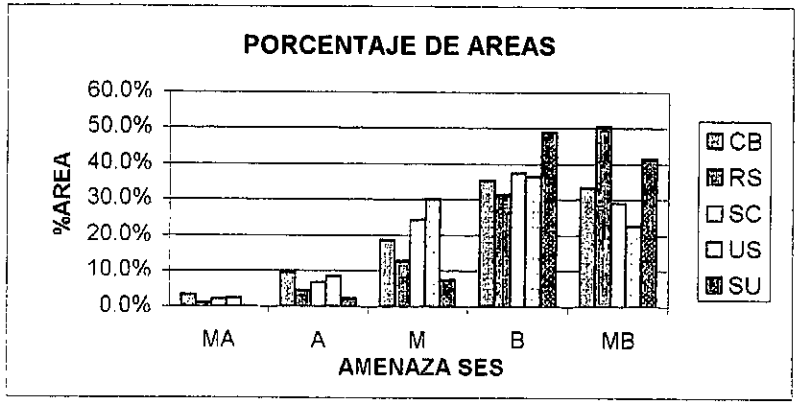
ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES EN LA CIUDAD DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ

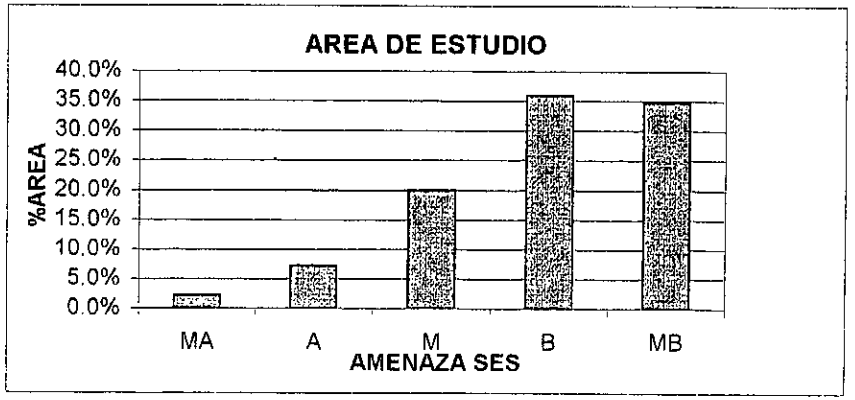
Alcaldía Mayor de Santa Fé de Bogotá, D.C.

FIGURA No. 10 - ANALISIS MAPA DE AMENAZA POR INESTABILIDAD DEL TERRENO (SES y MTN)

CATEGORIA			LOCALIDADES											
			CB		RS		SC		US		SU		TOTAL	
CAL	DESCRIPCION		AREA (m²)	%AREA	AREA (m²)	%AREA	AREA (m²)	%AREA	AREA (m²)	%AREA	AREA (m²)	%AREA	AREA (m²)	%AREA
1	Muy Alta	MA	1708909.9	3.3%	425349.0	1.0%	896467.3	2.2%	827176.9	2.4%	27742.5	0.2%	3885645.5	2.1%
2	Alta	A	5034112.5	9.6%	1918140.1	4.6%	2764859.4	6.9%	2967580.2	8.5%	251161.9	2.2%	12935854.1	7.1%
3	Media	M	9675298.3	18.5%	5360425.7	12.7%	9720166.2	24.2%	10559293.7	30.1%	840899.7	7.3%	36156083.6	20.0%
4	Baja	B	18513860.1	35.3%	13178787.5	31.3%	15010956.2	37.4%	12777923.4	36.4%	5601135.8	48.8%	65082663.0	35.9%
5	Muy Baja	MB	17451944.6	33.3%	21270205.5	50.5%	11703949.5	29.2%	7968286.2	22.7%	4746766.3	41.4%	63141152.1	34.8%
TOTAL			**52384125.3**	**100.0%**	**42152907.9**	**100.0%**	**40096398.6**	**100.0%**	**35100260.4**	**100.0%**	**11467706.2**	**100.0%**	181201398.4	1

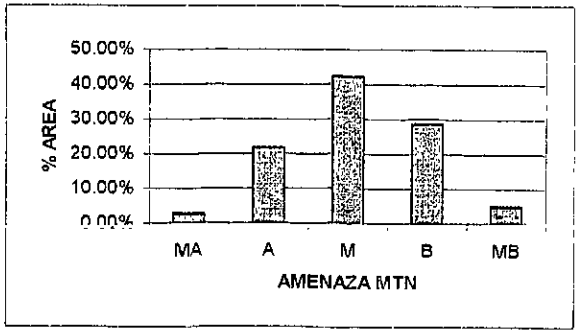
SES: SISTEMA DE EVALUACION SEMICUANTITATIVA
MTN: METODO DE TALUDES NATURALES





CB : Ciudad Bolivar
RS : Rafael Uribe U. Y San Cristóbal
SC : Santafé y Chapinero
US : Usaquén
SU : Suba

AMENAZA MTN		
	AREA (m²)	%AREA
MA	3473913.9	2.6%
A	29376053.3	21.6%
M	57427776.9	42.3%
B	38986766.5	28.7%
MB	6464168.7	4.8%
	135728679.3	100.0%



0000092

BIBLIOGRAFIA

ANG, A.H.S; TANG, W.H. (1984).- Probability Concepts in Engineering Planning and Design- Vol.II - Decision, Risk and Reliability- 562 pp.- John Wiley & Sons.

CRUDEN, D.M; FELL, R., Editors (1997). - Landslide Risk Assessment - Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment, Honolulu, Hawai, USA- 19-21 February 1997 - Balkema, 1997- 371pp

DENNESS, B. (1988).- The Variation of the Universal Gravitational Constant and the Distribution of Earthquakes in China Through Time and Space - Conferencias para la Investigación de Deslizamientos de la Red Vial Nacional - Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería - Noviembre de 1988.

GONZALEZ G., A.J. (1990a) - Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos - VI Jornadas Geotécnicas- SCI - Memorias - Tomo I, pp. 153-170, Bogotá, Octubre 1990.

GONZALEZ G., A.J. (1990b) - Metodología para Evaluación de Riesgo por Deslizamientos a Nivel Intermedio- VI Jornadas Geotécnicas- SCI - Memorias - Tomo II- Bogotá, Octubre 1990.

GRANT, K. (1976) - The P.U.C.E. Program for Terrain Evaluation for Engineering Purposes, I: Principles, CSIRO, Division of Applied Mechanics, Technical Paper 19, 68 pp., Sydney - 1976

INGEOMINAS (1995) .- Evaluación Preliminar de Susceptibilidad y Amenaza en las Localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, Usme y San Cristóbal de Santafé de Bogotá D.C. - Octubre, 1995

RAMIREZ, F. (1988) - Sistema Semi-Cuantitativo de Evaluación a Escala Intermedia de Zonas Homogéneas de Estabilidad - Tesis de Magister en Geotecnia - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Colombia - 187pp- 1988.

RAMIREZ, F.; GONZALEZ G., A.J. (1989).- Evaluación de Estabilidad para Zonas Homogéneas.-I Simposio Suramericano de Deslizamientos- Vol. I, pp. 174-192, Sociedad Colombiana de Geotecnia - Paipa, Agosto de 1989

SHUK E., T. (1968).- Un Método Sencillo de Diseño para Minimizar el Costo de Taludes en Roca.- Primer Simposio de Ingeniería Geológica, Vol. II, MOPT-SCI, Bogotá, 1968

SHUK E., T. (1970).- Optimization of Slopes Designed in Rock.- Proceedings 2nd. Intl. Congress on Rock Mechanics .- Vol. 3 .- Paper 7-2- pp. 275-280.-ISRM, Beograd,

SHUK E.,T. (1990).- La Evolución y el Estado Actual de la Metodología Basada en Taludes Naturales para Análisis de Estabilidad en Masas de Materiales Geológicos - Parte I- III Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas, SVMSIF, Caracas, Octubre de 1990.

SHUK E.,T. (1995).-Metodología de Taludes Naturales (MTN) - Principios y Aplicaciones - Manuscrito en proceso - Sociedad Colombiana de Geotecnia.

000094

SHUK E.,T.; GONZALEZ A.J. (1993).- Quantification of Slope Instability Risk and Cost Parameters for Geotechnical Applications in a Highway Project and in a Regional Study - ICOSSAR'93 (Sixth Intl. Conference on Structural Safety and Reliability) - Vol. 3, pp. 2025-2032 - Innsbruck - August 1993- A.A.Balkema

VARNES, D.J. (1978).- Slope Movements Types en "Landslides, Analysis and Control", TRB Special Report 176, Washington D.C. , 1978

000095

ANEXO 1

000093

I SIMPOSIO SURAMERICANO DE DESLIZAMIENTOS

I SOUTHAMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES



VOLUMEN 1

VOLUME 1

PAIPA, COLOMBIA – Agosto 7 a 10, 1989

EDITADO POR LA COMISION
COLOMBIANA DE DESLIZAMIENTOS

SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA
COMITE SURAMERICANO DE MOVIMIENTOS EN MASA

000097

I. SIMPOSIO SURAMERICANO DE DESLIZAMIENTOS, 7-10 AGOSTO 1989, PAIPA- COLOMBIA

Evaluación de Estabilidad para Zonas Homogéneas.
Stability Evaluation for Homogeneous Zones.

F. Ramírez
I. C., M. Sc., Postgrado en Geotecnia, Ingeniero de la Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional MOPT- UN (Actualmente en INGETEC).
A. J. González
I. C., M. Sc., DIC, Profesor Asociado, Director de la Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional MOPT-UN. Universidad Nacional de Colombia.

RESUMEN

El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad hace parte integral de la "Metodología para el Estudio de Zonas Homogéneas de Estabilidad" desarrollada por la Universidad Nacional de Colombia (UN - MOPT 1988) dentro del Contrato MOPT - UN, Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional. Dicha metodología comprende fundamentalmente dos etapas : una de clasificación y otra de evaluación, posterior a la primera. En la etapa de evaluación se le asigna a cada zona homogénea,previamente identificada, una categoría de estabilidad según las condiciones litológicas, topográficas y climáticas que ella posea.

El sistema de evaluación aquí propuesto, hace semicuantificable dicha asignación, en el estudio de Unidades de Terreno (escala intermedia 1:25.000), de tal forma que el resultado obtenido tiene relación directa con las categorías de estabilidad ya citadas. Adicionalmente este sistema de evaluación permite llevar a cabo labores comparativas entre diferentes sectores de un área de estudio y finalmente constituye un sistema de manejo y archivo de información que facilita el uso posterior de la misma.

1. CATEGORIAS DE ESTABILIDAD

En la Tabla 1 se presenta la clasificación de estabilidad para Unidades de Terreno, adaptada y modificada por Forero y García (1987).

2. UNIDADES DE TERRENO

La Unidad de Terreno corresponde a uno de los cuatro niveles de clasificación, Jerárquica de la "metodología para el estudio de zonas homogéneas", concreta - mente al nivel de escala intermedia (1:25.000), el cual está basado en la concep - ción P.U.C.E. de Grant (1976) y la cual se presenta en otro artículo a este Simposio (Cortés, 1980).

La Unidad de Terreno puede definirse como un área de terreno, cartografiable, con una litología característica a nivel de formación sedimentaria o macizos Igneos o Metamórficos de la misma composición y edad, y que posee :

000093

TABLA 1

CLASIFICACION DE ESTABILIDAD DE PENDIENTES

Croizier	MOPT - UN	Características
Clase I	Clase VI	Pendientes con deslizamientos activos, el material se presenta en contínuo movimiento, los deslizamientos son recientes y bien definidos. Los procesos de inestabilidad pueden ser contínuos o asociados a períodos lluviosos.
Clase II y III	Clase V	Pendientes que presentan deslizamientos frecuentes o reactivación de deslizamientos antiguos. Los procesos de inestabilidad no son regulares y se asocian a eventos recurrentes con intervalos de varios años.
Clase IVa	Clase IV	Pendientes con 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 aún.
Clase IVb	Clase III	Pendientes 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.
Clase V	Clase II	Pendientes que no presentan evidencia de deslizamientos, pero se pueden desarrollar procesos de erosión y deslizamientos en el futuro.
Clase VI	Clase I	Pendientes que no presentan evidencias de inestabilidad y se consideran estables a través del análisis comparativo con otras pendientes.

(Modificado de Crozier, 1984)

000093

- Una asociación de suelos característicos
- Una asociación de pendientes características
- Una amplitud de relieve constante.

3. PROCEDIMIENTO

Consiste básicamente en la evaluación de ocho parámetros a saber : tipo de material (M), relieve (R), drenaje (D), erosión (E), clima (C), vegetación (V), sismicidad (S) y evidencias de procesos antiguos de inestabilidad (F). (Ver Figura 1). Para cada parámetro se han establecido una serie de condiciones resultantes de la variación y combinación de los factores que determinan dichos parámetros. Así por ejemplo las condiciones de vegetación (parámetro V) en la Unidad de Terreno serán función de la pendiente, del tipo de vegetación existente y del porcentaje de área cubierta por ésta. En este caso, los factores pendientes, tipo de vegetación y porcentaje de área cubierta determinan el parámetro V. En la Tabla 2 se detallan los diferentes factores asociados a cada uno de los parámetros arriba mencionados.

A cada condición le corresponde un puntaje, según influya favorablemente o desfavorablemente en la estabilidad. La suma de los puntajes correspondientes a las condiciones existentes en una Unidad de Terreno, constituye la Calificación de Estabilidad (CE), que como se mencionó anteriormente, está correlacionada con las categorías de estabilidad (Tabla 1) propuestas en la metodología para el estudio de zonas homogéneas.

4. METODO DE APLICACION

La aplicación de este sistema de evaluación, supone la identificación previa de la Unidad de Terreno. Una vez definida la Unidad de Terreno se procede a evaluar en dicha Unidad cada uno de los ocho parámetros del sistema de vegetación. A continuación se detalla la forma de evaluación, de cada parámetro.

4.1 TIPO DE MATERIAL (PARAMETRO M)

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 éste y con las condiciones en que se encuentre el material, se obtiene un puntaje del parámetro M el cual es característico a cada Unidad de Terreno.

a) Roca

Se entiende dentro de roca los macizos rocosos, correspondientes a los niveles I, II de Dearman (1974) (Figura 2) y el estado de las masas rocosas se evalúa bajo dos aspectos principales : litología (y/o resistencia al material rocoso) ; condición de fracturamiento (Figura 1a).

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 (Figura 1a), de acuerdo con la resistencia a la compresión simple (Qc.) o a la litología propiamente dicha (Montero et al, 1984).

Posteriormente se debe evaluar la condición de fracturamiento, para lo que se considera desde rocas masivas hasta rocas intensamente fracturadas o

TABLA 2. PARAMETROS Y FACTORES DE EVALUACION

Parámetro		Símbolo	Factores
Tipo de Material	Roca	M	· Tipo de material rocoso · Condición de fracturamiento
	Material Intermedio		· Tipo de material intermedio · Influencia de las escrituras
	Suelo		· Tipo de suelo · Condición in-situ
Relieve		R	· Pendiente · Forma de Perfil longitudinal
Drenaje		D	· Densidad de drenaje · Pendiente promedio de cauces
Erosión		E	· Tipo de erosión · % de área afectada
Clima		C	· Precipitación
Vegetación		V	· Pendiente · Tipo de vegetación · % de área cubierta
Sismicidad		S	· Riesgo sísmico · Tipo de material
Evidencias de Inestabilidad		F	· % de área afectada

000100

FIGURA 10 SISTEMA SEMI-CUANTITATIVO DE EVALUACION DE ESTABILIDAD A ESCALA INTERMEDIA

(Tomado de INFORME TECNICO ID-UN-021)

PARAMETRO M (Puntaje Máx: 50)

ROCA

Tipo de Roca	Condición de Fracturamiento			
	Masiva (> 100 cm)*	Ligeramente fracturada o cizallada. (Ka 100cm.)	Moderadamente fracturada o cizallada. (1 a 10 cm)	Intensamente fracturada o cizallada. (< 1 cm)
TIPO 1 (σc) 2000 Kg / cm²)	50	39	21	9
TIPO 2 (1000 (σc (2000 Kg / cm²)	38	29	16	7
TIPO 3 (500 (σc (1000 Kg / cm²)	23	18	10	4
TIPO 4 (σc (500 Kg / cm²)	11	8	5	2

* Separación entre sistemas de discontinuidades (según Miller)

SUELO

Tipo de Roca Parental / Suelo	Residual			
	Suelo		Suelo Saprolítico	
	G	F	G	F
Igneo	2	3	3	4
Metamórfica	1	2	2	3
Sedimentaria	1	2	2	3
Cenizas volcánicas	2	3	3	4

Transportado							
Transporte por la acción directa de la gravedad		Transporte por agentes naturales.					
		Agua		Viento		Hielo	
G	F	G	F.	G	F	G	F
3	4	2	3	2	3	2	3

(G). Composición predominantemente granular (> 65% Ret. T200)

(F). Composición predominantemente fina (> 35% Pasa T200)

Tipos de Suelo	Condición en el terreno					
	Granular (Densidad)			Fino (Consistencia)		
	Alta	Media	Baja	Dura	Media	Blanda
Tipo 1	25	16	7	23	14	6
Tipo 2	19	12	5	18	11	4
Tipo 3	11	7	3	11	7	3
Tipo 4	5	3	2	5	3	1

MATERIAL INTERMEDIO

Roca Parental		Erodabilidad de la matriz				Influencia de las Estructuras*			
		Baja	Media	Alta	Muy Alta	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Materiales residuales	Igneo	2	3	4	4				
	Metamórfica	1	2	3	4				
	Sedimentaria	1	2	3	4				
Materiales transportados	Talus o material Coluvial	2	3	4	4				
TIPO 1						35	27	15	6
TIPO 2						26	20	11	5
TIPO 3						16	13	7	3
TIPO 4						8	6	3	1

* ver tablas 1 y 2.

TABLA 1. IDENTIFICACION DE ESTRUCTURAS HEREDADAS

ESTRUCTURAS HEREDADAS	Densidad Baja	Densidad Alta
Sistemas de diaclasamiento (rellenos o no, estriados o no)	4	8
Contactos litológicos y estratificación deposicional (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 deslizamientes (Generalmente asociadas a una o varias de las estructuras anteriores)	6	12

TABLA 2. INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS

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

CC0701

FIGURA 1b (continuación)

PARAMETRO R (R:A1B) Puntaje Máx:44

Sub - zonas	Rango de pendiente	A
1 Interfluvio	0 - 1°	30
2 Ladera con infiltración	2°- 4°	19
3 Ladera con reptación	10°- 30°	8
4 Escarpe o ladera rectilínea	> 30°	19
5 Ladera intermedia de transporte	20°-30°	6
6 Ladera coluvial	5°-20°	6
7 Aluviones	0 - 4°	21
8 Ladera de cauce	>40°	6

Perfil	B
Convexo	9
Rectilíneo	12
Cóncavo	14

PARAMETRO D (Puntaje Max.35)

Pendiente promedio de cauces	Densidad de drenaje		
	Baja	Media	Alta
Baja (0°- 5°)	35	30	23
Media (5°-15°)	25	19	13
Alta (>15°)	16	10	6

PARAMETRO E Puntaje Max 35

Tipo de erosión / % de área afectada	Leve 0 - 10 %	Moderada 10 - 30 %	Severa 30 - 60 %	Muy severa >60%
Laminar	30	21	14	5
Diferencial	22	15	10	4
Concentrada	15	11	7	3
Por socavación	11	8	5	2

Nota: Cuando no haya erosión el puntaje será 35

PARAMETRO V Puntaje Max. 32

Pendiente	0 - 20°			20° - 45°			> 45°		
Tipo de vegetación / % área cubierta	0-30%	30-50%	>50%	0-30%	30-50%	>50%	0-30%	30-50%	>50%
Bosque nativo, secundario, rastrojo alto	12	22	32	10	17	25	8	13	19
Rastrojo bajo, cultivos permanentes o semipermanentes	10	18	27	7	12	17	3	5	7
Pastos o vegetación herbácea	10	17	25	6	10	14	2	4	6
Cultivos limpios o desmonte	8	14	20	3	6	8	1	2	3

Nota: Se debe escoger la condición de vegetación más desfavorable, presente en la unidad de terreno.

PARAMETRO C Puntaje Max : 40

PMA	Baja	Media	Alta
C	40	19	8

PMA : Precipitación media anual.

PARAMETRO S Puntaje Máx: 24

Tipo de material ** / Riesgo sísmico	Valores de Aa *						
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
S 1	24	21	17	13	8	5	2
S 2	12	10	8	7	4	3	1
S 3	4	3	3	2	1	1	0

* 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 tutítica que tiene una velocidad de la onda de cortante > 750 m/s.

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

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

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

PARAMETRO F Puntaje Máx. 40

% de area directamente asociada con evidencias de fenómenos antiguos de inestabilidad.	0 - 10 %	10-30 %	30-60 %	>60 %
F	40	28	18	7

CALIFICACION DE ESTABILIDAD CE Puntaje Max:300 Mín:40

$$CE = M + R + D + E + V + C + S + F$$

000102

000103

cizalladas. En esta evaluación se considera el espaciamiento de la o las familias de discontinuidades más desfavorables para la estabilidad según su posición espacial.

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

b) Material Intermedio

Se define como material intermedio aquel que posee menos de 70% de matriz (Tamíz No.4) y corresponde a los niveles III y IV de Dearman (ref.cit) y algunos depósitos de sedimentos. Se evalúan tres características principales: litología, erodabilidad de la matriz e influencia de las estructuras (Figura 1a).

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

Dentro de los materiales intermedios se han incluído también materiales depositados tales como talus, coluviones y aluviones, en los cuales la matriz sea menor del 30% del depósito.

Con respecto a la erodabilidad de la matriz del material intermedio se consideran cuatro condiciones : baja, media, alta y muy alta. 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.

Dependiendo de la litología y de la erodabilidad de la matriz, se establecen cuatro tipos de material intermedio, del más favorable en términos de estabilidad (tipo 1), al más desfavorable (tipo 4).

La influencia de las estructuras se evalúan mediante la identificación de las estructuras heredadas y la presencia de éstas en baja o alta densidad (Tablas 1 y 2 de la Figura 1a).

Se trata entonces, de identificar (cuando sea posible) cuales de los 6 tipos de estructuras heredadas, definidas en la Tabla 1, se encuentra en el depósito de material intermedio que se esté estudiando. Para aquellas que han sido identificadas, se evalúa a continuación si éstas presentan baja o alta densidad. Dependiendo de ello y del tipo de estructura heredada, se asignan valores para cada caso. 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.

La suma de los valores correspondientes a los diferentes tipos de estructuras heredadas que se identifiquen en un material determinará la influencia de éstas en la estabilidad de dichos depósitos, de acuerdo con la Tabla 2, de la Figura 1.

Para el caso particular de los materiales depositados (coluviones, aluviones, talus, etc.) los cuales no presentan estructuras heredadas, se debe evaluar la influencia de estructuras 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

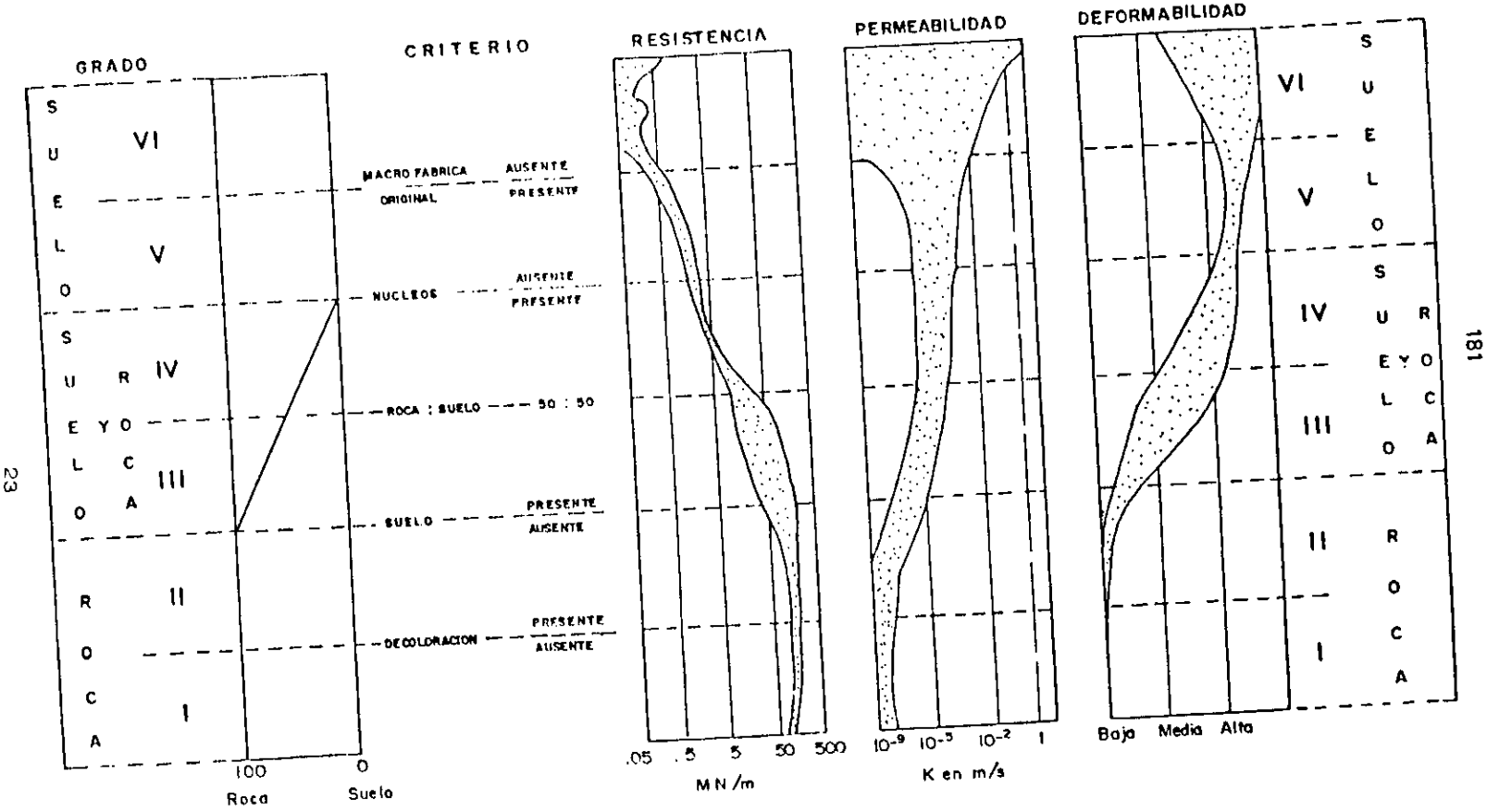


FIG: 2. IDEALIZACION DEL PERFIL DE METEORIZACION, SEGUN DEARMAN, (1974)

000105

cual se ha considerado esta condición en la Tabla 1 de la Figura 1.

Finalmente, la evaluación de la condición estructural para un tipo de material intermedio (establecido previamente), determina la calificación de estabilidad de dicho material.

c) Suelo

Se considera suelo aquel material que tiene más del 30% de matriz (Tamiz No.4) y se evalúa en cuanto a su origen, a su naturaleza granular o fina y a su condición in situ.

En cuanto a su origen se tienen dos tipos de suelo : residual y transportado. Los suelos residuales se diferencian según la roca parental sea ígnea, metamórfica o sedimentaria, y aquellos formados a partir de cenizas volcánicas o brechas de falla. Además se distinguen entre lo que se ha denominado suelo propiamente dicho (que corresponde al horizonte VI del perfil de meteorización de Dearman) y el suelo saprolítico (que corresponde al horizonte V de Dearman), ya que este último exhibe características estructurales inherentes, a diferencia del primero.

Los suelos transportados se diferencian entre aquellos traslocados por acción directa de la gravedad y los suelos depositados principalmente por agentes naturales de transporte. Dentro de los primeros se pueden mencionar los talus, los coluviones, los flujos de lodos y en general depósitos de laderas, en los cuales la matriz sea mayor al 30% del depósito. Dentro del segundo tipo se encuentran los suelos depositados por el agua (como aluviones, depósitos lacustres, etc.) por el viento (loess, dunas, cenizas volcánicas, etc.) y por el hielo (morrenas, eskers, etc.).

Cada uno de los tipos de suelo mencionados posee características propias que influyen de manera diferente en la estabilidad. Dependiendo de ello, se establecen arbitrariamente cuatro tipos, de suelo, de tal manera que el tipo 1 presenta las características más favorables y el tipo 4 las más desfavorables.

Adicionalmente se evalúa la condición in-situ de los suelos, para lo cual, se consideran tres condiciones de densidad (alta, media y baja) para los suelos granulares e igualmente tres condiciones de consistencia (dura, media y blanda) para los suelos de naturaleza fina. La calificación de estabilidad, será función del tipo de suelo (de 1 a 4) y de la condición in-situ del mismo.

4.2 RELIEVE (PARAMETRO R)

Se evalúan dos factores fundamentales : pendiente promedio y forma (perfil longitudinal) de la Unidad de Terreno (Figura 1b).

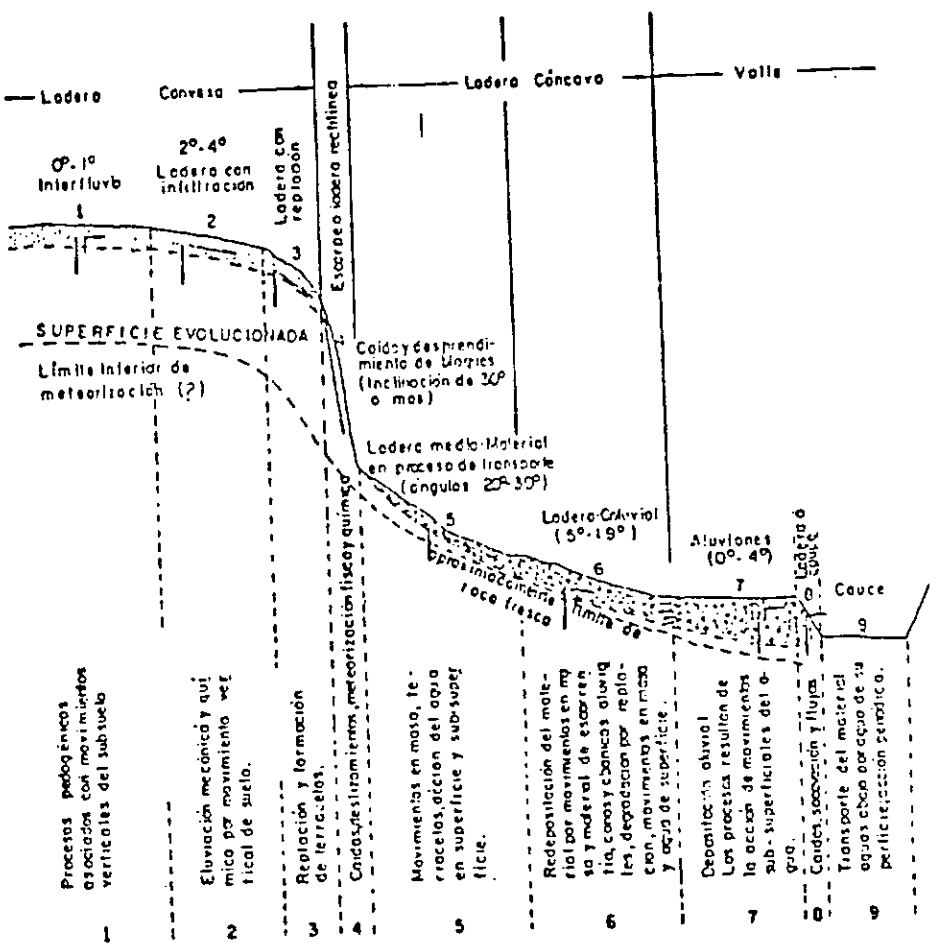
La evaluación de la pendiente promedio (Factor A) de la Unidad de Terreno, se hace utilizando el perfil hipotético de vertientes propuesto por Dalrymple, et al (1968), que se encuentra en la Figura No.3.

La forma de la Unidad de Terreno (Factor B), se evalúa por medio de su perfil longitudinal representativo. Para ello se considera tres formas principales :

000103

LUIS F. VEGA M.
C.

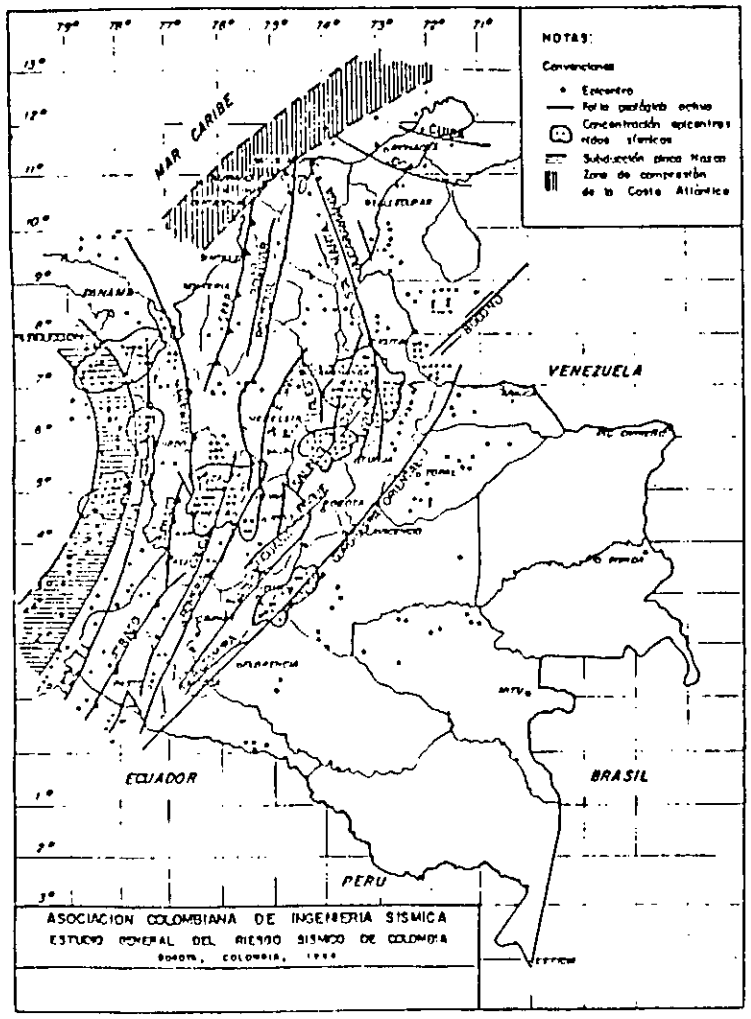
MODELO DE PROCESOS GEOMORFICOS
Modificado de J. B. Dalrymple et. al., 1968



Nota: —— Las flechas indican la dirección e intensidad relativa de la meteorización y movimiento de los suelos.

⊕ Indican la dirección del transporte hacia aguas abajo.

FIG 3



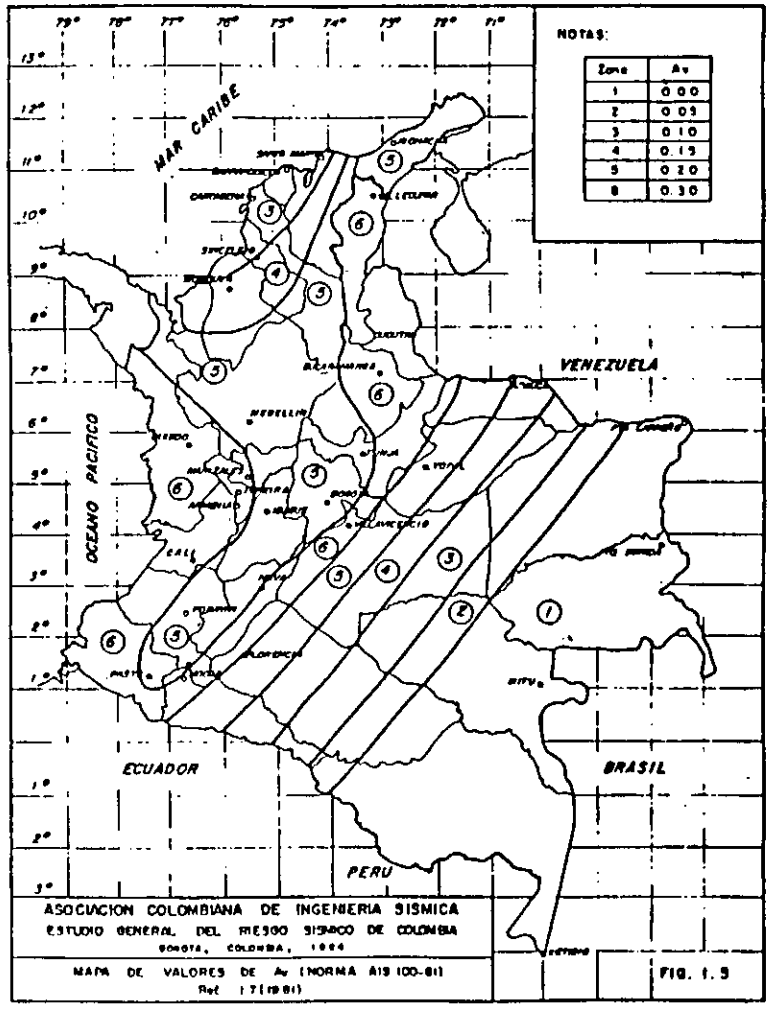


FIGURA 4

000107

000103

rectilíneo, convexo y cóncavo. La calificación de estabilidad del parámetro R será la suma del valor del factor A y el valor del factor B.

4.3 DRENAJE (PARAMETRO D)

Se evalúan dos factores fundamentales : densidad de drenaje y pendiente prome - dio de cauces (Figura 1b).

Debido a que la densidad de drenaje depende de las características litológicas, climáticas y topográficas del terreno, los rangos de valores para las condiciones de densidad baja, media o alta, deberán establecerse para cada ambiente geoló - gico en particular.

La pendiente media de los cauces se ha dividido en rangos de 0-5-15° y debe eva - luarse para cada unidad de acuerdo a un promedio ponderado por longitudes.

La calificación para el parámetro D, será función de la densidad de drenaje y la pendiente media de cauce en la Unidad de Terreno.

4.4 EROSION (PARAMETRO E)

Se evalúan dos factores fundamentales : tipo de erosión y porcentaje de área afectada por cada uno de ellos (Figura 1b).

Se consideran cuatro tipos principales de erosión : laminar, diferencial, concen - trada y por socavación. Para la evaluación se debe considerar aquel tipo de erosión que evidencie mayor efecto sobre la Unidad de Terreno, y dependiendo del área afectada por este tipo se obtendrá la calificación para el parámetro E.

4.5 CLIMA (PARAMETRO C)

Se evalúa el factor precipitación a través de la precipitación media anual (ver Figura 1b).

Inicialmente se incorporan dos parámetros : precipitación máxima diaria en épocas lluviosas para período de retorno de 50 años y número máximo de días consecutivos de lluvias diarias superior al promedio diario en épocas lluviosas

Sin embargo, debido a la ausencia de datos en el país, que permitieran fijar va - lores de precipitación para estos parámetros y para las condiciones de precipita - ción baja, media y alta estos rangos deberán establecerse en forma relativa a la zona que se esté estudiando y preferiblemente dentro del mismo Patrón o Pro - vincia de Terreno, que son las unidades jerárquicas morfológicas superiores a la Unidad de Terreno.

4.6 VEGETACION (PARAMETRO V)

Se evalúan tres factores : pendiente del terreno, tipo de vegetación y porcentaje de área cubierta por esta (Figura 1b). Se establecen 4 grupos de vegetación, en los cuales se intenta asociar aquellos tipos que bajo unas mismas condiciones tengan efecto similar en la estabilidad de las laderas.

Debido a que en una unidad de terreno pueden encontrarse a la vez dos o más ti - pos de vegetación , se hace necesario considerar el porcentaje de área cubierta por cada uno de ellos. Para efectos de la evaluación se debe considerar aquel

000109

tipo de vegetación que evidencie ser más desfavorable para la estabilidad de la Unidad de Terreno.

Para cada condición de pendiente, tipo de vegetación y porcentaje de área cubierta se tiene una califiación para el parámetro V.

No se consideran en esta evaluación las áreas desprovistas de cobertura vegetal, ya sea que estas correspondan a escarpes rocosos o a zonas donde se ha perdido esta cobertura por la acción de los procesos de erosión o de movimientos en masa. En el primer caso es evidente que la vegetación no influye en la estabi - lidad de los macizos, en el segundo caso, una vez se ha perdido la cobertura ve - getal, su influencia como tal, desaparece. De allí que para estos casos la calificación del parámetro "V" será cero.

4.7 SISMICIDAD (PARAMETRO S)

Se evalúan dos factores : riesgo sísmico y tipo de material. (Figura 1b).

Los niveles de riesgo sísmico se evalúan a través del mapa de valores de Aa del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (AIS, 1984, Figura 4).

Para la clasificación de los materiales según su susceptibilidad a eventos sísmi - cos, se adoptaron los 3 tipos de perfil establecidos en el Código Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes (Decreto 1400 de 1984).

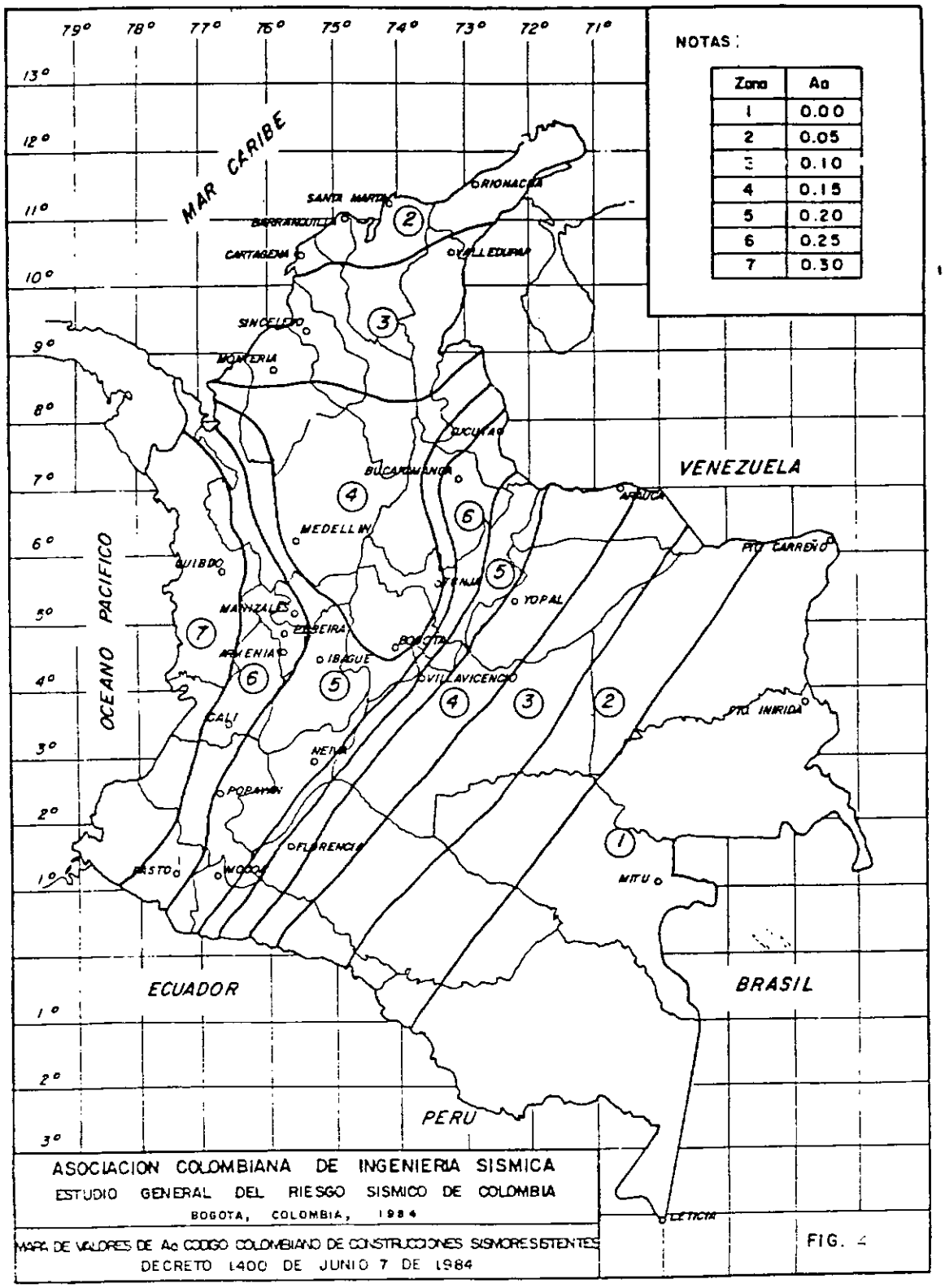
4.8 EVIDENCIAS DE PROCESOS ANTIGUOS DE INESTABILIDAD (PARAMETRO F)

Debido a las diferencias en naturaleza y forma de las evidencias de inestabilidad, se evalúa su distribución espacial como el porcentaje aproximado de área de la superficie del terreno directamente asociado con 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. Para una mejor guía se presentan algunos criterios en la Tabla 3.

5. CALIFICACION DE ESTABILIDAD

La Calificación de Estabilidad (CE) para la Unidad de Terreno, será la suma de las calificaciones asignadas a cada parámetro.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la aplicación de este sistema de evalua- ción a 43 Unidades de Terreno, se estableció la siguiente correlación entre la Calificación de Estabilidad (CE) y las categorías de estabilidad (Figura 5).



ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA

ESTUDIO GENERAL DEL RIESGO SISMICO DE COLOMBIA

BOGOTA, COLOMBIA, 1984

MAPA DE VALORES DE Aa CODIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMORESISTENTES
DECRETO 1400 DE JUNIO 7 DE 1984

FIG. 4

000111

TABLA 3. CATEGORIAS DE EVIDENCIAS DE INESTABILIDAD

Categorías	Tipos de Evidencias
1. Morfología	. Presencia de escarpes de deslizamientos (estabilizados o no). . Presencia de sistemas de fisuras y grietas . Superficies de terreno "lobuladas" y con forma de lengüetas. . Presencia de abombamientos hacia la parte baja de las laderas, como resultado de presiones de contacto por acumulación de materiales. . Superficies de ruptura y planos de corte que muestren evidencias de desplazamientos.
2. De vegetación	. Presencia de árboles inclinados o curvados en el sentido de la pendiente. . Desprendimiento de la cobertura vegetal. . Diferencias apreciables en los tipos de vegeta - ción entre un área presumiblemente inestable y las zonas aledañas a ellas.
3. De drenaje	. Presencia de empozamientos y depresiones mal drenadas. . Cursos de corrientes interrumpidos.
4. Asociadas a obras civiles	. Inclinación de postes o torres de transmisión. . Desplazamiento de cimientos de tuberías, oleo- ductos, acueductos, etc. . Deformaciones (desplazamientos o hundimien- tos) en la banca de las vías. Agrietamientos de viviendas y estructuras en general.

000112

Categorías de Estabilidad	Calificación de Estabilidad (CE)
I	185
II	150 - 185
III	120 - 150
IV	85 - 120
V	55 - 85
VI	55

El valor máximo de la calificación de estabilidad será de 300 y el mínimo de 40. En la Tabla 1, se definieron cada una de las categorías de estabilidad.

6. APLICABILIDAD

La obtención de las calificaciones para los parámetros y su importancia relativa dentro del índice CE se hizo a través de una encuesta entre profesionales geotecnistas, que fue respondida por un número limitado de ellos. Esta metodología ha sido empleada con éxito en el desarrollo de otros índices similares.

Como se ha mencionado, el sistema semi-cuantitativo de evaluación de estabilidad propuesto, fue diseñado para estudios de estabilidad a escala intermedia. De acuerdo con ello se seleccionaron los parámetros, factores, rangos de variabilidad y condiciones de evaluación.

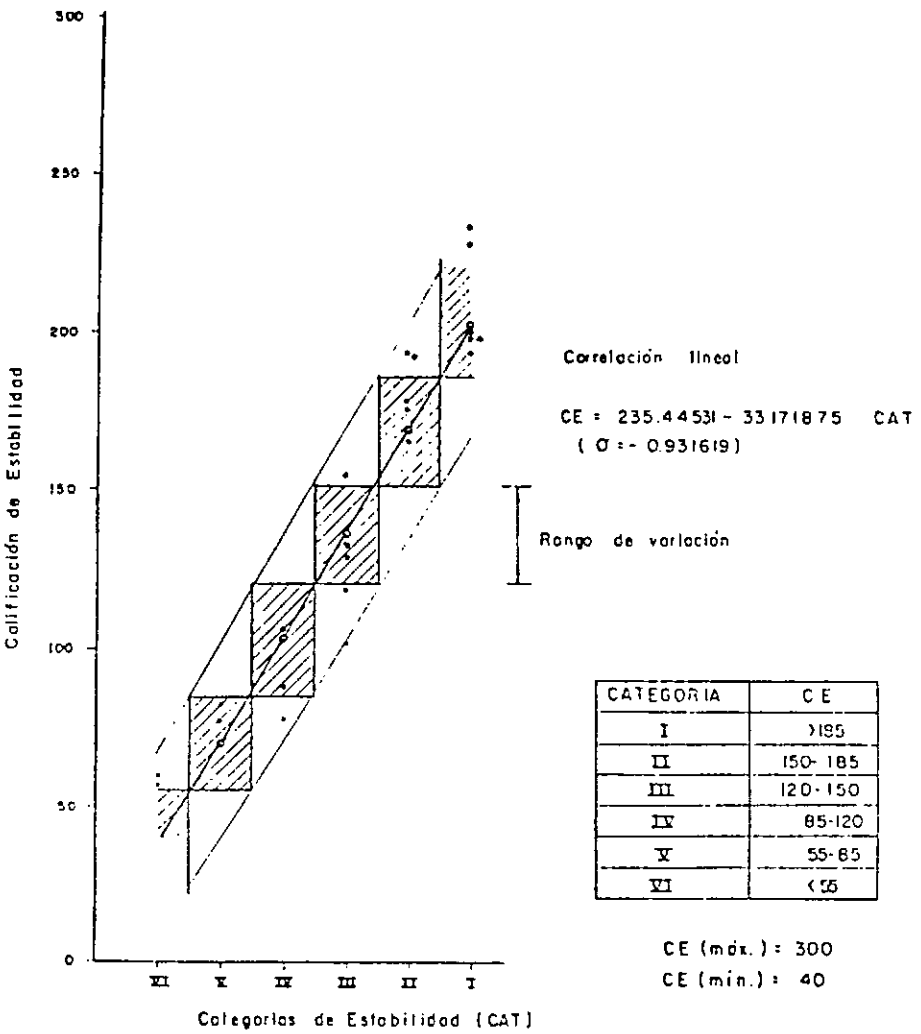
Así mismo, las categorías de estabilidad con las cuales es correlacionable este sistema se establecieron para dicho nivel de investigación.

Dentro del programa de evaluación de terreno P.U.C.E. y más concretamente dentro de la metodología para el estudio de zonas homogéneas de igual comportamiento de estabilidad que adelanta la Universidad Nacional de Colombia, este nivel de investigación corresponde a lo que allí se ha denominado Unidades de Terreno. (1: 25.000).

7. LIMITACIONES

Las limitaciones que tiene el sistema de evaluación que aquí se propone están asociadas a dos aspectos fundamentales : la naturaleza de los factores que determinan la estabilidad de una ladera, y la disponibilidad de información que permita fijar rangos de influencia de dichos factores.

Como se conoce, generalmente las condiciones de estabilidad de una ladera están determinadas por la combinación e interacción compleja de una gran cantidad de factores, los cuales a su vez varían dependiendo del ambiente geológico, climático, topográfico, etc. en el cual actúen. Por otra parte no todos los factores que determinan la estabilidad de una ladera son susceptibles de cuantificar. De allí la necesidad de evaluar la influencia en la estabilidad de dichos factores a partir de la asignación de una "calificación" o "puntaje" de estabilidad. Se comprende, entonces, que dicha asignación supone un grado de incertidumbre, máxime si se tiene en cuenta que fue hecha a partir del criterio de un número limitado de ingenieros geotecnistas, ante la ausencia de datos suficientes que permitieran un análisis estadístico riguroso.



CATEGORIA	C E
I	>185
II	150- 185
III	120- 150
IV	85-120
V	55- 85
VI	<55

FIG. 5 CORRELACION LINEAL OBTENIDA

000114

Es de anotar que los factores antrópicos (construcciones, vías, etc) no se han considerado sino indirectamente por su efecto en la estabilidad general (Pará - metros E.V.F.).

Por otra parte para el caso de algunos factores cuantificables (precipitación, sismo, etc.),no se dispone en Colombia de estudios que permitan fijar valores límites, según los cuales se defina su influencia favorable o desfavorablemente en la estabilidad.

Como ejemplo de lo anterior puede citarse el caso de la incidencia de las lluvias en la estabilidad de las laderas. Es indudable y aceptado que a mayor intensidad y duración de éstas, mayores serán las posibilidades de que se desarrollen pro - cesos de degradación en las laderas. Sin embargo no se dispone en Colombia, de un estudio exhaustivo que permita fijar valores de intensidad o duración de las lluvias por encima de los cuales el riesgo de deslizamientos es alto. Es necesario desarrollar este aspecto en las investigaciones de estabilidad posteriores.

Finalmente, es importante mencionar que el número de Unidades de Terreno (43) que se evaluaron para la determinación de correlaciones, también constituye una limitante a la aplicación de este sistema de evaluación a diversos ambientes geo - lógicos y geotécnicos.

El sistema semi-cuantitativo de evaluación aquí propuesto es susceptible y nece - sario de modificar en algunos aspectos, que por diversas razones no fue posible profundizar. Entre elllos puede mencionarse : verificar la aplicabilidad del sis - tema de evaluación para depósitos de materiales intermedios, verificar la aplica- bilidad del perfil hipotético (Figura 3) en diversos ambientes geomorfológicos, contemplar dentro de la evaluación de la erosión aquella de origen eólico y fijar valores de precipitación para las condiciones baja, media y alta, o alternativa - mente incluír nuevamente la precipitación máximas y medios diarias y su duración.

De acuerdo con la información disponible, estudios de este tipo se han adelantado en algunos países tales como Australia, Japón ,Estados Unidos (Walker et al, 1987). En Colombia son escasas las investigaciones en este sentido, de allí que este trabajo constituya un primer intento en el esfuerzo por establecer sistemas de evaluación de estabilidad a diferentes escalas de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fué ejecutado por el Ing. Fernando Ramírez, como parte esencial de su tesis de Magister en la Universidad Nacional de Colombia, dirigida por el Ing Alvaro J. González G. (Ramírez, 1988) y hace parte de los trabajos de la Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional que ejecutó la Universidad Nacional, para el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT). Se agra- dece a las anteriores entidades su autorización para utilizar información y se de - clara expresamente que los conceptos emitidos en este estudio comprometen solo a sus autores y no a las entidades mencionadas. La edición de este estudio se hizo en las oficinas de la Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional, UN-MOPT con la colaboración de la Srta Berenice Guio Pérez y los dibujos del Sr. Armando Granados y Srta Luz Mila Llanos.

000115

.REFERENCIAS

AIS - ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA (1984) Estudio General del Riesgo Sísmico en Colombia, AIS, Bogotá.

CORTES, R. (1989) Clasificación de Zonas Geotécnicamente Homogéneas ISSMM Paipa,(1989).

CODIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMO-RESISTENTES (1984) Decreto 1400, Diciembre 1984, Bogotá- Colombia.

CROIZIER, M.J. (1984) Field Assessment of Slope Instability in "Slope Insta - bility"- Cap. 4 - Ed. por D. Brunsden & O.B. Prior-John Wiley & Sons Ltd. - 1984.

DALRYMPLE , J.B.; BLONG, R.J. ; CONACHER A.J. (1968). A hypothetical nine unit land surface model - Zeitschrift für Geomorphologie - 12 (1). pp. 60-76.

DEARMAN, W.R. (1974) - Wea thering Classification in the Characterization of Rock for Engineering Purposes in British Practice. Bulletin IAEG No. 9 - pp 33-42.

FORERO, E., GARCIA. H.(1987) - Zonas Homogéneas de Estabilidad - Meto - dología (1a Versión) - Informe Interno - Investigación de Deslizamientos U.N - MOPT. - También Informe Técnico ID-UN-03,Bogotá,Julio de 1987.

GRANT, K.(1976).- The PUCE Program for Terrain Evaluation for Engineering Purposes, I : Principles, CSIRO, Div. Applied Geomechanics, Technical Paper 19, 68p.

MONTERO, J.; GONZALEZ A.J., ANGEL,G.(1982) - Caracterización del Mate- rial Rocoso - I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas, Sociedad Colombiana de Geotecnia, Bogotá (1982).

RAMIREZ, F. (1988) - Sistema Semicuantitativo de Evaluación a Escala Inter - media de Zonas Homogéneas de Catabilidad.- Tesis de Magister - Univer - sidad Nacional (1988) - También Informe ID-UN-021.- Investigación de Deslizamientos - UN - MOPT.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1988) - Zonas Homogéneas de Esta - bilidad - Metodología (Tercera Versión) - Informe Técnico ID-UN-031.- Investigación de Deslizamientos en la Red Vial Nacional. Bogotá, Noviem- bre de 1988.

WALKER, F., BLONG, R.J., MACGREGOR, J.P. (1987) - Landslide Classifi - cation, Geomorphology and Site Investigations - in "Soil Slope Instability and Stabilization", Walker & Fell (eds), Balkema, 1987.

****

ANEXO 2

000117

VIII JORNADAS GEOTECNICAS

POR LA INGENIERIA DE LA SABANA DE BOGOTA

SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS

SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA

II FORO SOBRE GEOTECNIA DE LA SABANA DE BOGOTA

EVALUACION DE ESTABILIDAD Y ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDADA GEOTECNICA A FENOMENOS DE REMOCION EN MASA DEL SECTOR DE CIUDAD BOLIVAR.

Jairo A. Lozano G.
Ing. Civil, Estudiante de Master en Geotecnia U.N. - Ingeniero Consultor INGEOMINAS,.

Javier A. Millán L.
Ing. Civil, Estudiante de Master en Geotecnia U.N. - Ingeniero Consultor INGEOMINAS,.

INTRODUCCION

El acelerado crecimiento demográfico en el suroriente de Bogotá, durante la última década ha traido consigo una modificación en el uso del suelo, y una masiva concentración de personas en terrenos marginales como áreas de antigua explotación minera, riberas de drenajes, zonas de topografía escarpada y predios potencial o propiamente inestables. El desarrollo de núcleos sociales en éstas áreas ha dado lugar a una crisis ambiental y social que debe ser tratada.

El área de estudio comprende las alcaldías menores de San Cristóbal, Tunjuelito, Rafael Uribe, Usme y Ciudad Bolívar, enmarcadas dentro del casco urbano de Bogotá D.C, entre las cotas 2600 y 2900 m.s.n.m. La mayoría de los barrios se encuentran ubicados en la cuenca media del río Tunjuelito. La región desarrollada en rocas sedimentarías, cubiertas discordantemente por depósitos de ladera, terrazas aluviales y complejos de conos, presenta diversidad morfológica entre escarpada y plana, disectada por quebradas caños y zanjones que perfilan valles estrechos con ángulos de confluencia moderados.

El río Tunjuelito y sus afluentes las quebradas Yomasa, Chiguaza, Zuque, Varejones, De Limas, Bolonia, Pichosa y otros cuerpos menores de agua, principales drenajes en la zona, presentan alto grado de intervención, erosión, contaminación, deforestación e inestabilidad en sus márgenes. Los fenómenos de remoción en masa en los cuerpos de agua, se ven favorecidos en ocasiones por la disposición de botaderos en las márgenes. Aunque los cauces están bien definidos, en épocas de lluvias, aumentan su poder de arrastre activando procesos de inestabilidad y desbordamientos. Las consecuencias de los procesos denudativos tienen mayor repercusión al considerar que las riberas se encuentran casi en su totalidad urbanizadas.

La actividad minera (explotación de canteras), se realiza sin tener en cuenta consideraciones ambientales. Los residuos de explotación se disponen en zonas aledañas dando lugar a problemas de inestabilidad y erosión. Los frentes de explotación, abandonados y no recuperados adecuadamente se encuentran ocupados por barrios con infraestructura deficiente, o sin ella, se convierten en franjas de permanente amenaza, donde son frecuentes los fenómenos de erosión y remoción en masa, como caídas de bloques, fallas en cuña y deslizamientos traslacionales.

Mediante la aplicación continuada de los trabajos de evaluación de estabilidad y zonificación semicuantitativa a escala intermedia presentados por Ramírez (1989), Cortés (1989), González y Ramírez (1990), González (1990), complementados con la Metodología de Taludes Naturales (MTN), propuesta por el Ingeniero Tomas Shuk y el uso de los sistemas de información geográfica (ARC/AD), se realiza la evaluación macrogeotécnica de estabilidad y el análisis de susceptibilidad inicial en un amplio sector del sur de Santafé de Bogotá.

De esta manera, se evaluaron nueve parámetros a saber: Geología, Geomorfología (relieve), Drenaje (densidad de drenaje y pendiente media de cauces), Cobertura y Uso del suelo, Erosión, Clima (precipitación), Sismicidad, Evidencias de Inestabilidad y Factor Antrópico. Con base en la información básica de los cuatro primeros tópicos se delimitaron semicuantitativamente Zonas Homogéneas de Susceptibilidad, empleando la metodología de Ramírez (1989), para obtener como resultado intermedio mapas de Susceptibilidad Preliminar.

Finalmente, los agentes detonantes (Erosión, clima, sismicidad y factor antrópico) y la evaluación morfológica de estabilidad, mediciones de poblaciones de taludes naturales (H, L), superpuestos a la evaluación de susceptibilidad permitieron establecer una zonificación de amenaza preliminar.

2.0 METODOLOGIA GENERAL

El desarrollo metodológico, así como el modelo de evaluación, se apoyó en un Sistema de Información Geográfico, permitiendo facilidad de manejo y confiabilidad de la información cartográfica resultante en cada proceso realizado; Además, de la ventaja que ofrece el mismo sistema de obtener salidas gráficas en cualquier momento.

Las actividades desarrolladas para la evaluación de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa en el área de estudio fueron:

- Recopilación de información existente.
- Reconocimiento del área.
- Evaluación de variables básicas para análisis.
- Implementación del modelo de zonificación.
- Determinación de zonas homogéneas de suceptibilidad y evaluación de amenaza preliminar.

2.1 Recopilación de Información

La recopilación de información necesaria para el desarrollo del proyecto se enfocó a la obtención de:

- Información técnica: a nivel de estudios geotécnicos realizada por institutos gubernamentales y/o entidades de consultoría privada; e información relacionada con aspectos ambientales, sociales, hidrológicos, y poblacionales entre otros (ver referencias bibliográficas).

- Información cartográfica: de tipo topográfica, hidrográfica, urbanística, geológica y aerofotografías a escalas entre 1:5.000 a 1: 50.000.

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 para mejorar el modelo de evaluación , obedeciendo a la características mismas de la zona de estudio donde la acción del hombre actúa de forma acelerada modificando las condiciones del paisaje, y a la falta de información básica actualizada.

2.2 Reconocimiento de área

Como resultado de las visitas de reconocimiento se establecieron las principales características, contactos geológicos, relieve y drenaje, uso del suelo, y en general del entorno físico. De manera preliminar se determinaron también las áreas críticas donde se presentaban, en cantidad y magnitud, problemas de estabilidad, y los posibles factores que los causan.

2.3 Cartografía básica

El plano base comprende información topográfica, hidrográfica e urbanística. Se trabajó como marco de referencia cartografía IGAG 1989 restituida con fotografías aéreas de 1985, la cual se debió actualizar y completar lo mejor posible a nivel urbanístico con información de otras fuentes como Planeación Distrital, Dane, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Catastro Distrital, entre otras, y con el análisis de fotografías aéreas recientes (1990) y visitas de comprobación en campo.
Una vez definida la plancha base de trabajo y cartografiada en forma digital, se procesaron como información complementaria los siguientes planos:

- Mapa de pendientes
- Mapa de cobertura de servicios públicos.

2.4 Evaluación de variables básicas

Esta actividad comprendió desde la definición de un plano base a nivel topográfico, hidrográfico urbanístico, hasta la obtención cartográfica de los temáticos que se involucraron en el análisis como son: Geología, geomorfología, hidrología, usos y cobertura del suelo, clima, procesos denudacionales, sismología e infraestructura de servicios públicos. Se destaca dentro de esta actividad, que el producto final de cada una de las planchas base o temáticas se tiene registrado a nivel de información gráfica como información digital a escala 1:10.000.

2.4.1 Geología

La elaboración de la Geología a escala 1:10.000 partió de la base geológica 1:25000, realizado por INGEOMINAS en 1989. Contempló un trabajo de fotointerpretación con aéreofotografías del sur de Bogotá, escala 1:5000 de los años 1990 -1991, y visitas de campo para refinar cartográficamente los contactos y estructuras geológicas definidas en los análisis previos. La información geológica permitió obtener :

- Mapa de Unidades Geológicas
- Mapa de índice de fracturamiento.

2.4.2 Geomorfología

El estudio geomorfológico se realizó en dos fases: la primera que comprendió la identificación de las formas del relieve existentes, estructurales, denudacionales y de acumulación; y la segunda destinada a la identificación espacial y clasificación de los diferentes procesos de estabilidad en el sector.

El desarrollo de esta actividad comprendió, trabajo previos de campo, fotointerpretación y recopilación bibliográfica de estudios geotécnicos de problemas de inestabilidad ocurridos recientemente. El levantamiento semidetallado de los fenómenos de remoción en masa se realizó de forma sistemática, con el fin de establecer cualitativamente las principales características de las áreas afectadas, material involucrado, elementos detonantes, etc, (**Tabla 1**). El producto del análisis geomorfológico se resume en los siguientes planos:

- Mapa de unidades geomorfológicas
- Mapa de procesos morfodinámicos.

2.4.3 Hidrografía

Hidrográficamente se trabajó a nivel superficial definiendo las unidades de drenaje (cuencas) imperantes en el área y sus características morfológicas básicas. Una de las principales actividades desarrollada fue la complementación y verificación de los cauces registrados en las planchas del IGAG 1989. Esta labor se ejecuto con la colaboración de la EAAB y de un trabajo de campo que permitiera definir el curso real de los cuerpos de agua, así como, de sus condiciones de flujo. El resultado final fue la obtención de:

- Mapa hidrográfico básico
- Mapa de densidad de drenaje
- Mapa de áreas de ronda

2.4.4 Cobertura y Uso del Suelo

La definición de la cobertura y uso del suelo se llevó a cabo a partir de un trabajo de fotoidentificación, siguiendo la metodología "Análisis y Clasificación del Uso y Cobertura de la Tierra con Interpretación de Imágenes", IGAC, 1992.

Teniendo en cuenta que la fotos aéreas, escala 1:5.000, usadas en el trabajo fueron tomadas en 1991, se realizó un trabajo de actualización cruzando información cartográfica de urbanismo y fuentes de materiales, y verificación en campo. La información registrada permitió definir los siguientes mapas temáticos:

- Mapa de cobertura y uso del suelo
- Mapa de erosión (Erial)

2.4.5 Clima

La evaluación del clima como factor detonante de fenómenos de inestabilidad se enfocó hacia la obtención de la relación lluvia-deslizamiento. Es decir, la determinación de las lluvias máxima diarias acumuladas que producen la condición de estabilidad crítica en las laderas. Tomando como base el mapa topográfico e hidrográfico actualizados y con los registros históricos pluviométricos de las estaciones localizadas dentro y cerca del área de estudio se trazaron isoyetas de valores de precipitación máximas diarias, medias mesuales, medias multianuales y de precipitación acumulada de 10 y 15 días.

Igualmente, con base en el inventario de emergencias de fenómenos remoción en masa, realizado por la oficina de la OPES, se identificaron, tanto espacial como temporalmente, los eventos ocurridos dentro del área de estudio, y a cada uno se le realizó un análisis de lluvia precedente.

El estudio del clima permitió obtener una zonificación del área en términos de precipitación máxima diaria acumulada critica que genera inestabilidad de taludes. La cartografía obtenida fue:

- Mapas auxiliares de Isoyetas medias mensuales, multianuales y máximas diarias.
- Mapa de Isoyetas para precipitación máxima diaria acumulada para 10 y 15 días

2.4.6 Sismo

El efecto sísmico, dada la mínima variación de la aceleración a nivel de roca establecida por AIS para el sector de estudio, se trabajó en función de la respuesta de amplificación local por topografía y por tipo de depósito. Como resultado se establecieron sectores con respuesta de amplificación de onda sísmica diferentes.

2.4.7 Erosión

La erosión considerada como factor modelador del perfil del terreno, se evaluó partiendo de la plancha de cobertura y usos de suelos y del mapa de procesos geomorfodinámicos. La obtención de las áreas de erosión se hizo con ayuda del sistema de información geográfico.

2.4.8 Acción del Hombre

Del reconocimiento de las localidades, y de la evaluación preliminar de estabilidad, se identificó como factor detonante y responsable de la mayoría de los procesos denudacionales existentes del área, a la acción del hombre. Con base en ello, se consideró necesario la definición y evaluación del efecto antrópico, para lo cual se estableció como principales acciones que degradan al ambiente físico: La invasión de Rondas, la disposición de botaderos, el manejo antitéctico de las fuentes de materiales y la falta de servicios públicos.

El mapa de acción antrópica se obtuvo cruzando información cartográfica de rondas, fuentes de materiales y zonas de cobertura de servicios públicos (Red de acueducto y alcantarillado).

2.5 Implementación del Modelo de Evaluación de Estabilidad

Entendiendose que las condiciones de estabilidad de una ladera son el resultado de la compleja interacción de diversos factores endógenos y exógenos, los métodos o sistemas de evaluación de estabilidad que se

implementan suponen limitaciones en cuanto a su aplicabilidad y alcances a los diversos ambientes geológicos, topográficos y climáticos presentes.

Por lo anterior el estudio de evaluación de estabilidad en el sur oriente de Santafé de Bogotá, con sus características ambientales y socioeconómicas y, con el marco de referencia de la información disponible, se realizó un análisis semi-cuantitativo siguiendo los lineamientos de los trabajos "Evaluación de zonas homogéneas de estabilidad a escala intermedia" realizados por UN-MOPT (1988), y " Metodología de Estudios de Riesgo a Escala Intermedia" UN-MOPT (1988) y González (1990), respectivamente, el cual corresponde a una metodología desarrollada para nuestro medio y por nuestros ingenieros. Adicionalmente, se hizo una evaluación cuantitativa de estabilidad en términos de factor de seguridad relativo, usando la metodología de taludes naturales (MTN) propuesta por el ingeniero Tomas Shuk.

Las actividades de implementación del modelo se definen así:

- Definición cada una de las variables temáticas a evaluar.
- Adecuación de la evaluación semicuantitativa a un área urbana.
- Implementación de la metodología para ser manejada por medio de un sistema de Información Geográfico.
- Evaluación morfológica de estabilidad mediante mediciones de poblaciones de taludes.

2.6 Determinación de Zonas Geotécnicamente Homogéneas y Evaluación de Susceptibilidad

Una vez definidas, a nivel temático, las variables involucradas en los análisis como tipo de material, relieve, densidad de drenaje, cobertura del suelo, clima, erosión, sismo, acción antrópica, se realizaron los siguientes pasos para obtener el producto final.

- Evaluación semi-cuantitativa de los factores que intervienen en los análisis de estabilidad.

- Definición de zonas geotécnicamente homogéneas de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, mediante el cruce de la geología, geomorfología, drenaje y cobertura del suelo, considerados factores intrínsecos (susceptibilidad preliminar).

- Evaluación de estabilidad y Categoría de amenaza preliminar mediante la superposición de los factores detonantes como clima (Precipitación máxima acumulada), erosión, sismo y acción del hombre, a las zonas homogéneas.

- Calibración del modelo con referencia a los fenómenos de remoción en masa cartografiados, y determinación de la sensibilidad de las variables involucradas en el análisis.

3.0 CONTEXTO AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 Geología

El área del proyecto corresponde a un relieve estructural plegado con interfluvios escarpados a planos, altamente trabajados estructuralmente, donde afloran rocas sedimentarias y depósitos no consolidados con edades entre el cretáceo superior y el cuaternario reciente.

Las rocas más antiguas pertenecen a la formación Chipaque (**Ksch**) entallante en un paisaje suave, labrado en lutitas negras, arcillosas, carbonosas y piritosas con interestratificaciones de limolitas y areniscas de grano muy fino, cuya mejor exposición se encuentra en el núcleo del anticlinal de Cheba.

El Grupo Guadalupe (**Ksg**), integrado por las Unidades Arenisca Dura (**Ksgd**), Formación Plaeners (**Ksgp**) y Formación Areniscas de Labor y tierna (**Ksglt**). El conjunto superior, Arenisca Dura, unidad morfológicamente resistente, está constituido por areniscas cuarzosas de color blanco y cemento silíceo, se destaca en bancos de espesor variable y tiene su mejor expresión en los anticlinales de Cheba y Bogotá. La morfología escarpada y abrupta es propia de la formación Plaeners (**Ksgp**) y Areniscas de Labor y Tierna

(**Ksglt**). Esta última expuesta en el flanco occidental del Sinclinal Usme-Tunjuelito con un nivele inferior de areniscas cuarzosas blandas, medio de lodolitas silíceas y superior de areniscas friables cuarzosas y feldepáticas.

Suprayaciendo la Arenisca Dura aflora la Unidad Plaeners, morfológicamente blanda y favorable a los replegamientos, esta conformada por tres niveles. El basal es limo arcilloso; la franja media de alternancias de areniscas y arcillolitas, y el superior arcilloso.

Las Formaciones Guaduas (**KTg**), Bogotá (**Tpb**), Regadera (**Ter**) y Usme (**Tmu**) completan la secuencia de roca sana. La primera compuesta litológicamente por arcillolitas abigarradas con mantos locales de carbón y niveles de arenisca cuarzosa. La formación Bogotá presenta sucesiones de arcillolitas y areniscas, subyaciendo la faja superior de arcillolitas. Areniscas cuarzosas con bancos de arcillolitas blandas plásticas constituyen la formación Regadera. Por último la Formación Usme se identifica por sucesiones de lutitas arenosas y areniscas cuarzosas.

El cuaternario en la zona lo componen depósitos lacustres, coluviales, complejos de conos, terrazas altas y bajas, llanuras aluviales, conos de deyección y botaderos térreos. Estas unidades cubren discordantemente el material parental y modelan el paisaje creando formas planas, plano-concavas, plano-convexas, lobuladas y onduladas.

Estructuralmente el proyecto Ciudad Bolívar esta influenciado por:

- Anticlinal de Bogotá, conforma el límite oriental de la Sabana, es una estructura estrecha con dirección N-S a NE-SW, contiene la mejor sección del grupo Guadalupe.
- Sinclinal de Usme-Tunjuelito, es la estructura más amplia de la zona, a lo largo de la cual conforma su valle el río Tunjuelito; tiene dirección N-S y está conformado por rocas de las Formaciones Bogotá, Usme y la unidad 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.
- Falla de Trompeta, situada al occidente del sinclinal de Usme-Tunjuelito con rumbo N-35-E, pone en contacto las rocas de la formación Guaduas, con las arcillas de la formación Bogotá.
- Falla Ciudad Bolívar, con rumbo aproximado N-S pone en contacto las rocas de las formaciones Areniscas de Labor y Tierna.
- Otras fallas secundarias son: La Fiscala, Yerbabuena, Mochuelo, Limas, Primavera, Calderón y Terreros

3.2 Geomorfología

3.2.1 Unidades Geomorfológicas.

El relieve del sector resultado de la interacción de varios factores entre los que se destacan: la composición litológica de las rocas, los fenómenos tectónicos y climáticos, y los procesos denudativos, geomorfológicamente muestra dos grandes unidades. Una zona de montaña de origen estructural-denudacional, relieve moderado hasta abrupto entallado en rocas sedimentarias con edades desde el Cretáceo Superior hasta el Terciario, y patrón de disección moderado a alto que delinea pequeños valles intramontanos en V abierta y U abierta, con vertientes de laderas cóncava - convexas espacialmente cubiertas por depósitos coluviales y de suelo residual de poco espesor. Las mejores expresiones de ésta se encuentran en los cerros sur orientales y suroccidentales. Las unidades morfológicas de la zona son:

- **Unidad de Origen Denudacional - Estructural (I):** Se caracteriza por presentar como rasgo morfológico principal la conformación de laderas estructurales, en general rectilíneas, controladas por fallas y sistemas de diaclasas importantes; conforman las partes altas de los cerros tanto surorientales como suroccidentales, que presentan un relieve de características, desde ondulado hasta escarpado y con pendientes topográficas entre 15° y 45°. Desarrollada fundamentalmente en conjuntos de areniscas duras, moderamente friables y en menor proporción arcillolitas, pertenecientes a las Formaciones

Plaener (conjuntos medio), Labor-Tierna y Bogotá (conjunto inferior); su condición estructural es en general desfavorable.

- **Unidad de Origen Denudacional - Estructural Plegado (II):** Ocupa las partes media-baja de los cerros suroccidentales, y la conforman laderas de remoción y transporte, y laderas en proceso de transporte, con pendientes topográficas de moderadas a suaves (5° - 15°); modelados en mayor intensidad por plegamientos y en menor intensidad por fallamiento, diaclasamiento y estratificación. Está desarrollada en rocas de composición arcillosa de la Formación Guaduas afectadas por erosión laminar y en surcos, y en menor proporción cárcavas.

- **Relieve Montañoso Denudacional (III):** Entallada en conjuntos alternados de rocas duras y blandas de la Formación Plaener (conjuntos medio y superior), con interfluvios de morfología ondulada a semiplana y laderas rectilineas, controladas por una tectónica intensa principalmente de fallamiento, con pendientes topográficas de suaves a fuertes y moderadamente disectadas. Las actividades humanas de exploración de materiales de construcción son causa de inestabilidad en algunos sectores. La mejor expresión de la unidad se encuentra en la parte alta-media de los cerros suroccidentales.

- **Sistema Colinado Denudacional (IV):** Comprende los sectores de colinas y cerros de interfluvios agudos de la parte media inferior de los cerros surorientales y suroccidentales del área, controlados principalmente por fallas y en menor proporción por pliegues, y diaclasas; presentan laderas de pendiente moderada a suave, intensamente disectadas y desarrolladas sobre rocas arcillo-arenosas de la Formación Regadera. Entre los procesos morfodinámicos más sobresalientes se tienen: los fenómenos de socavamiento lateral por la dinámica de los drenajes principales, y los problemas de inestabilidad y la degradación acelerada por actividades de minería.

- **Laderas Medidas e Inferiores de Acumulación (V):** Comprenden algunos sectores principalmente de la parte media-inferior de los cerros surorientales, correspondientes a laderas con pendientes moderadas a suaves, intensamente disectadas y desarrolladas en rocas de composición arcillosa de las Formaciones Bogotá (conjunto superior), y Usme.

- **Depósitos de Ladera (Qdp):** geoformas resultantes de la acción de los fenómenos denudativos sobre rocas antiguas, que se depositan en las partes bajas de las laderas y dan lugar a una topografía irregular con pendientes topográficas entre 15° y 30° y se localizan en algunos sitios aislados de las laderas de los cerros surorientales y suroccidentales; cubren en sectores a rocas de las Formaciones, Plaeners, Labor-Tierna, Guadua, Bogotá, Regadera y Usme; presentan disección baja a moderada.

- **Suelos Residuales (Qsr):** Corresponde a unidades de laderas en procesos de formación y transporte, de formas rectilíneas cóncavas y pendientes moderadas; geogenéticamente desarrolladas más ampliamente en niveles arcillo-arenosos de las Formaciones Guaduas, Planers (conjunto medio y superior) y Labor -Tierna.

La segunda zona de geoformas agradacionales planas a suavemente onduladas, de origen fluvio-lacustre, cuyos sectores planos más bajos están formados por depósitos aluviales recientes, se dibuja paralela al río Tunjuelito. Es el recinto apropiado para el establecimiento de amplias industrias extractivas (gravilleras) y de un porcentaje importante del desarrollo urbanístico en el sur de la ciudad.

Las principales expresiones geomorfológicas en la zona corresponden a: **Unidad de Origen Fluvio-Glacial Torrencial (Qcc), Terrazas Bajas (Qtb), LLanuras Aluviales (Qlla), Aluviones Pequeños (Qal)**

3.2.2 Procesos Geomorfológicos

Fenómenos de remoción en masa: Dentro de este tipo de problemas geotécnicos se identificaron; reptamientos, deslizamientos traslacionales y rotacionales, flujos de tierras y detritos, movimientos complejos, y volcamiento y caída de bloques (**Tabla.1**).

Los deslizamientos recientes son fenómenos en general de pequeña a moderada magnitud y se localizan principalmente sobre las riberas de los drenajes principales, originados en su mayor parte por alta intervención de las márgenes y la acción dinámica de las corrientes; y en los sectores de explotación minera, por el manejo antitécnico de los mismos. Entre los sectores que merecen destacarse se tiene: las riberas de las Quebradas: Chiguaza, Morales, Santa Librada, Lima y Limas, y algunas zonas localizadas en los barrios: Voz de Alerta, El Pedregal, Gran Chaparral (Juan Pablo II), Juan José Rondón, San José de Oriente y Jerusalén (Sector Argentina), Barrio Quindío, Nueva Colombia.

Socavación: se concentra en las riberas de los afluentes principales del río tunjuelito, 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 (**Tabla.2**). Acelera la erosión pluvial y genera problemas de inestabilidad.

3.3 Climatología e Hidrografía

3.3.1 Climatología

3.3.1.1 Generalidades

Las localidades de San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Rafael Uribe y Ciudad Bolívar; Muestran un cambio de altitud entre 2550 a 3400 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 7-14°C en la zona rural, y en la parte urbana de 8-13°C, y una variación de humedad relativa de 55 - 56% en período lluviosos, y en períodos secos de 48-51%.

La precipitación promedio es de 650 - 900 mm en la zona plana y de 900 - 1100 mm en la zona alta. La distribución anual de las lluvias es de forma bimodal con períodos lluviosos abril a mayo y de octubre a noviembre, y períodos secos en los meses de diciembre a enero y de junio a agosto, septiembre.

3.3.1.2 Relación Lluvia-Deslizamiento, Precipitación precedente

Los períodos invernales están asociados con la formación, generación o activación de fenómenos de remoción en masa que originan en las franjas urbanas de las localidades perdidas económicas y en ocasiones de vidas humanas; máxime cuando la intervención antrópica ha deteriorado las condiciones ambientales del entorno. Por esta razón el estudio del efecto de las lluvias en la estabilidad de taludes adquiere gran importancia.

Con el fin de investigar dicha relación se consultó en la Oficina para la Atención de Emergencias (OPES) del distrito capital, el registro histórico de emergencias y desastres ocurridos en Bogotá durante el período de 1938 a 1992, con el propósito de establecer la lluvia acumulada crítica, es decir la precipitación detonante. De esta manera, a partir del valor de la precipitación diaria para la fecha del evento, se realizó la suma retrospectiva acumulada día a día hasta obtener un valor constante, y se halló el número acumulado consecutivo de días para este valor.

En la localidad de Ciudad Bolivar se analizaron los eventos: Sector de Villa Gloria (Octubre 27/86), Cordillera sur (Octubre 10/86) y Juan Pablo II (Diciembre 17/84), resultando que la lluvia detonante es la precipitación acumulada de 15 días.

En la localidad de Rafael Uribe Uribe, del comportamiento hidrológico del régimen de lluvias frente a los problemas de estabilidad, se concluyó que la lluvia precedente detonante es el registro acumulado de 10 días.

3.3.2 Hidrografía

El sistema hídrico en la zona de estudio esta constituida por la parte media de la cuenca del río Tunjuelito. Aunque, el desarrollo urbanístico ha tenido lugar sobre las cuencas mencionadas e implica la intervención de los ríos Fucha y Bogotá, por ser estos los cuerpos receptores de los efluentes generados, el río Tunjuelito enmarca el principal sistema hídrico y la espina dorsal en el área y sobre el que se concentrará este informe.

La cuenca del río Tunjuelito, en el área de estudio, incluye las subcuencas de las quebradas Chiguaza, La Taza, de Fucha, Yomasa, Santa Librada, La Fiscala, Chiguaza, El Chuscal, Yerbabuena, Trompeta y De Limas.

3.4 Cobertura Vegetal y Uso del Suelo

El área de estudio se caracteriza por su intensa dinámica en el cambio de cobertura superficial, siendo el hombre su principal agente de transformación. Como producto de lo referenciado se presentan áreas deforestadas, bosques secundarios, rastrojo, y muy pocas áreas cubiertas de bosque natural. En la últimas dos décadas el uso del terreno se ha venido modificando de manera acelerada, las áreas utilizadas para cultivos y pastoreo, y de reserva forestal, han sido transformadas en zonas de uso industrial como fuentes de materiales y áreas urbanas.

Las zonas urbanas, que representan 51% del total de área corresponden a áreas que se han consolidado por posesión de terrenos y sin obedecer a una planeación urbana; en la actualidad se encuentran sectores de urbanizaciones subnormales e invasiones desarrolladas sin las condiciones de hábitat adecuadas.

La zona de canteras aglutina un 11% de área de estudio; está representada por las gravillas situadas a lo largo de las riberas del Rio Tunjuelito, y por la industria ladrillera o chircales situadas al costado oriental de la avenida caracas y por las áreas de explotación mineral (areneras) localizadas tanto en sector de Ciudad Bolívar como al oriente del valle de río Tunjuelito. (**Tabla 2**).

El 23% del área de estudio esta representada por zonas de pastos, están concentrados en 3 sitios a saber: occidente de ciudad Bolívar en su parte alta, sector oriental parte media y alta, y en los cerros de Juan Rey y guacamayas costado occidental. Las zonas de bosques naturales representan el 1% del área, y los bosques plantados un 2 %; se encuentra en pequeñas parcelas al sur oriente sobre los cerros de Juan Rey y cerros orientales. Los eriales representan un 5% del área de estudio y están asociadas principalmente a las áreas adyacentes a las canteras y cultivos; las zonas de siembras representan un 3% del área y se enmarcan en las partes altas y en el extremo sur de la vertiente del río Tunjuelito.

3.5 Aspectos Socio-económicos

3.5.1 Ciudad Bolívar

La población de la localidad para 1995 se proyecta en 350000 habitantes (DAPD, UPSE-DSS), de los cuales más de 58000 se encuentran en estado de miseria. Se estima que para el año 2000 la población será de 474297 habitantes, lo cual indica que para esta época la población se habrá duplicado en relación con la del año 1995 (DAMA, 1994)

El 95 % de la Localidad pertenece a estratos bajos y tan sólo el 0.02 % pertenecen a niveles medio-bajo. Lo anterior determina una de las principales características de la localidad, el hecho de albergar a los sectores de más bajos ingresos de la ciudad (DAMA, 1994).

La localidad, en gran parte no cuenta con redes de alcantarillado, y las aguas sanitarias y lluvias corren libremente por las calles contribuyendo a la formación y desarrollo de frentes erosivos, y ablandamiento de la

masa superficial de suelo. Esta situación que genera altos índices de morbilidad se aprecia claramente en la parte alta del relieve.

3.5.2 San Cristóbal

De acuerdo con el censo de 1985, la localidad en este año poseía una población total de 294.977 habitantes; para el año de 1989 la población proyectada según una tasa de crecimiento de 2.3 % sería de 323.065 habitantes. Por su parte, las proyecciones del DAPD y del Servicio de Salud de Santafé de Bogotá, para los años de 1991 y 1988 ascenderían, respectivamente, a 329.617 hab. y 480.984 hab.

San Cristóbal es la tercera localidad con el porcentaje más alto de necesidades básicas insatisfechas. cerca del 40 % de la población se encuentra en esta situación. En cifras absolutas es la que concentra el mayor número de pobres de toda la ciudad, considerándose, después de Ciudad Bolívar.

Los barrios El Triángulo, Corinto, Amapolas, La Flora, Juan José Rondón, La Esperanza, Villa Diana, San Pedro, El Bosque, localizados en la parte alta de la localidad no posee servicios públicos (acueducto, alcantarillado, recolección de basuras); la falta de estos hace que sus habitantes descarguen los residuos sólidos y líquidos a los cauces de las quebradas contaminando sus aguas y creando focos de infección, que son la principal causa de morbilidad y mortalidad de la población.

3.5.3 Usme

Usme está integrada por una zona rural conformada por 17 veredas con una población aproximada de 4000 habitantes (Proyecciones del Comité de Educación y Salud), en una extensión de 90 Krn^2, y una franja urbana con 126 barrios. Tiene uno de los mayores niveles de pobreza en Santafé de Bogotá al ocupar el cuarto lugar con 25.7 % en el porcentaje de población pobre, y el segundo lugar, después de Ciudad Bolívar, en porcentaje de población de miseria, 14 %. A nivel de estratos socio-económicos el 30.8 % de la población pertenece al estrato 1, y el 69 % al estrato 2. Entre 1985 y 1990 el mayor porcentaje de incremento en el mercado de lotes ilegales fue el de Usme, que de 17778 lotes paso a 35851.

La actividad económica presenta un claro dominio del sector comercio, seguido de labores correspondientes a la franja de servicios. Un renglón socioeconómico que tiempo atrás representa una parte importante del desarrollo económico es la explotación de canteras, las cuales han provocado el surguimiento de ladrilleras y chircales aledaños.

El alcantarillado corresponde a la cuenca media del Tunjuelito. El drenaje se realiza casi esencialmente hacia la quebrada Chiguaza y el río mismo. La cobertura de este servicio es del 40 % en toda la localidad. La falta de interceptores en las quebradas afluentes del río y del interceptor del Tunjuelito, trae como consecuencia que los barrios ilegales viertan sus aguas residuales al lecho de las quebradas, alterando a calidad de sus aguas y contaminando las riberas con basuras y desechos industriales que se convierten a su vez en focos de infección para la población.

3.5.4 Rafael Uribe Uribe

La población para los años 1985, 1990 y 1991 fue de 276151, 299132 y 310408 habitantes, respectivamente. Lo anterior permite registrar un crecimiento bruto de 63849 habitantes en los años comprendidos entre 1985 a 1992, es decir, un crecimiento demográfico de 18.77 % global en el período, con una tasa media de 2.7 % anual.

El sistema de alcantarillado, de carácter combinado en el norte de la alcaldía y separado en el sur, pertenece a las cuencas del Fucha y Tunjuelito. Los vertimientos sanitarios del sector sur coinciden con la cuenca de aguas lluvias del Tunjuelito. La cobertura del servicio es del 70 %, aproximadamente, pero existe un importante sector que carece en su totalidad del mismo, constituido por 15 barrios subnormales y 1090 viviendas. Estos barrios son: Terrazas de San Jorge, Nueva Pensilvania, Villa Morales, Principe de Bochica, Bosque de los Molinos, Los Puentes, El Mirador de Marruecos, El Triunfo I y II, Antonio Morales, La Marqueza, Rincón del Valle, Buenos Aires, Villas del Sol, Carmen del Sol y La Lola.

En el caso de las vias la localidad y particularmente la parte alta presenta una situación crítica. Todos los barrios requieren de la construcción ampliación o mantenimiento de las vias de acceso e intercomunicación entre barrios.

3.5.5 Tunjuelito

Según las proyecciones del DAPD, UPSE - DSS, Tunjuelito tiene actualmente una población aproximada de 200 mil habitantes, la mayoría de ellos son de estratos bajo y medio-bajo, con un índice de necesidades básicas insatisfechas del 21.2 %.

Las deficiencias en el servicio de acueducto son causadas por la insuficiente capacidad de conducción y distribución de la red para atender el sector, caracterizado por la alta proliferación de desarrollos urbanisticos ilegales en zonas no aptas para tales fines, por estar fuera del perímetro de servicios.

La cobertura del alcantarillado, de tipo separado, es del 97 %, y muestra deficiencias en el barrio San Benito, donde existen establecimientos dedicados a la curtiembre que generan altos volúmenes de agua residual y contaminantes, superando la capacidad de la red existente, diseñada para drenar aguas residuales domésticas. Debido a las frecuentes inundaciones en la parte media del rio Tunjuelito, la E.A.A.B ha construido tres embalses, dispuestos en serie para amortiguar las crecientes.

4.0 EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA A NIVEL PRELIMINAR

El sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad comprende fundamentalmente la evaluación de ocho parámetros, donde cada uno es el resultado de diversos factores asociados según su naturaleza. Para cada factor se fijan rangos de variabilidad acordes con su influencia (en mayor o menor grado) en la estabilidad de las laderas. La combinación de los diferentes factores otorgan condiciones particulares de estabilidad (favorables o desfavorables), los cuales se pretenden evaluar asignándoles una " calificación de estabilidad". De esta forma a cada parámetro le corresponderá un determinado "valor" de estabilidad resultante de la suma ponderada del "valores" de cada factor asociado a éste. El "valor final" de estabilidad será la suma ponderada de los "valores" de estabilidad de cada parámetro (Tabla 4).

Los métodos para análisis macrogeotécnico, convencionalmente establecidos, requieren definir unidades básicas de trabajo para facilitar la tarea de cruzar gran cantidad de información, la cual es necesaria en el desarrollo de este tipo de proyectos. Con la implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los trabajos de zonificación, se mejora el manejo de la información permitiendo modelar a nivel primario cada uno de los temas involucrados en los estudios. La aplicación de la metodología de evaluación de estabilidad con SIG, requiere de un ajuste en la cuantificación y calificación de las variables, considerando el elemento base cartográfico como una unidad de evaluación. En otras palabras, el uso del SIG elimina la necesidad de discretizar el área a unidades básicas de trabajo y valorar los factores con respecto a las mismas.

La aplicación de los modelos de evaluación de terrenos en los estudios de estabilidad de laderas presenta varias ventajas:

- Establecer una metodología de investigación, que permite integrar cada una de las etapas del estudio.
- Contempla diferentes escalas de investigación, desde el estudio regional hasta estudios a nivel de detalle.
- Permite llevar a cabo labores comparativas, entre diferentes sectores del área de estudio.
- Constituye un sistema de manejo de información, con facilidad de uso posterior.
- Establece bases teóricas para la predicción de riesgo por deslizamientos.
- Mejor aprovechamiento de los recursos humanos y económicos.

4.1 Cosideraciones Básicas de Estabilidad de Laderas

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.

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 infiltación de aguas lluvias, incrementando el peso y las presiones de poros.

Dentro de la causas internas se identifican:

- Falla progresiva por expansión lateral o fisuración 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.

4.2 Parámetros de Evaluación.

Los parámetros de evaluación son el resultado de la agrupación de factores que intervienen en la estabilidad de taludes, según estén asociados directamente a las condiciones geológicas, climatológicas, topográficas o actividades antrópicas. Los parámetros utilizados en la evaluación se muestran en la Tabla 4 Ramirez (1988), destaca la selección de los factores que intervienen en el análisis de estabilidad, efectuarse de tal forma que sean **fácilmente cuantificables**, o en su defecto, sean suceptibles a ser **"calificados"** con respecto a la estabilidad, dependiendo del grado de influencia que tenga en ella y del rango de variabilidad de cada uno de ellos. Iguamente, los factores deben ser fácilmente cartografiables en mapas, fotografías aéreas o rápidas visitas de campo, de acuerdo con la escala de trabajo; y su nivel de detalle, al cual se estudie, deberá ser consecuente con la información disponible en el país.

Por las características del área de estudio, se incluyó como parámetro de evaluación la acción del hombre, reflejada en la intervención de rondas, establecimientos de centros habitacionales subnormales (con o sin cobertura de servicos públicos), y degradación del entorno físico por la explotación antitécnica de fuentes de materiales.

4.2.1 Tipo de material. (M)

La evaluación del Parámetro M, material, se realizó con base en el comportamiento geomecánico del material que conforma la ladera, ya sea roca, material intermedio o suelo.

La masa rocosa se evaluó bajo dos condiciones principales, resistencia del material y condición de fracturamiento. En el área de estudio afloran rocas sedimentarias clásticas cementadas tipo areniscas y clásticas consolidadas tipo arcillolitas (tipo 3), ligera a intensamente fracturadas por tectonismo con una asignación de puntaje entre 4 y 18 puntos.

Los depósitos cuaternarios se definen como: suelos transportados de composición predorninantemente granular, el **Qcc** que agrupa al cono fluvioglaciar del tunjuelo con un puntaje asignado de 12 puntos, mientras los depósitos de terrazas bajas **Qtb**, coluviales y de ladera **Qdp**, llanuras aluviales **Qlla** y suelos residuales **Qsr** se toman como materiales intermedios transportados tipo 2, con puntajes de 3; y 11 puntos para los restantes.

4.2.2 Relieve (R)

La condición de estabilidad de una vertiente o ladera está asociada en términos del 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 unidades hipotéticas, definida en función de su forma y de los procesos morfodinámicos dominantes sobre ellas. Permite, de esta manera, describir una vertiente y cada una de las unidades establecidas con relación a su papel en la formación transporte y desarrollo de fenómenos de remoción en ella. (**Figura 2**)

La cuantificación del parámetro relieve se hizo, finalmente, en función de la pendiente promedio y la forma característica del perfil longitudinal. Así en el área de estudio quedaron definidos 121 polígonos con asignación de puntajes entre 20 y 35 puntos, que corresponden a laderas coluviales entre 5 y 20 grados de forma cóncava y llanuras aluviales de baja pendiente con forma cóncava, respectivamente.

4.2.3 Drenaje (D)

Teniendo en cuenta que el modelo de disección (drenaje) depende de las características litológicas, climáticas, y topográficas, se evaluaron dos elementos fundamentales: la densidad de drenaje y la pendiente promedio del cauce. Los rangos de valores para las condiciones de densidad de drenaje, se definieron así: de 0 a 25 m/ha baja, de 25 a 45 m/ha densidad media y de 45 a 60 m/ha alta.

La pendiente del cauce, entendida como el promedio ponderado para cada microcuenca, se agrupo en tres rangos a saber 0° a 5°, baja de 5° a 15° y mayor de 15° alta, para luego ser evaluada con las zonas de densidad de drenaje definidad previamente, resultando, por ejemplo, áreas de densidad media y pendiente del cauce baja (MB).

4.2.4 Vegetación (V)

Según Gray (1982), la influencia de la vegetación en la estabilidad de laderas debe analizarse bajo cinco aspectos principales:

- Los sistemas de raíces ayudan al refuerzo mecánico del suelo, por la 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 evapotranspiración.
- Los sistemas de raíces tienden a invadir grietas, fisuras y canales en el suelo o masa rocosa, pudiendo generar esfuerzos locales que contribuyan a 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 perpendiculares a la pendiente) desestabilizadores (fuerzas en el sentido de la pendiente).

En el área de estudio, el 51 % corresponde a zonas urbanas, la inclusión de esta condición en el análisis semi-cuantitativo se hizo tomando en cuenta la similitud del efecto de intercepción y retardo del agua, que pruduce la cubierta de la viviendas. Las zonas urbanas se evaluaron de la misma forma que los cultivos permanentes y semipermanenetes y rastrojo bajo.

La valoración en puntajes están definidos en un rango de 8 a 32 puntos, donde el valor de 8 corresponde a áreas descubiertas de vegetación sobre una ladera con pendientes entre 20 y 45 grados, mientras el valor de 32 corresponde a un bosque nativo localizado sobre una ladera de pendiente menor a 20 grados.

4.2.5 Erosión (E)

La erosión parte integral de los procesos morfodinámicos, responsables del modelado de la superficie, se entiende como aquel fenómeno en el cual ocurre arranque y transporte inicial de material por un agente (agua, aire, hielo animales u hombre) y que por lo tanto excluye los movimientos en masa, que se consideran como translocaciones de material por acción de la gravedad, la cual no es un medio de transporte. (González 1990).

El mapa temático de erosión fue el resultado de cruce de las zonas eriales del mapa de cobertura y usos del suelo, los procesos erosivos cartografiados en el mapa de procesos morfodinámicos y las áreas destinadas para la explotación de fuentes de materiales. la unidades definidas en el temáticc se evaluaron como áreas características de cada tipo de erosión, y las canteras se asimilaron a zonas de erosión concentrada.

4.2.6 Clima (C)

La valoración de este parámetro se realizó exclusivamente con la precipitación, por considerar que la lluvia es el principal factor detonante de inestabilidad; aunque en ocasiones es sólo un factor contribuyente. Se efectuó un análisis de precipitación máxima diaria acumulada, para 5, 10 y 15 días, a partir de un análisis de lluvia precedente que correlaciona la precipitación acumulada con eventos de fenómenos de remoción en masa.

El análisis presentó para el sector de Ciudad Bolívar que la precipitación detonante de movimientos en masa es la acumulada en 15 días, mientras para el Sur Oriente la precipitación detonante acumulada es de 10 días.

4.2.7 Sismo (S)

Según AIS 1984, el área se caracteriza por presentar una aceleración pico de Aa = 0.2 g y suelos tipo S1 y S2. La evaluación del efecto sísmico se realizó en función de la repuesta local de las diferentes unidades geológicas con relación a su morfometría, Rodríguez (1986), resultando:

- Alta amplificación = 1.5 Aa
- Media amplificación = 1.2 Aa
- Baja amplificación = 1.0 Aa

Con estos criterios se definieron zonas con asignación de puntajes entre 1 y 8, que corresponden a laderas con suelos tipo S2 y aceleración Aa de 0.3 g, y laderas con suelos tipo S1 y aceleración Aa de 0.2 g respectivamente

4.2.8 Factor Antrópico (A)

En el sur de Bogotá la intervención del hombre se ha manifestado desde la deforestación de zonas para uso agrícola, hasta la degradación completa del medio en las áreas dedicadas a la explotación minera de fuentes de materiales.

Para la valoración de esta variable se definieron áreas con las siguientes características:

- **Rondas**: Casi en su totalidad han sido deforestadas y en su perímetro se le han construido unidades de viviendas. Las riberas en general son usadas como reservorios para la disposición de materiales heterogéneos incosolidados, residuos de construcción y principalmente basuras. Además, reciben los vertimientos de aguas negras, que por lo general se realizan de forma indiscriminada y sin ningún tipo de tratamiento.

La intervención sobre La Ronda se consideró como la más critica por la conjugación de los factores mencionados, y principalmente por el grado de amenaza a movimientos en masa a que están expuestos sus invasores.

- **Areas de explotación minera**: Encierran canteras, chircales y gravilleras. La degradación que producen al medio físico es intenso, y se clasifican de acuerdo con su estado de explotación (activas o inactivas), y si se encuentran urbanizadas o no.

Los principales efectos al medio son: la exposición directa del material a los agentes meteóricos, la mala disposición de estériles y el deterioro de las condiciones de estabilidad.

- **Zonas urbanas**: Gran parte del área de estudio y en especial las partes altas no cuenta con redes de alcantarillado, y las aguas sanitarias y lluvias corren libremente por las calles contribuyendo a la formación y desarrollo de frentes erosivos, y al ablandamiento de la masa superficial de material. De esta manera, para la evaluación las zonas urbanas se discriminaron con relación a la cobertura de servicios públicos (con, sin, o parcialmente).

A criterio del equipo de trabajo, y con base en el conocimiento de la problemática ambiental del área se definieron tres categorías de intervención: (Tabla 4)

- Alta: corresponde a sectores con degradación intensa del medio físico, y condicionados para el desarrollo o activación de fenómenos de remoción en masa. Por orden jerárquico de intervención se encuentran: las rondas intervenidas, zonas urbanizadas sin cobertura de servicios, canteras activas, áreas de botaderos, canteras abandonadas y chircales no urbanizados.

- Media: En este intervalo se encuentran áreas sin evidencias claras de problemas de inestabilidad, pero en condiciones actuales favorables para la generación de deslizamientos. Estas son: canteras o chircales abandonados urbanizados y zonas urbanas con cobertura de alcantarillado de aguas negras o lluvias.

- Baja: Designa sectores rurales, que aun existen, y de asentamientos urbanos consolidado con infraestructura completa de servicios públicos, emplazados principalmente a lo largo del valle de Tunjuelito y el piedemonte de los cerros orientales.

4.3 Evaluación de Estabilidad

La evaluación semicuantitativa de estabilidad se realizó a partir de la valoración de los parámetros de análisis, definidos como la agrupación, según su naturaleza, de cada uno de los factores que intervienen en la estabilidad de una ladera, y establecidos de tal manera que permitieran ser fácilmente cuantificables o fuesen susceptibles de ser calificados.

El modelo de evaluación se realizó mediante el cruce sistemático de los mapas temáticos resultantes de la valoración de las variables, en términos de su contribución a la estabilidad. Se cartografiaron como bases topológicas con sus correspondientes bases de datos los siguientes temas:

- (M.) Material
- (R.) Relieve
- (D.) Densidad de drenaje
- (V.) Cobertura del suelo
- (E.) Erosión
- (C.) Clima
- (S.) Sismo
- (A.) Acción Antrópica
- (F.) Fenómenos de inestabilidad

La calificación de estabilidad (CE) fue el resultado de la sumatoria ponderada de los valores de estabilidad asignados a cada parámetro. La **tabla 4.** presenta en forma resumida el sistema de asignación de puntajes, para las variables ajustadas a las condiciones del proyecto.

El ajuste se refiere a la inclusión del factor antrópico como agente detonante; a los cambios en los parámetros de erosión y vegetación por modificaciones en la unidad básica de análisis, es decir la eliminación de los percentiles de área afectada o cubierta respectivamente; y a la sensibilización de las variables dentro de la calificación de estabilidad de laderas.

Los rangos de valores de calificaciones de estabilidad definidos para cada parámetro son:

PARAMETRO	SIMBOLO	PUNTAJE MAXIMO	PUNTAJE MINIMO
MATERIAL	M	50	01
RELIEVE	R	44	15
DENSIDAD DE DRENAJE	D	35	06
VEGETACION	V	32	01
EROSION	E	35	02
CLIMA	C	40	08
SISMO	S	24	00
FACTOR ANTROPICO	A	50	02
CALIFICACION DE ESTABILIDAD		**310**	**35**

Con el cruce de los primeros cuatro parámetros (M + R + D + V), considerados como parámetros intrínseco de una ladera o vertiente, se obtuvo un mapa semicuantitativo de zona homogéneas de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

A partir del análisis de frecuencias de las áreas resultantes, se establecieron tres grandes niveles de susceptibilidad, baja, media y alta. Areas calificadas con puntajes menores a 65 se consideran de alta susceptibilidad, mientras puntajes mayores a 95 significan baja susceptibilidad.
La superposición de la evaluación de susceptibilidad con los agentes detonantes (+ E + C + S - A), permitió establecer una zonificación preliminar de amenaza con periodos de retorno diferentes para las condiciones críticas de estabilidad **(Mapa de Amenaza Preliminar - Categorías de Estabilidad).**

La zonificación preliminar de amenaza queda definida por seis niveles, que corresponden a las categorías de estabilidad establecidas por Crozier (1984), agrupados así:

CATEGORIAS DE ESTABILIDAD	CALIFICACION DE ESTABILIDAD (CE)
I	> 140
II	125 - 140
III	105 - 125
IV	80 - 105
V	55 - 80
VI	< 55

5.0 EMPLEO DE LA METODOLOGÍA DE TALUDES NATURALES (MTN)

La medición de laderas naturales tiene como propósito dar una interpretación a las condiciones geológicas, topográficas, hidrográficas, etc, producto de procesos evolutivos que se encuentran en equilibrio dinámico (Bernal 1994, notas no editadas). Su manejo se efectúa a través de planos topográficos y geológicos.

El muestreo de laderas naturales depende del tipo de proyecto a realizar, bien sea que se refiera a un área (regional o zonal), o a una longitud (carretera, oleoducto, túnel), con el fin de disponer de los elementos cartográficos mínimos necesarios y, establecer los objetivos y resultados que se pueden obtener mediante el empleo de la MTN en el estudio.

A continuación se describe la secuencia metodológica y las actividades efectuadas para el logro del objeto de la investigación.

5.1 Elementos Cartográficos

Las necesidades del proyecto y las variaciones altimétricas de los taludes involucrados, fueron los elementos determinantes en la selección de la escala de los planos topográficos. En promedio una escala 1:10000 permitía, tan sólo, la visualización de sectores para la obtención de poblaciones de taludes naturales. Con el fin de realizar mediciones a nivel de familias en zonas más o menos amplias fue necesario trabajar con planos 1:5000, con intervalos de curvas de nivel cada 5 m.

Los planos de trabajo (1:5000), fueron el resultado de la transcripción de la litología de los planos geológicos a los planos topográficos, la localización del área de cada población y la determinación del lugar representado por cada familia.

5.2 Medición de Familias de Taludes Naturales

La cantidad de familias requeridas para la aplicación de la MTN estuvo condicionada a los objetivos del proyecto, pero el número total de las familias medibles fue el resultado de las características y nivel de confiabilidad de los planos de trabajo.

- Delimitación

Las condiciones mínimas requeridas para la delimitación de las familias de taludes son:

- Las curvas de nivel debían presentar un relativo paralelismo, y la direccionalidad o azimut de las mediciones se efectuó perpendicular a la dirección predominante de dicho paralelismo.
- No se incluyeron accidentes topográficos como cuchillas, filos, hondonadas prominencias, o accidentes hidrográficos y geomorfológicos (zanjas, cauces, canales pequeños, barrancos, etc).
- Las zonas de materiales foráneos a los de la familia delimitada, que podía o no comprender material transportado, no fueron considerados.

5.3 Sistema de Medición

Para el análisis de estabilidad se eligió el sistema secuencial cumulativo como base de la medición (Shuk, 1993), porque mide los taludes con pendiente máxima y mínima en cada intervalo de curvas de nivel seleccionado, y los taludes con pendiente promedio se obtienen calculando para cada altura el promedio (no aritmético), de la longitud máxima y mínima.

5.4 Análisis de Estabilidad Relativa

La representación gráfica del universo de familias de taludes naturales (Log H vs Log L), para diferentes épocas y ambientes geológicos, permitió inferir la tendencia del universo, asociando en forma relativa la resistencia de los materiales (Factores de seguridad relativos - Fs). De esta manera, con la aplicación de la MTN se realizaron análisis de estabilidad relativa a:

- Corto y mediano plazo
- Largo plazo

Entendiéndose a largo plazo un periodo superior a 15 años, a mediano plazo alrededor de 4 años que más o menos coincide con ciclos de lluvia intensa, y a corto plazo entre 3 y 6 meses.

Comparativamente el análisis cuantitativo a corto plazo muestra condiciones de estabilidad más favorables (factores de seguridad mayores), que a largo plazo, coincidiendo con el comportamiento de equilibrio límite de las laderas y/o taludes naturales en condiciones no drenadas.

En general las condiciones de estabilidad a largo plazo son muy precarias en el costado oriental en los sectores de Gaviotas. Quindío, Altamira, establecidos en la parte alta de la microcuenca de la quebrada Chiguaza entalla en depósitos de ladera y rocas arcillosas blandas; y en la franja nor-occidental (sectores

de Jerusalén, La Isla y Juan José Rondón), y sur-oriental (sectores de Ocho de Diciembre, Barrios Unidos, Villas del Progreso), de la Localidad de ciudad Bolívar, que corresponden principalmente a depósitos delgados de ladera que sobreyacen a interestratificaciones de bancos de areniscas y arcillolitas de la formación Guaduas (Ktg) conjuntos medio e inferior.

6.0 CONCLUSIONES Y LIMITACIONES

El proyecto de Ciudad Bolívar, presenta como contexto ambiental el desarrollo de amplias franjas urbanas, muchas de carácter subnormal, en laderas principalmente rocosas de pendiente moderada a alta, intensamente degradadas por agentes tectónicos, de intenperismo y principalmente por la acción directa del hombre. Estas condiciones generan gran dinámica en los procesos denudativos, que se traducen en constante cambios morfológicos, variaciones de las condiciones locales de estabilidad en tiempos cortos, y aumento de los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

El sistema semicuantitativo de evaluación, como lo reconoció González y Ramírez (1989), es susceptible y necesario de modificar, para que permita enmarcarse dentro de las condiciones geológicas, topográficas, climáticas y ambientales propias de cada uno de los proyectos en evaluación. Del estudio de los factores que intervienen en la estabilidad en el sector de Ciudad Bolívar y que son fácilmente cuantificables o susceptibles de ser calificados, los agentes detonantes (clima -precipitación-, sismo y acción antrópica) merecieron especial análisis para poderlos involucrar dentro del modelo de evaluación. Así, aspectos como porcentaje de área afectada, patrones de comportamiento, estimación del efecto local (respuesta sísmica), relación lluvia-deslizamiento, y unidad de trabajo, fueron necesarios orientarlos a las condiciones del proyecto.

La acción antrópica, como agente detonante de fenómenos de remoción en masa, constituye una variable que merece ser cualificada o cuantificada de una u otra forma dentro de las diferentes metodologías de evaluación de estabilidad a nivel macrogeotécnico, porque es a criterio de los autores, en áreas urbanas, el factor que otorga más dinámica a las condiciones de estabilidad. Este factor se incluyo en la evaluación de estabilidad con relación a: la invasión de rondas, explotaciones antitécnicas de fuentes de materiales y la falta de cobertura de servicios públicos, que se presentan en forma generalizada en el área de estudio.

Para la condición a mediano y largo plazo, La definición de zonas homogéneas de estabilidad entre una y otra metodología, mostró cierta concordancia, definiendo las parte alta de las localidades de San Cristóbal y Usme en el sur-oriente, y los sectores de La Cumbre, El porvenir, franjas de Jerusalén y Juan Pablo II, en la localidad de Ciudad Bolívar, como las áreas de mayor susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, más baja categoria de estabilidad y factores de seguridad relativos menores a Fs=1.0.

En general las riberas de los drenajes se constituyen en áreas de alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa y baja categoría de estabilidad. Principalmente las quebradas Ciguata, Santa Librada, La Olla del Ramo, Morales, La nutria, en el sur Oriente, y las Quebradas La Limas, Puente Colorado, La Lima. en Ciudad Bolívar.

Los sistemas cuantitativos para La evaluación de estabilidad a nivel regional, como la MTN, merecen ser tenidos en cuenta como metodologías para zonificación, ya que permiten además de definir la condición de estabilidad de una ladera en términos de factores de seguridad relativos, estimar periodos de retorno y probabilidad de falla, entre otros.

El análisis comparativo del sistema semicuantitativo y la MTN, implicó definir un marco espacio-temporal similar para las dos metodologías. En la mayoría de los casos no resulta fácil definirlo, sin embargo esto puede hacerse evaluando periodos de retorno para los agentes detonantes más relevantes (lluvias y sismos), y definirlo con relación a la condición más crítica.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se enmarca dentro del Convenio Interinstitucional entre EL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACION DISTRITAL e INGEOMINAS, para realizar el Estudio Geotécnico

de un Sector Sur de Santafé de Bogotá, Alcaldías de Ciudad Bolívar, San Cristobal, Rafael Uribe, Usme y Tunjuelito. Se resalta los aportes y el apoyo permanente de los Ingenieros Geotecnistas Alvaro J. González, Tomas Shuk, Edgar E. Rodriguez G., Lizandro Beltran, y la labor del equipo de trabajo del Departamente de GEOAMBIENTAL de INGEOMINAS, conformado por los Ingenieros Eduardo Zamudio, Ciro A. Parrado, Gloria Ruiz, Patricia Torres, Orlando Ordoñez, el Geológo Gusto Padilla; en la parte cartográfica, al Ingeniero Mauricio Rodriguez, y los señores Carlos Schmidt, y Cesar Zarate

BIBLIOGRAFÍA

AMBIENTE, LIDA (1988). Programa Ciudad Bolívar, Problemática Ambiental, Geología y Drenajes; Erosión y Climatología, Tomos II y III. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.

BENAVIDES, V. Alvaro, E. (1995). "Proyecto de Fortalecimiento y Cualificación del Comite Local de Emergencia -CLE- Localidad 19, Ciudad Bolivar. Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá, D.C.

COMITE LOCAL DE EMERGENCIAS DE SAN CRISTOBAL, LOCALIDAD 4. (1994). "Informe de Identificación de Zonas de Riesgo Geotécnico-Ambientales". Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá, D.C. Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá, D.C.

COMITE LOCAL DE EMERGENCIAS DE SAN CRISTOBAL, LOCALIDAD 4. (1994). "Informe Fotográfico de Zonas de Riesgo Geotécnico-Ambiental". Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá, D.C. Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá, D.C.

COMITE LOCAL DE EMERGENCIAS DE SAN CRISTOBAL, LOCALIDAD 4. (1994). "Mejoramiento de Asentamientos Ubicados en Zonas de Alto Riesgo, Informe de Avance Perfil de Proyectos". Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá, Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá D:C.

CORREAL, R. Carlos A. (1994) "Interventoría, Estudios y Asesorias para la restitución Geotécnica de los Barrios Moralva, Quindio, Puente Colorado y Otros de la Localidad 4 de Bogotá". Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá D.C.

DENNESS, Bruce (1976). "The Preparation of Slope Map by the Moving Interval Method" . AREA. Institute of British Geographers. Vol 8, Number 3.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEAMIENTO - ALCALDIA MAYOR DE SANTAFE DE BOGOTA (1993). "Plan de Mejoramiento Integral de Ciudad Bolivar y Areas Subnormales del Sur y Alternativas para la Localización de la Población Pobre de Bogotá". Documento DNP-2625-UDU-DIVIV. Santafé de Bogotá.

DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, "DAMA" (1994). Programa Ciudad Bolivar Problemática Ambiental y Soluciones, Resumen Ejecutivo. Santafé de Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C.

DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, "DAMA" (1994). Agendas Locales Ambientales. Localidades Rafael Uribe Uribe, San Cristobal, Usme y Ciudad Bolivar. Programa de Educación Ambiental Masiva - PEAM. Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá D.C. Santafé de Bogotá D.C.

ESTUDIOS Y ASESORIAS (1990). Estudios Puntuales de las Rondas de las Quebradas Chiguaza, De Limas, Yomasa, Trompeta, y La Estrella. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.

GEOAMERICA LTDA (1991). Estudio Geológico y Geotécnico de los Sectores Inestables del Barrio Juan José Rondón. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría de Obras Públicas.

GONZALEZ, G. Alvaro (1990). "Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamiento". VI Jornadas Geotécnicas, Sociedad Colombiana de Ingenieros. Santafé de Bogotá D.C.

GONZALEZ, G. Alvaro (1990). "Metodología para Estudios de Riesgo por Deslizamiento a Escala Intermedia". VI Jornadas Geotécnicas. Sociedad Colombiana de Ingenieros. Santafé de Bogotá D.C.

HENRIQUEZ, M. (1992). "Bogotá Emergencias y Desastres Ocurridos 1938-1992". Fuente: Base de Datos "ONAD-DESASTRES". Recopilación de Informes de Prensa. Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá. Santafé de Bogotá D.C.

HIDROTEC LTDA (1988). Plan Sectorial de Ordenamiento Usme - San Cristobal, Diagnóstico. Tomos I y II, Proyecto Ciudad Bolivar. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, Departamento Administrativo de Planeación Distrital.

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA (1994). Seminario Taller sobre la Recuperación Ambiental del Programa Ciudad Bolivar, Factores Geotécnicos. Santafé de Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - D.A.M.A.

INGENIERIA E HIDROSISTEMAS LTDA (1991). "Estudios Geológicos y Geotécnicos Barrio Aurora II y Marichuela". Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría de Obras Públicas de Santafé de Bogotá.
LA VIALIDAD LTDA. Estudio Geológico y Geotécnico de los Sectores Inestables en el Barrio La Paz. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría de Obras Públicas.
ORTEGA, N. Hector L. (1994). "Diagnóstico de la Localidad 6 - Tunjuelito". Oficina de Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá D.C.
OSPINA, R. Mariano (1989). Estudio Geológico y Geotécnico de los Sectores Inestables de los Barrios Jalisco y Brisas del Volador. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaría de Obras Públicas.
PERILLA, R. Marta, y otros. (1994). "Proyecto de Factibilidad para el Mejoramiento y Relocalización de Asentamientos Humanos Ubicados en Zonas de Alto Riesgo en la Localidad 19, Ciudad Bolivar". Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES), Santafé de Bogotá, D.C.
PORRAS, R. Ana (1994). "Consolidación del Comite Local de Emergencias - Alcaldía Local de San Cristobal (Zona 4). Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá, Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá D.C.
PRIETO, M. Reynaldo (1988). Plan de Arborización y Reforestación en la Zona del Programa de Ciudad Bolivar, Informe de Análisis Volúmen I y II. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá. Departamento Administrativo de Planeación Distrital, Programa Ciudad Bolivar.
ROA, A. Edgar, E. (1994). "Diagnóstico Técnico del Deslizamiento en el Sector de los Barrios Barranquillita y San Juan de Usme, Santafé de Bogotá, D.C". Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá. Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá, D.C.
ROA, A. Edgar, E. (1994) "Evaluación de la Condición Actual de la Cantera La "Perdigona" y Condición de la Amenaza sobre el Barrio La Aurora II, Sector Usme". Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá. Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias - "OPES". Santafé de Bogotá D.C.
ROA, A. Edgar, E. (1993). "Diagnóstico de la Amenaza por Deslizamiento en el Barrio Montebello, Conclusiones y Recomendaciones (Alcaldía Menor de San Cristobal Sur). Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá, D.C. Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá, D.C.
ROA, A. Edgar, E. (1992). "Diagnóstico de la Amenaza Geológica - Conceptos y Recomendaciones para el Sector No 2 (La Casona), Barrio Juan José Rondón (Ciudad Bolivar), Santafé de Bogotá D.C.". Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá, Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Santafé de Bogotá D.C.
RUIZ, G. Carlos (1986). "Normas para el Dibujo de Mapas Geológicos". Ministerio de Minas y Energía. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras. Bogotá D.E.
SALAZAR, JOSE D. (1994). "Mejoramiento de Asentamientos Ubicados en Zona de Alto Riesgo-3 Informe". Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá. Oficina para la Prevención y Atención de Emergencias (OPES). Comite Local de Emergencias CLE 18. Rafael Uribe Uribe. Santafé de Bogotá D.C.
SHUK, Tomas (1994). "Quantitative Geomechanical Differentation and Characterization of Geological Materials Derived from a Singel Parental Rock by Means of Natural Slope Methodology (NSM). 4th Southamerican Rock Mechanics Congress. Santiago de Chile. p243-254.
SHUK, Tomas (1994). "Applications of the Natural Slope Methodology (NSM) for the Planning Exploration and Design of the Underground Work. 4th Southamerican Rock Mechanics Congress. Santiago de Chile. p 267-268.
SHUK, Tomas (1994). "La Evolución y el Estado Actual de la Metodología Basada en Taludes Naturales para Análisis de Estabilidad en Masas de Materiales Geológicos - Parte I". Santafé de Bogotá D.C.
SHUK, Tomas (1994). "Key Elements and Applications of the Natural Slope Methodology (NSM) with Some Emphasis on Slope Stability Aspects". 4th Southamerican Rock Mechanics Congress. Santiago de Chile.
SHUK, Tomas (1994). "Escritos sobre la Metodología de Taludes Naturales". Apendice A. Santafé de Bogotá D.C.
SHUK, Tomas (1994). "Escritos sobre la Metodología de Taludes Naturales - Sistemas de Medición de Taludes Naturales". Cap. 8. Santafé de Bogotá D.C.

TABLA 1
INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS

LOCALIZACION		1 LADERA	2 MORFOL. MORFOM.		3 MATERIALES				4 Veg. y Uso Terr.			5 DREN. AG SUB.		6 PROCESOS GEOMORFOLOGICOS						7 EVALUACION			
DIRECCION	SECTOR	b UNIDAD de TERREN	LADERAS		Roca del subsuelo	Depósito Superficial	Meteorización (S/Desarrollo)		Veg. Nat.		Uso del Terr.	Drenaje Bay		Erosión		Mov. en Masa		Inundación		Disposición Estructural	Evaluación Estabilidad Natural	Causa	Amenaza por la Inestabilidad
			Forma del perfil	Forma de canales			Grado	Prof.	Tipo	%		Efic.	Densidad (m/Km²)	Tipo	Intens.	Tipo	Intens	Tipo	Proc.				
Diag 86Bs No. 30-86	Barranquillita	7	V	Vc	Tsu	Qcc	-	-	Vm	10	P	d	-	hc	md	fls	md	-	-	D	V	DNP,Vgd	b-md
Calle 41s Carrera 7-73	San José Suroriental	6	V	Va	Tbpe	Qdp	-	-	-	-	P	d	-	fs	md	Dr-fls	b-md	-		I	III	DMSPACa	b-md
Diagonal 16E No 42B-97s	Escuela Moralba	3b	V	Uc	Tpbi	Qar	V	-	-	-	P	d	-	hs	md	f	b-md	-	-	I	IV	DPCACa	
Calle 43s No 16E-07	Barrio Moralba	3b	VX	Uc	Tpcl	Qar	V	-	Vm	-	PC	d	-	es	b	Rp	b-md	-	-	I	IV	DNPCADra	b-md
Cantera Zoque	Cantera Zoque	3b	R		Kggpra		II-III	-	-	70	-	d	-	hc	b	fl-derrtos	b-md	-	-	P	VI	LPNPS	b-md
Margen der. Qda Zoque	Barrio Los Puentes	6	R	Ua-Va	Tpbs	Qdp/ter	-	-	Vm	-	P	e	-	fs	md-A	Dt	md	-	-	F	VI	DNPSACa	b-md
Diagonal 47s No. 12-15	Barrio Altamira-Nva Gloria	6	R	Vc	Tpbs	Qdp/ter	-	-	-	-	P	d	-	hs	md-A	Rp	b	-	-	P	III	NpAsAcc	b
Quebrada Zoque	Barrio Quindio	8	X	Uc	Tpbs	Qdp	-	-	-	-	P	d	-	hs	A	Avalancha	md	-	-	I	V	PSCaAdri	md
-	Esperanza/Manara	9	R		Kggs	Qar/Qdp	V	< 1m	-	90	Za	-	-	hs	md-A	Dtr	md	-	-	D	III	mFB-DNP	Cac-Vgd
Calle 47s No 10A-E		6	VR	Uc	Tpbs	Qdp-T	-	-	Vm	20	P	e	-	es-fs	md	f lado	b	-	-	No se obs.	IV	LWPDr	b-md
Carrera 15E - Calle 66	Barrio Juan Rey	6	X	Ua	Tpbs	Qdp-T	-	-	Vm	20	P	d	-	es	b	Slumpe Rotac.	md	-	-	F	V	LPsp	b-md
Diagonal 59C - Carrera 14E	Barrio Juan Rey	6	X	Ua	Tpbs	Qdp	-	-	Vm	5	P	d	-	fs	b-md	f antiguos	md	-	-	F	V	-	md
	Providencia Alta	6	R	-	Tpbs	Qdp	IV	-	-	-		d	-	es	md	Dt	md	-	-	P	IV	MRPA	md
Calle 86E No 30-41	Barrio El pedregal	7	V	Ua	Tsu	Qcc	-	-	Vm	5	P	d	-	es	md	Dr-f antiguos	md-a	-	-	D	V	EPADrc	mb-a
Transversal 20 No 69D-20E	Barrio Brisas del volador	3a	V	-	Kggt	R	IV	-		-		d	-	hs-hc	md	Dr-fl	md	-	-	D	V	LMPpd	md
Carrera 18A - Calle 68A s	Cantera Villa diamante, antiguo der.	3b	XR	Uc	Kggt	R	III	-	Vm	20	P	d	-	hs-hc	md	fl-derrtos	md	-	-	I	V	LRFdp	md
	Cantera Villa diamante, antiguo izq.	3b	XR	Uc	Kggt	R	III	-	Vm	20	P	d	-	hs-hc	md	Dt-cuña	md	-	-	D	V	LEPdp	md
	Barrio La Esperanza	2 y 3	V	Va	Kgg	R	III-IV	-	-	0	P	d	-	hs-hc	md	Dr	md-b	sl	-	D	III	LMPEPd	md
	Gran Chaparral	2 y 3	V	Va	Kgg	R	III-IV	-	-	0	P	d	-	hs-hc	md	Dt	md-b	sl	-	D	III	LMPEPd	md
Carrera 18N No. 69Z-59	Nutibara, Nueva Colombia	8	VX	Va	Kggt	bos.	-	-	Vm	-	P	d	-	hs-hc	md	Complejo	md	-	-	D	V	LSIPCad	md
Carrera 30 No. 69F-69E	Arboleadora Alta	6	XR	Uc	Kgg	Qdp	-	-	Vm	10	P	d	-	hc	md	fls	b	-	-	D	III	ADrc	b-md
	Ciudad Bolivar	3 y 6	V	Vc	Kgg-Kg	Qdp-Qar	-	-	-	-	P-Z	d	-	hf-hc	md-Alto	fls		-	-				

1. LADERA INTRAMONTANA
UNIDADES

1. Rocas residuales
   a. evolucionadas
   b. cuerpos volcánicos
2. Material inconsolidado
3. Roca
   a. Sin control estructural
   b. Con control estructural
4. Escarpe rocoso
5. Talus
6. Coluvial
7. Aluvial
8. Banda de cauce
9. Cauce o plano aluvial

1. LADERA GLACIAL
UNIDADES

10. De ornamentación
20. Escarpe rocoso / Circo
30. Ladera morrénica
40. Lagunar
50. Till sin estratificación
60. Lavado periglacial
70. Talud
80. Cauce
90. Flujo depósito estratificado

2. FORMA DEL PERFIL

V: Cóncavo
X: Convexo
R: Recilíneo

2. FORMA DE LOS CANALES

Ua: U abierto Va: V abierto
Uc: U cerrado Vc: V cerrado

3. SUELOS Y GRADO DE METEORIZACION

R: Residuales
T: Transportado
V: (Grado de meteorización según Deerman)

4. VEGET. Y USOS DEL SUELO

Vn: Veg. primaria p: pastos
Vm: secundaria C: cultivos
d:desarrollo P:Plantac.
U: Urbano

5. TERRENO

D:Divergente
K:Convergente
P:Paralelo

6. EROSION

h: hídrica a:Escorrentía sup.
f:fluvial b:torrencial
m: Erosión marina hc: Cárcavas
v: Erosión eólica h:Inundación

6. MOVIMIENTOS EN MASA

	Suelo	Material Intervenido	Roca
Mi : Indiferenciado	Mis	Mmi	Mrr
Rp: Reptación	Rps	Rpi	Rpr
Dr: Deslizam. rotacional	Drs	Dri	Drr
Dt: Deslizam. traslacional	Dts	Dti	Dtr
Fl: Flujos	Fls	Fli	Flr
V : Volcanicos	Vs	Vi	Vr
S : Caidas	Ss	Si	Sr

7. AMENAZA A LA INESTABILIDAD

m : Mínima
b : Baja
md: Moderada
a : Alta
ma: Muy alta

7. DISPOSICION ESTRUCTURAL

P : Favorable
f : Fallación
eg: Estratificación gruesa
ed: Estratificación delgada
d : Discinas
I : Indiferente
D : Desfavorable

7. CAUSAS

R : REALES
L: Litología
M: Meteorización
F: Fracturación
E: Estructura
W: Agua Subterráneas

C: CONTRIBUY.
N: Naturales
A: Antrópicas

D: DETONANTES
N: Naturales
P: Precipitación
A: Antrópicas
S: Sismo
E: Erosión
S: Socavación

Ca: Carga
c: Corte
r: Relleno
Dr: Drenaje
I: Impedido
a: alterado
Vg. Vegetación
d : deforestado
cu: cultivo
p : pastoreo

7. CONDICIONES DE ESTABILIDAD NATURAL DE LAS LADERAS **

I. Laderas que no presentan evidencia de inestabilidad y se consideran estables a través del análisis comparativo

II. Laderas sin evidencia o pequeños desplazamientos que pueden desarrollar procesos futuros de erosión o deslizamientos

III. Laderas con herencia morfodinámica de antiguos deslizamientos. Se identifican los depósitos de deslizam. En general son de tamaño pequeño

IV. Laderas con evidencias de deslizamientos y procesos de inestabilidad anteriores. Las formas de erosión son evidentes aún. Se incluyen depósitos coluviales recientes.

V. Laderas que presentan asentamientos nuevos o reactivados de antiguos, en tamaños grandes y peq. Suelos gruesos.

VI. Laderas deslizam. grandes y activadas por condiciones desf.

Modificado de Hernández, F. y Hernández, P. (1988)

* Ver mapa geológico

** Adaptada y modificada de Crozier (1984)

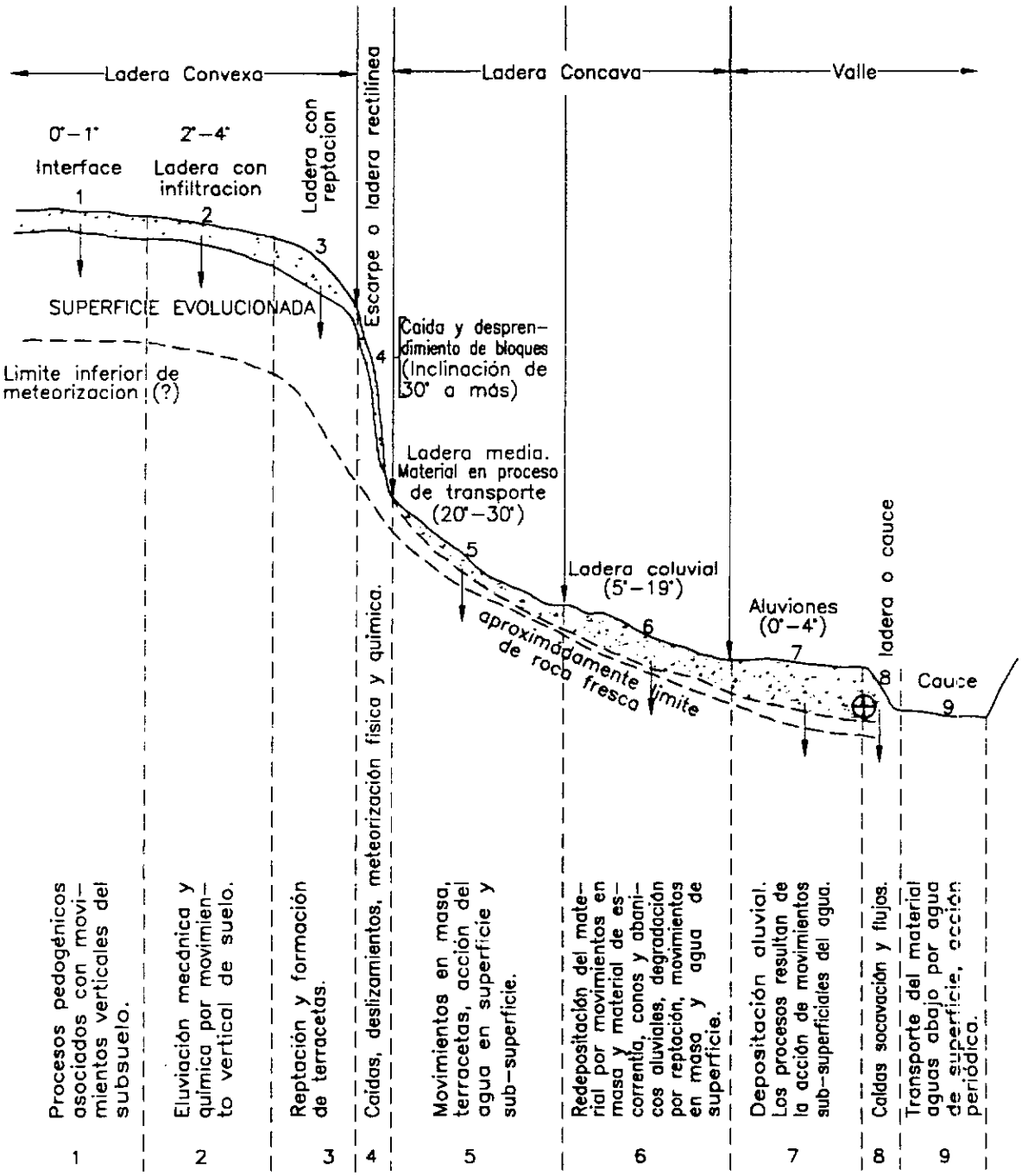
TABLA 3.2

ZONIFICACION GEOTECNICA DE UN SECTOR AL SUR DE SANTAFE DE BOGOTA
ALCALDIAS DE SAN CRISTOBAL, RAFAEL URIBE, CIUDAD BOLIVAR Y USME
INVENTARIO DE CANTERAS

NUMERO	NOMBRE	ALCALDIA	ESTADO ACTUAL	TIPO	PROBLEMAS DE ESTABILIDAD	USO
1	Cantera el Zuque	San Cristobal	En explotación	Arenera	Flujo de detritos, disposición de desechos en las orillas de la Quebrada el Zuque	Sin urbanizar y poca cobertura vegetal
2	Barrios Los Pinos y Juan Rey	San Cristobal	En explotación	Arenera	Fenómenos de erosión laminar y en surcos	Hacia la parte oriental se presenta urbanizada
3	Barrio La Flora	Usme	Abandonada	Arenera	Erosión laminar y en surcos	Sector oriental poblado
4	Barrio La Esperanza	Usme	En explotación	Chircal	Sin problemas	Sin urbanizar
5	Sierra Morena	Usme	En explotación	Chircal	Sin problemas	Poblada en sus alrededores
6	Oeste alto Los Pinos	Usme	En explotación	Chircal	Erosión moderada	Poblada en sus alrededores
7	Barrio el Bosque	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar	Poblada en sus alrededores
8	Barrio Compostela	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar	Poblada en sus alrededores
9	Al sur Barrio Los Curubos	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar	Poblada en sus alrededores
10	Al oeste Barrio Los Curubos	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar	Moderadamente Poblada
11	Ladrillera Tejares	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Poblada hacia la parte este de la ladrillera
12	Ladrillera Yomesa	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Poblada hacia la parte oeste
13	Ladrillera Helios	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Poblada hacia la parte occidental
14	Oriente Barrio El Pedregal	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Sin urbanizar
15	Ladrillera Alemana, oriente Barrios Santa Marta y Duitama	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Diferencial y concentrada	Poblada hacia el oeste de la cantera
16	Barrio el Porvenir	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos y caida de detritos	Poblada hacia la parte norte
17-18-19-20	Barrio La Fiscala	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Sin población
21	Oeste Barrio Danubio Azul parte alta	Usme	En explotación	Arenera	Caida de detritos	Sin población
22-23	Barrios Danubio Azul Voz de Alerta y La Paz	Usme	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Poblacion en los sectores occidentales
24	Norte Barrio San Agustin	Rafael Uribe	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Población en los alrededores
25	Oriente Ciudad Bochica	Rafael Uribe	En explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Población en el sector occidental
26	Barrios Madrid y Puerto Rico	Rafael Uribe	En explotacion	Arenera	Caida de Detritos	Poblada hacia el sur
27	Barrios Mirador y Marruecos	Rafael Uribe	En explotacion	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Poblada en sus alrededores
28-29-30-31	Barrios La Merced Sur, Villa Gladys, El Triunfo y La Esperanza	Rafael Uribe	En Explotación	Chircales	Erosión Laminar y en surcos con algunos deslizamientos pequeños	En su mayor parte poblada
32-33	Barrios El Socorro, El Playón-Playita	Rafael Uribe	En explotación	Chircal	Erosión diferencial y concentrada	Sin población
34	Ladrillera Santafé, sur de la Penitenciaria La Picota	Rafael Uribe	En explotación	Chircal	Erosión Diferencial y concentrada	Sin población
35-36-37 38-39	Valle del Rio Tunjuelito, entre los Barrios La Aurora y El Bosque	Rafael Uribe	En explotación	Gravilleras	Erosión Laminar y en Surcos y en menor proporción caida de detritos	Sin población
40-41-42	Cuenca Quebrada El Rinconcito, Aguacaliente El Rincón, Ladrillera La Unión y del sur, Barrios San Joaquin, La Arabia y La Playa	Ciudad Bolivar	En Explotación	Chircal	Erosión Laminar y en Surcos	Sin población
43	Oeste Barrio El Limonar	Ciudad Bolivar	En Explotación	Arenera	Erosión Laminar y en surcos caida de detritos	Poca densidad de población
44	Norte Barrio Buenos Aires	Ciudad Bolivar	En Explotación	Arenera	Erosión Laminar y en surcos	Moderada densidad de población
45	Norte Barrio Buenos Aires	Ciudad Bolivar	En Explotacion	Chircal	Erosión Laminar y en surcos	Moderada densidad de población
46	Valle del Rio Tunjuelo	Rafael Uribe	En explotación	Gravillera	Erosión Laminar y en surcos	Sin población
47-48-49-50 51-52	Barrios El Bosque, Altos de Jalisco y Domingo Lain	Ciudad Bolivar	Abandonadas	Arenera	Erosión Laminar y en surcos, caida de detritos en pequeña magnitud	Alta densidad de población
53-54	Barrios La Esperanza, Los Sauces, Villas del Diamante	Ciudad Bolivar	Abandonadas	Areneras	Erosión laminar y en surcos, caida de detritos	Alta densidad de población
55	Barrio Brisas del Volador	Ciudad Bolivar	Cantera antigua	Arenera	Caida de detritos y erosión diferencial	Baja densidad de población
56-57	Parte oeste Quebrada Limas	Ciudad Bolivar	En explotación	Areneras	Caida de bloques y detritos, erosión diferencial	Baja densidad de población
58	Margen Derecho Quebrada Limas, Barrio Brisas del Volador - Sur del Barrio El Paraiso	Ciudad Bolivar	En explotación	Arenera	Caida de Bloques y de Detritos, erosión diferencial	Densidad de población baja
59	Oeste Barrio El Paraiso, margen izquierda Quebrada Limas	Ciudad Bolivar	Cantera abandonada	Arenera	Deslizamientos planares, caida de detritos y erosión diferencial	Baja densidad de población
60-61-62-63	Barrios La Esperanza, Los Sauces, Villas del Diamante y Juan José Rondón	Ciudad Bolivar	Canteras abandonadas	Areneras	Erosión diferencial y caida de detritos en menor proporción	Baja densidad de población
64-65-66-67	Oriente Barrio El Mirador, cuenca oeste Quebrada Limas	Ciudad Bolivar	En explotación	Areneras	Caida de bloques, de detritos y erosión diferencial	Sin población
68-69	Sur del Barrio Arborizadora Alta	Ciudad Bolivar	Canteras abandonadas	Areneras	Erosión laminar y en surcos	Baja densidad de poblacion
70	Noroeste Barrio Candelaria La Nueva	Ciudad Bolivar	Cantera abandonada	Chircal	Erosión laminar y en surcos	Alta densidad de población
71	Barrio Jerusalem	Ciudad Bolivar	Cantera abandonada	Arenera	Caida de detritos y erosión diferencial	Densidad de población baja a moderada

MODELO DE PROCESOS GEOMORFICOS

Modificado de J.B. Dalrymple et al, 1968



Nota: Las flechas indican la dirección e intencidad relativa de la meteorización y movimiento de los suelos.

⊕ Indica la direccion del transporte hacia aguas abajo.

TABLA 2

SISTEMA SEMI-CUANTITATIVO DE EVALUACION DE ESTABILIDAD A ESCALA INTERMEDIA

PARAMETRO M (Material) Puntaje Máx: 50

ROCA

ORIGEN	Textura	TIPO DE ROCA: FABRICA NO ORIENTADA: Entrelazada	NO ORIENTADA: Cementada	NO ORIENTADA: Consolidada	ORIENTADA: Foliada	ORIENTADA: Cementada	ORIENTADA: Consolidada
IGNEO	Cristalino	TIPO 1					
	Piroclástico		TIPO 2				
METAMOR.	Cristalina masiva	TIPO 1					
	Cristalina Foliada				TIPO 2		
SEDIMEN.	Cristalina	TIPO 2					
	Clástica		TIPO 3	TIPO 3		TIPO 4	TIPO 4

TIPO 1 ($Óc > 2000$ Kg/cm²)
TIPO 2 ($1000 < Óc < 2000$ Kg/cm²)
TIPO 3 ($500 < Óc < 1000$ Kg/cm²)
TIPO 4 ($Óc < 500$ Kg/cm²)

CONDICION DE FRACTURAMIENTO *			
Masiva > 100 cm	Ligeram. Fractu-rada. 10-100 cm	Modera-mente Fractu-rada. 1-10 cm	Intensa-mente Fractu-rada. < 1 cm
50	39	21	9
38	29	16	7
23	18	10	4
11	8	5	2

* Separación entre discontinuidades (según Miller)

SUELO

Tipo de Suelo / Roca Parental	RESIDUAL: SUELO G	SUELO F	SUELO SAPROLITICO G	SUELO SAPROLITICO F
Ignea	2	3	3	4
Metamor.	1	2	2	3
Sedimen.	1	2	2	3
Volcánica	2	3	3	4

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

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

TIPO DE SUELO	CONDICION EN EL TERRENO: Granular (Densidad) Alta	Media	Baja	Fino (Consistencia) Dura	Media	Blanda
Tipo 1	25	16	7	23	14	6
Tipo 2	19	12	5	18	11	4
Tipo 3	11	7	3	11	7	3
Tipo 4	5	3	2	5	3	1

TOMADA DE RAMIREZ (1988)

MATERIAL INTERMEDIO

ROCA PARENTAL		Erodabilidad de la Matriz: Baja	Media	Alta	Muy alta	Influencia de las Estructuras * Baja	Media	Alta	Muy Alta
MATERIAL RESIDUAL	Ignea	2	3	4	4				
	Metamór.	1	2	3	4				
	Sedimen.	1	2	3	4				
MATERIAL TRANSPORTADO	Talus o material coluvial	2	3	4	4				
Tipo 1						35	27	15	8
Tipo 2						28	20	11	5
Tipo 3						16	13	7	3
Tipo 4						8	6	3	1

* ver tablas 1 y 2.

TABLA 1. IDENTIFICACION 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 2. 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 2 (Continuación)

SISTEMA SEMI-CUANTITATIVO DE EVALUACION DE ESTABILIDAD INTERMEDIA

PARAMETRO R - Relieve- (R = A + B) Puntaje Máx.44

Sub-zonas	Pendiente	A
Interfluvio	0-1°	30
Ladera con infiltración	2-4°	19
Ladera con reptación	10-30°	6
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	9
Rectilíneo	12
Cóncavo	14

PARAMETRO D (Drenaje) Puntaje Máx. 35

Pendiente promedio de cauces	Densidad de drenaje		
	Baja	Media	Alta
Baja (0-5°)	35	30	23
Media (5-15°)	25	19	13
Alta (>15°)	16	10	6

PARAMETRO E (Erosión) Puntaje Máx. 35

Tipo de erosión	E
Laminar	30
Diferencial	22
Concentrada	15
Por socavación	11

Nota : Cuando no haya erosión el puntaje será 35

PARAMETRO C (Clima-Precipitación) Puntaje Máx. 40

PMDA *	Baja	Media	Alta
C	40	19	8

* Precipitación Máxima Diaria Acumulada

PARAMETRO V (Vegetación) Puntaje Máx. 32

PENDIENTE	0-20°	20-45°	>45°
Bosque nativo, secundario, rastrojo alto.	32	25	19
Rastrojo bajo, cultivos permanentes o semipermanentes.	27	17	7
Pastos o vegetación herbáceas.	25	14	6
Cultivos limpios o desmonte.	20	8	3

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

PARAMETRO S (Sismo) Puntaje Máx. 24

Riesgo sísmico → / Tipo de material** ↓	Valores de Aa*						
	0,00	5,00	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
S1	24	21	17	13	8	5	2
S2	12	10	8	7	4	3	1
S3	4	3	3	2	1	1	0

*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 tutítica 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 depositos 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 a blanda, con ó sin intercalación de arenas u otros suelos no cohesivos.

PARAMETRO A (Factor Antrópico) Puntaje Máx. 50

ZONAS DE AFECTACION				GRADO DE INTERVENCION		
				Bajo	Medio	Alto
ZONAS DE EXPLOTACION	Canteras	Actuales	Urbanizadas		16	
			Sin urbanizar			6
		Abandonadas	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

CALIFICACION DE ESTABILIDAD CE Puntaje Máx: 300 Mín: 40

$$CE = M + R + D + E + V + C + S - A$$

ADAPTADA DE RAMIREZ (1988)