

**EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN  
ALGUNOS SECTORES DE LA COMUNA 14 DEL MUNICIPIO DE  
BUCARAMANGA UTILIZANDO EL MÉTODO ESTADÍSTICO CON VARIABLES  
LOCALES**

**DIANA CATALINA BLANCO MORENO  
SEBASTIAN MAURICIO JIMENEZ DELGADO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2012**

**EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN  
ALGUNOS SECTORES DE LA COMUNA 14 DEL MUNICIPIO DE  
BUCARAMANGA UTILIZANDO EL MÉTODO ESTADÍSTICO CON VARIABLES  
LOCALES**

**DIANA CATALINA BLANCO MORENO  
SEBASTIAN MAURICIO JIMENEZ DELGADO**

**Trabajo de grado modalidad investigación presentado como requisito para  
optar al título de Ingeniero Civil**

**Director:**

**M.Sc. Wilfredo del Toro Rodríguez**

**Co-director:**

**M.Sc. Ph.D. Diego Andrés Cobos Roa**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2012**

*Dedicado a Dios y a mi madre.*

*Diana Catalina Blanco Moreno*

*A Dios, mi Madre, Abuelas y Hermanos que siempre estuvieron allí.*

*Sebastián Mauricio Jiménez Delgado*

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente proyecto es un logro que contó con la participación de varias personas y entidades, las cuales sirvieron de guía, crítica, apoyo, corrección y acompañamiento durante todas las etapas y momentos de la realización del mismo.

A Dios el cual permitió que todo fuese posible.

Agradecemos al M.Sc. Wilfredo del Toro y al Dr. Diego Cobos por sus votos de confianza en nosotros, por su paciencia, por su guía y su dirección de este proyecto. Al ingeniero Miguel Roberto Silva por el acompañamiento brindado para la realización del proyecto en el suministro de bibliografía, pautas de realización del mismo, sus atinadas correcciones y su apoyo. A las entidades, Construsuelos Ltda. encabezada por el ingeniero Miguel Ángel Camargo y a la Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga CDMB encabezada por el ingeniero William Cortes por el suministro de los datos de la zona de estudio. Al Dr. Alvaro González por facilitarnos la bibliografía de su estudio el cual fue la base del presente proyecto y sin el cual no se hubiera podido completar su realización.

A nuestras familias las cuales nos acompañaron en todos los momentos de esta experiencia que significa el título de Ingenieros Civiles de forma incondicional y paciente, quienes siempre entendieron las ausencias y los malos momentos.

Gracias a todos.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	17
OBJETIVO GENERAL.....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1. MARCO TEORICO.....	20
1.1 CLASES DE ZONIFICACIÓN.....	20
1.2 MOVIMIENTOS EN MASA.....	21
1.2.1 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	21
1.3 METODOS DE ZONIFICACIÓN.....	21
1.4 AREA DE ESTUDIO.....	24
2. METODOLOGIA.....	26
2.1 EVALUACIÓN DE VARIABLES.....	27
3. ANALISIS DE RESULTADOS.....	70
3.1. VARIABLES.....	70
3.2. ESCENARIOS DE AMENAZA.....	72
4. CONCLUSIONES.....	77
5. BIBLIOGRAFIA.....	80
6. ANEXOS.....	84

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Vista aérea del área de estudio. ....	25
<b>Figura 2</b> Perfil de meteorización de Dearman. ....	28
<b>Figura 3</b> Afloramiento de Ri4.....	31
<b>Figura 4</b> Mapa de amenaza parámetro Material .....	35
<b>Figura 5</b> Perfil de relieve. ....	38
<b>Figura 6</b> Mapa de amenaza parámetro Relieve .....	40
<b>Figura 7</b> Mapa de drenajes de la zona de estudio escala 1:25000. ....	42
<b>Figura 8</b> Mapa de amenaza parámetro Drenaje.....	46
<b>Figura 9</b> Mapa de amenaza parámetro Vegetación. ....	49
<b>Figura 10</b> Erosión diferencial en un deslizamiento antiguo. ....	51
<b>Figura 11</b> Mapa de amenaza parámetro Erosión. ....	52
<b>Figura 12</b> Mapa de amenaza parámetro Factor Antrópico.....	55
<b>Figura 13</b> Zonificación Sismo geotécnica Indicativa.....	59
<b>Figura 14</b> Mapa de amenaza parámetro Sismo. ....	62
<b>Figura 15</b> Relación lluvias-deslizamientos indicador P1 .....	63
<b>Figura 16</b> Relación lluvias-deslizamientos indicador P30 .....	64
<b>Figura 17</b> Grafica de calificación de estabilidad escenario 1. ....	66
<b>Figura 18</b> Mapa de amenaza escenario 1.....	67
<b>Figura 19</b> Mapa de amenaza escenario 2.....	69
<b>Figura 20</b> Mapa de amenaza escenario 1.....	75
<b>Figura 21</b> Mapa de amenaza CDMB.....	75
<b>Figura 22</b> Mapa de amenaza escenario 2.....	76
<b>Figura 23</b> Mapa de amenaza CDMB.....	76
<b>Figura 24</b> Ejemplo de caídas, desprendimiento y desplome.....	84
<b>Figura 25</b> Inclinación o volcamiento de materiales.....	85
<b>Figura 26</b> Esquema proceso de reptación. ....	85

<b>Figura 27</b> Ejemplo de deslizamiento. ....	86
<b>Figura 28</b> Esquema de esparcimiento lateral. ....	87
<b>Figura 29</b> Esquemas de Flujos.....	88
<b>Figura 30</b> Esquema Avalanchas. ....	88
<b>Figura 31</b> Esquema de Movimientos complejos.....	89

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Relación de ensayos – Srm1.....	32
<b>Tabla 2</b> Relación apique 9 – Sco1.....	32
<b>Tabla 3</b> Relación de ensayos Sla. ....	33
<b>Tabla 4</b> Valoración parámetro material (M). ....	34
<b>Tabla 5</b> Valoración factor A. ....	37
<b>Tabla 6</b> Valoración factor B. ....	39
<b>Tabla 7</b> Valoración de amenaza factor Relieve (R) .....	39
<b>Tabla 8</b> Densidad de drenaje.....	44
<b>Tabla 9</b> Resultados de Dd. ....	44
<b>Tabla 10</b> Densidad de drenaje y pendiente promedio del cauce.....	45
<b>Tabla 11</b> Clasificación y puntaje de V.....	48
<b>Tabla 12</b> Valoración parámetro E (erosión).....	50
<b>Tabla 13</b> Valores de Estabilidad para Factor Antrópico.....	54
<b>Tabla 14</b> Parámetros de amplificación por material y pendiente (Q).....	57
<b>Tabla 15</b> Puntajes de S a partir de Am y $\Delta i$ . ....	60
<b>Tabla 16</b> Valoración parámetro C (clima) .....	63
<b>Tabla 17</b> Calificación de estabilidad Escenario 1. ....	65
<b>Tabla 18</b> Rangos de amenaza Escenario 1.....	65
<b>Tabla 19</b> Calificación de estabilidad Escenario 2. ....	66
<b>Tabla 20</b> Rangos de amenaza Escenario 2.....	68

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO A. TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO B. MODELAMIENTO DE VARIABLES.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO C. MAPAS DE EVALUACIÓN DE AMENAZA .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO D. GRAFICAS RELACION LLUVIAS DESLIZAMIENTOS .....</b>	<b>102</b>

## RESUMEN

### TITULO

**EVALUACIÓN DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN ALGUNOS SECTORES DE LA COMUNA 14 DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA UTILIZANDO EL MÉTODO ESTADÍSTICO CON VARIABLES LOCALES\***

### AUTORES

DIANA CATALINA BLANCO MORENO\*\*

SEBASTIÁN MAURICIO JIMÉNEZ DELGADO\*\*

### PALABRAS CLAVES:

AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS, FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, SES, ESTABILIDAD, SIG.

### DESCRIPCIÓN

Dada la necesidad de expansión y el crecimiento de las ciudades, es necesario tener un control sobre las zonas en las cuales es seguro hacer obras de infraestructura o donde ya se encuentran realizadas.

Por medio del presente estudio se realiza la predicción y zonificación de la amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa, utilizando un método estadístico con variables locales. El Área de estudio para la realización del proyecto fueron algunas zonas de la comuna 14 del municipio de Bucaramanga, Nororiente de Colombia.

Para alcanzar el objeto del proyecto se utiliza un método estadístico bivariado: "la metodología SES modificada (Sistema Semicuantitativo de Estabilidad)", propuesto por Ramírez (1988) y modificada por González (1999), en ella se toman como parámetros variables locales Material, Relieve, Drenaje, Vegetación, Factor Antrópico, Erosión, Clima y Sismo, a estos parámetros se asignan puntajes de calificación de estabilidad según la influencia de cada uno en los fenómenos de remoción en masa, la calificación final de amenaza es el resultado de la suma de todos los parámetros con sus respectivos puntajes y de una calibración de los niveles de amenaza. Los resultados son comparados con la metodología determinística realizada por la CDMB para la misma zona, cabe aclarar que toda la metodología y la representación tanto de las variables como de los mapas finales de amenaza, se hacen mediante un SIG utilizando como unidad de terreno una celda de 3x3 m.

---

\* PROYECTO DE GRADO

\*\*Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: M.Sc. Wilfredo del Toro Rodríguez. Codirector: M.Sc. Ph.D. Diego Andrés Cobos Roa.

## SUMMARY

### TITLE

THREAT ASSESSMENT FOR MASS REMOVAL PHENOMENA IN SOME AREAS OF THE 14 SECTOR OF THE BUCARAMANGA TOWN USING STATISTICAL METHOD WITH LOCAL VARIABLES\*

### AUTHORS

DIANA CATALINA BLANCO MORENO\*\*

SEBASTIÁN MAURICIO JIMÉNEZ DELGADO\*\*

### KEYWORDS:

LANDSLIDE HAZARD, PHENOMENON OF MASS REMOVAL, SES, STABILITY, GIS.

### DESCRIPTION

Given the need for expansion and growth of cities, it is necessary to have control over the areas in which it is safe make infrastructure works or where infrastructure was already made.

Through the present study, is made the prediction and zoning of the threat by landslide phenomena, using a statistical method with local variables. The study area for the project was some areas of the district 14 of the city of Bucaramanga, northeastern Colombia.

To achieve the objective of the project using a bivariate statistical method, "the methodology modified SES (System Stability Semiquantitative)" proposed by Ramirez (1988) and modified by González (1999), this method works with local variables as parameters Material, Slope, drainage, vegetation, Anthropic Factor, Erosion, Weather and Seismic Shake, to these parameters are assigned stability rating scores according the effect of each one over the phenomena of landslides, the final grade of threat is the result of the sum of all parameters with their respective scores and the calibration of threat levels. The result are compared with the deterministic methodology, used by the CDMB for the same area, clarifying that the entire methodology and the representation of variables and the final maps of threat, was made by a GIS, with unit of land used as a cell 3x3 m.

---

\* WORK DEGREE

\*\*Faculty of Mechanical Physical Engineerings.School of Civil Engineering.Directress: M.Sc. Wilfredo del Toro Rodríguez. Codirectress:M.Sc. Ph.D. Diego Andrés Cobos Roa.

## INTRODUCCIÓN

El hombre a medida que avanza demográficamente se ve en la necesidad de realizar obras de infraestructura civil con varios fines, entre otros el de asentamiento y comunicación, estas obras tienen que cumplir con unos estándares de resistencia estructural con el objetivo de garantizar la seguridad de sus usuarios. Para garantizar estos estándares, los diseños deben tener como punto de inicio el lugar de ubicación y todo lo que esto conlleva, es decir todas las propiedades de su suelo y es a partir de esto que nacen los estudios de amenaza en los suelos, ya que dichos estudios contienen la información necesaria para tomar la decisión de si es viable o no la realización de una estructura en determinada zona.

A nivel nacional, hasta hace poco tiempo se empezaron a realizar los estudios de amenaza, por lo tanto existen obras dentro de sitios que no son los apropiados y esto solo se ha hecho evidente tras fenómenos físicos y climáticos como los que hemos tenido después del pasado ciclo de lluvias; evidencia que es caracterizada por movimientos de masa de suelo, movimientos que involucran inclusive las estructuras construidas sobre estos, lo cual significa pérdidas económicas y en ocasiones pérdidas humanas.

En el municipio de Bucaramanga la zonificación de amenaza se ha realizado mediante el método determinístico de factores de seguridad por parte de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), el cual deja de lado varias importantes variables o factores como lo son la cubierta del terreno, uso del suelo, hidrología, mapas de escorrentía, mapas de inundación, datos históricos de amenazas previa, sismo, entre otros, e involucra un criterio personal dado por la experiencia para arrojar un resultado global de la zona evaluada, criterio que no está exento de error; de allí nuestro interés por realizar un estudio que nos exponga cómo es la evaluación de amenaza

utilizando el método estadístico, el cual involucra más variables dándoles un grado de importancia y/o puntaje a cada una de ellas relacionado al aporte que le brindan a la estabilidad de la zona, luego teniendo en cuenta aquellos puntajes hacer una superposición de los mismos y conseguir una representación de la amenaza; representación que debe estar acorde a las exigencias de la ingeniería actual por lo que debe hacerse en un sistema de información geográfico SIG.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar amenaza por fenómenos de remoción en masa en algunos sectores de la Comuna 14 del municipio de Bucaramanga utilizando el método estadístico con variables locales.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los factores o variables locales más importantes relacionados con la ocurrencia de deslizamientos y determinar su porcentaje de influencia en el estudio de amenaza.
- Caracterizar cada una de las variables locales a implementar en la elaboración del mapa de amenaza mediante trabajo de campo, laboratorio e investigación del estado del arte.
- Generar un mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa mediante la implementación de un software tipo GIS, teniendo en cuenta los porcentajes de influencia dados a las variables.
- Hacer una comparación general de los resultados obtenidos en los estudios de amenaza por fenómenos en remoción en masa realizados por la CDMB implementando el método determinístico con factores de seguridad, versus los resultados de nuestro estudio utilizando el método estadístico con variables locales; en ambos casos aplicados a algunos sectores de la comuna 14 del municipio de Bucaramanga.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 CLASES DE ZONIFICACIÓN<sup>1</sup>

El término zonación (Varnes, 1984, citado por VARGAS (1994)) se aplica en sentido general a una división de la superficie terrestre en áreas que representan diferentes grados de amenaza potencial o actual hacia deslizamientos u otros movimientos en masa.

La zonación o zonificación sobre áreas de actividad humana, involucra tres términos principales: amenaza, riesgo y vulnerabilidad. Los conceptos y criterios que involucran estos términos más aceptados a nivel mundial son los propuestos por la UNDRO (Office of the United Disaster) y la UNESCO:

1.1.1 Amenaza natural (Hazard). Determina la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino potencial dentro de un lapso específico en un área determinada.

1.1.2 Vulnerabilidad. Determina el grado de pérdida de un elemento o conjunto de elementos bajo riesgo como resultado de un fenómeno natural de una cierta magnitud. Es expresado sobre una escala de “no daño” a “pérdida total”.

1.1.3 Riesgo específico. Determina los daños esperados debido a la ocurrencia de un fenómeno natural. Puede ser expresado por el producto de la amenaza y la vulnerabilidad.

1.1.4 Elementos en riesgo. Determina la población, propiedades, actividades económicas, incluyendo servicios públicos, etc. en riesgo en un área dada.

---

<sup>1</sup>Tomado de, Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensores remotos y S.I.G.”

1.1.5 Riesgo total. Determina el número de personas afectadas, daños en propiedades o interrupción de actividades económicas, esperadas debido a un fenómeno natural. Es el producto de riesgo específico y elementos en riesgo.

Además cabe mencionar el término de susceptibilidad a los deslizamientos, como aquella probabilidad de ocurrencia o reactivación de un movimiento de tierra teniendo en cuenta los agentes intrínsecos del terreno.

## **1.2 MOVIMIENTOS EN MASA**

### **1.2.1 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA<sup>2</sup>**

En la actualidad una forma de categorizar los tipos de movimientos en masa es según SUAREZ, J. (1998) en ocho grupos principales, Caídas, flujos, deslizamientos, volcamientos, propagación lateral, hundimientos, reptación, movimientos complejos y avalanchas (IDEAM 2001 citado por IDEAM 2002)(anexo 5.1.).

## **1.3 METODOS DE ZONIFICACIÓN**

Los métodos de realización de mapas para zonificación de amenaza y susceptibilidad se resumen brevemente a continuación tomando en cuenta lo expuesto por GEMMA (2007), Los cuales, se basan en la revisión de métodos presentados por Soeters y VanWesten (1996). La mayoría de estas metodologías se han aplicado en zonas tropicales (VanWesten, 1993).

1.3.1 Método de inventario de movimientos en masa. Los mapas de inventario requieren la preparación de mapas de ocurrencia de movimientos en masa, los

---

<sup>2</sup> Tomados de SUAREZ JAIME, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Capítulo 1.

cuales deben hacerse por separado para cada tipo de movimiento (caída de rocas, deslizamientos, flujos de detritos, etc.). Los mapas de inventario de movimientos en masa se emplean con frecuencia como mapas de amenazas, ya que muestran la distribución y magnitud de eventos recientes. Sin embargo, debe aclararse que su uso es limitado, pues la información contenida corresponde solo a un determinado periodo de tiempo, y no dice nada sobre las áreas que no presentaron eventos durante dicho periodo. Este método permite hacer análisis de distribución, actividad (eventos ocurridos en cierto periodo) y densidad (porcentaje por área total o número de deslizamientos por área total). Un mapa de inventario no muestra en si la susceptibilidad a movimientos en masa y por lo tanto se debe ser cuidadoso al utilizarlo como mapa de amenaza.

1.3.2. Método geomorfológico subjetivo. Se basa en la interpretación subjetiva del mapa por un geo científico experimentado. Este método requiere la preparación de un mapa de terreno que incluye procesos. Se deben identificar los tipos de unidades del terreno que son proclives a desarrollar movimientos en masa. La escala de susceptibilidad siempre es subjetiva y se debe indicar en una leyenda especial en el mapa de terreno. En este método es clave la experiencia del geomorfólogo.

1.3.3. Ponderación de parámetros. En este caso se identifican algunos parámetros relevantes para la generación de movimientos en masa en la zona de estudio (variables de predicción), se les asignan valores en forma subjetiva, acordes a que tan relevante se consideren y se combinan utilizando un algoritmo diseñado al respecto. Se obtiene así un número subjetivo para cada unidad del terreno, mediante la combinación de los valores de diferentes variables de predicción. Finalmente los resultados se pueden agrupar en clases. Este método requiere un experto familiarizado con el área de estudio quien debe seleccionar los parámetros a ponderar y asignarles el peso. Así mismo, requiere: verificación en el terreno con un mapa de ocurrencia de movimientos en masa. Un ejemplo de este método es el

realizado por INGEOMINAS en Colombia, Mapa de amenazas de Colombia elaborado con base en ponderación de parámetros geológicos(INGEOMINAS, 2001).

1.3.4. Método estadístico divariado. Este es el método más común para obtener una estimación cuantitativa y objetiva de la susceptibilidad a movimientos en masa. Nuevamente, se basa en asignar valores por parte de un especialista, a las distintas variables de predicción y combinarlos en una clasificación de susceptibilidad. Para esto, se obtienen las densidades reales de cada clase de movimientos en masa a partir de cada mapa de inventario. Se obtiene una correlación divariada entre las variables de predicción y la densidad del movimiento en masa. El mapa de susceptibilidad resultante puede utilizarse para estimar la ocurrencia de futuros movimientos en masa. Se recomienda probar y calibrar diversas formas de combinación y compilación de los valores de susceptibilidad, a fin de obtener la mejor correlación. Esto se puede realizar fácilmente en un SIG. Un ejemplo de la aplicación de esta metodología es el caso de la zonificación realizada por INGEOMINAS (2003) en la ciudad de Villavicencio, Colombia. Se empleó como base de zonificación la metodología del Sistema de Evaluación Semicuantitativo de Estabilidad, SES, propuesta por Ramírez (1988), y adaptada por González (1999).

1.3.5. Método estadístico multivariado. En este tipo de metodología se establece una correlación entre un grupo de variables de predicción y la densidad de movimientos en masa de las unidades de terreno. Este método no es comúnmente utilizado en la práctica, y es difícil de calibrar.

1.3.6. Método determinístico. Este método se basa en la aplicación de la ecuación de Talud Infinito, en la cual se determina el equilibrio de una sección superficial de ladera o talud en la que se asumen unas propiedades uniformes. Para esto se determina el factor de seguridad, el cual es el cociente entre las fuerzas de

resistencia y las fuerzas de empuje. Un factor de seguridad menor de 1.0 indica que el movimiento es inminente.

#### **1.4 AREA DE ESTUDIO**

El área de estudio (Figura 1) está localizada en los cerros Nor-Orientales del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), en una sección de la comuna 14 principalmente los barrios Miraflores y Buenos Aires limitados en su parte occidental con La Quebrada Albania en la parte Occidental con los linderos del restaurante el Corcovado, la zona hace parte de la cuenca del Rio de Oro, y comprende un Área de 0.363 km<sup>2</sup>, su paisaje urbanístico se define como una mezcla entre edificaciones en su mayoría informales y vegetación; topografía abrupta y pendientes bastante pronunciadas, además según INGEOMINAS (2001) el drenaje es subdendrítico y subparalelo.

1.4.1 Geología. La zona de las laderas nororientales de Bucaramanga ocupadas por asentamientos humanos, el cerro de Morrórico y las colinas del piedemonte del macizo de Santander, zona en la que se encuentra el área de estudio se presenta como una franja alargada de dirección nornoroeste, correspondiente a la zona de alto fracturamiento asociado al sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta, (INGEOMINAS 2001).

**Figura 1** Vista aérea del área de estudio<sup>3</sup>.



**Fuente:** Edgar Rojas y modificada por los autores.

Según CDMB (2010) en la zona específica de la comuna 14 la litología que aflora en estos sectores es caracterizada por unidades litoestratigráficas más antiguas, de origen metamórfico-ígneo, tipo neis, esquisto, migmatitas y pequeños intrusivos de granodiorita, haciendo parte del Neis de Bucaramanga de Edad Precámbrico. Supra yaciendo las rocas anteriores se presentan depósitos detríticos de Edad Cuaternaria formados por bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, mezclados en proporciones variables, provenientes en su mayor parte de la acción denudatoria sobre las rocas del Macizo de Santander. Además de las anteriores unidades litológicas mencionadas, es posible encontrar suelos residuales del Neis de Bucaramanga como producto de la intensa meteorización y demás agentes externos que hacen parte para la formación de estos suelos, así como también depósitos aluviales, distribuidos de acuerdo a su posición en los valles de los principales ríos o quebradas, y depósitos coluviales locales de ladera, provenientes en gran parte de fenómenos de remoción en masa o por efectos de la gravedad los cuales se acumulan en las laderas o pié de éstas.

---

<sup>3</sup> Área de estudio demarcada por polígono celeste, sobre el raster Meseta\_Bucaramanga\_1

## 2. METODOLOGIA

Para la zonificación de amenaza por movimientos de remoción en masa en algunos sectores de la Comuna 14, se basó en la metodología del sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad planteada por Ramírez (1988). Esta metodología se basa en la selección de ocho parámetros, entre los cuales cuatro son intrínsecos (Material, relieve, drenaje y vegetación) y los otros cuatro son parámetros detonantes de movimientos en masa (erosión, clima, sismo y factor antrópico).

Ramírez (1988), a cada parámetro le asigna valores de variabilidad dependiendo del grado de influencia que tengan sobre la estabilidad de un terreno, y son evaluados asignándoles una calificación de estabilidad (esta calificación fue obtenida por medio de encuestas realizadas a geotecnistas), de acuerdo a las principales características que tenga cada uno, luego se realiza una suma ponderada de los valores de cada factor para dar un valor total de estabilidad en la zona de estudio.

Sin embargo, la calificación de cada valor puede variar dependiendo de la zona de estudio y de la calibración que se efectuó en esta. Puesto que no en todas las áreas de estudio se encuentran las mismas características.

En la aplicación de esta metodología se utilizaron los mismos parámetros, se evaluaron dependiendo de los rasgos de la zona de estudio y se calibraron con el registro de deslizamientos del año 2010 durante los meses de agosto y diciembre. Ya en la ponderación de los rangos de estabilidad para las variables vegetación, sismo, factor antrópico y erosión, se basó en las gráficas del estudio realizado en Villavicencio por INGEOMINAS(2003) de áreas acumuladas, la cual muestra un rango de amenaza cada 20% de área acumulada. En las demás variables, material, relieve, drenaje y clima, debido a que no había un inventario suficiente

para tratar estas variables con tanta variación y por ser el área tan pequeña no se podía obtener una densidad real en relación al área del deslizamiento, por lo que se adoptaron los rangos y puntajes ya establecidos en Ramírez y modificado por González y Millán (1999).

La representación de los resultados del estudio se hace a través de mapas de amenaza, los cuales resultan de un modelamiento de cada parámetro y el posteriormente cruce de los mismos. Este proceso se realiza utilizando el software ArcGis 10, propiedad de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. El modelamiento se encuentra detallado en el Anexo 2.

## **2.1 EVALUACIÓN DE VARIABLES**

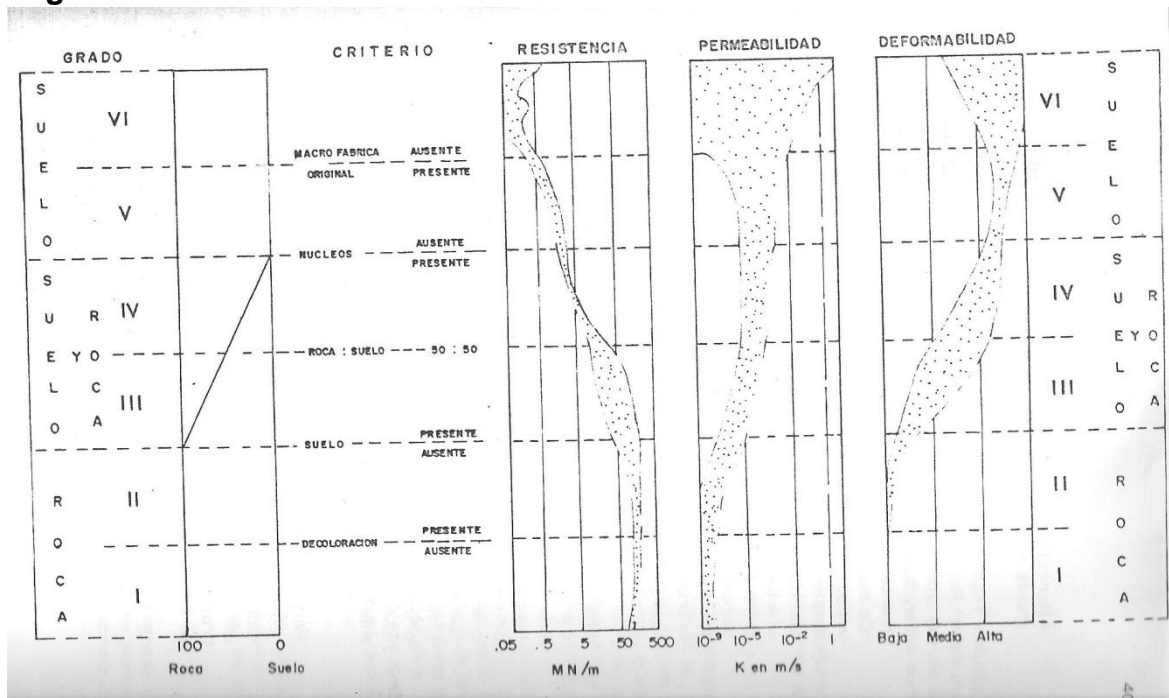
### **2.1.1. MATERIAL (M)**

El material es uno de los parámetros más importantes en la evaluación de fenómenos en remoción en masa, debido a que se deben tener en cuenta las características texturales y mineralógicas de los materiales, ya que se puede reducir o favorecer la resistencia al corte; el grado de alteración, de meteorización, de fracturamiento; puesto que si son altos, el suelo puede ser más susceptible a generar fenómenos de remoción en masa.

2.1.1.1. Evaluación parámetro Material (M) La metodología de evaluación divide al tipo de material en tres categorías: roca, material intermedio y suelo, tal como se relaciona en el perfil de meteorización de Dearman, figura 2, considerando seis horizontes: horizontes I y II, macizo rocoso, horizontes III y IV, material de transición y horizontes V y VI, suelo.

2.1.1.1.1 Macizo rocoso: Considera tanto el material rocoso como las discontinuidades<sup>4</sup>, el comportamiento de estos depende del nivel de esfuerzos y de la proporción de ambos. Su valoración depende de su litología, resistencia al corte y condición de fracturamiento. Los factores que intervienen en la estabilidad del terreno son la densidad, apertura y relleno de discontinuidades, las grietas de tensión, estrato competente sobre estrato incompetente, grado de meteorización y resistencia a la compresión.

**Figura 1** Perfil de meteorización de Dearman.



**Fuente:** Fernando Ramírez Cortes (1988).

2.1.1.1.2 Material de transición: También conocido como material intermedio entre roca y suelo, puede ser denominado saprolito grueso, compuesto por abundantes bloques de roca fresca rodeados de suelo, es el resultado de la meteorización in

<sup>4</sup> "Investigación de deslizamientos en la red vial nacional sistema semi-cuantitativo de evaluación a escala intermedia de zonas homogéneas de estabilidad" Fernando Ramírez Cortes.

situ de la roca<sup>5</sup>. En este tipo de material influyen factores geológicos en la estabilidad como lo son los factores mineralógicos, características de la matriz; factores estructurales, presencia de discontinuidades; factores hidrogeológicos, presencia de agua; diaclasamiento o fallamiento; superficies de meteorización pronunciada; diques y otras intrusiones, y antiguas superficies de deslizamientos. Asimismo se incluyen materiales depositados dentro de este material, talus, coluviones y aluviones, los cuales deben tener la matriz menor al 30% del depósito.

2.1.1.1.3 Suelo: Es la última etapa del proceso de meteorización de la roca, igualmente conocido como saprolito fino. Los suelos tienen propiedades inherentes: mineralogía, distribución de tamaño de partículas, plasticidad, etc., y propiedades mecánicas, estas describen el comportamiento físico del suelo, como lo son la permeabilidad, compresibilidad y resistencia al corte entre otras.

Para la elaboración del mapa de material se tuvo en cuenta la siguiente información: la geología del área suministrada por la CDMB, la exploración de campo realizada y suministrada por la empresa Construsuelos Ltda. y los perfiles hechos en el área para la elaboración del Estudio Detallado de Amenaza y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa en la Comuna 14 por la metodología determinística realizados y suministrados por el ingeniero Diego Cobos Roa para la CDMB.

Después de esto, se evaluó el estado de cada material de acuerdo con la exploración en campo, el muestreo y los ensayos de laboratorio realizados en el área y también para saber en qué horizonte del perfil de meteorización de Dearman se encontraban (figura tomada de Ramírez 1988). Por lo que se obtuvo lo siguiente de cada material:

---

<sup>5</sup>Investigación de deslizamientos en la red vial nacional sistema semi-cuantitativo de evaluación a escala intermedia de zonas homogéneas de estabilidad” Fernando Ramírez Cortes.

2.1.1.1.3.1 Ri4<sup>6</sup>: Neis de Bucaramanga de origen metamórfico de tonalidades blancas a rosadas, constituido esencialmente por plagioclasas, cuarzo y feldespato potásico (Chaparro y Guerrero 1991 en INGEOMINAS 2001). En el sector del Barrio Morrórico, gran parte de esta litología (Neis de Bucaramanga) se encuentran parcialmente saprolitizada, en estado de meteorización entre moderada y alta, además, esta unidad litológica en cercanías se presenta intensamente fracturada con orientación preferencial en este sector de N45°W/ 25°SW y fácilmente puede responder a fenómenos de remoción en masa que involucran saprolito y fragmentos de roca de tamaño diverso. De igual forma, los desprendimientos de este material ocurren en las laderas o cortes de talud y la roca superficial.

En el área de estudio, como se observa en la Figura 3, superficialmente se encontró este material bastante fracturado y de acuerdo a exploración geotécnica la roca con buena resistencia se halla a profundidades de 13.0 metros, aunque se observa que en los sondeos la roca se encuentra a profundidades de 8.50 m en adelante, su elevado estado de fracturación no permite realizar ningún tipo de ensayo para su caracterización. Debido a esto, la roca superficialmente se consideró material intermedio, ubicándola en el horizonte III del perfil de meteorización.

Con los datos obtenidos de la exploración en campo, se encontró que el material Ri4 no presenta diques ni otras intrusiones y baja erodabilidad de la matriz. A su vez no se cuenta con información alguna que registre deslizamientos involucrando este tipo de material.

Ya en la evaluación con todo lo mencionado anteriormente, el valor de las estructuras heredadas tiene una influencia media, llegando a un puntaje total de 19. Estos valores son de acuerdo a la tabla 4 de Ramírez y modificada por

---

<sup>6</sup> Según CONVENIO 6676-08. CDMB 2010

González – Millán (1999).

**Figura 2** Afloramiento de Ri4.



**Fuente:** Autores.

2.1.1.1.3.2 Srm1: Suelo residual del neis. Estos suelos son formados in situ por efecto de la intensa meteorización de las rocas, además por estar en cercanías con el sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta, lo que permite que la roca sea triturada fácilmente, adicionada a la componente de meteorización hacen que fácilmente se formen suelos residuales en esta zonas. Estos suelos son de colores amarillos a ocres, con algunas vetas rojizas con textura limoarenosa y arenosa, conformado por cuarzo, plagioclasas y micas. Se puede observar algún tipo de bandeamiento, con algunas fracturas y rellenas de concreciones ferruginosas<sup>7</sup>.

El Srm1 (suelo saprolítico) en la exploración de campo tiene en cuenta los sondeos 5, 9 y 17, y los apiques 2, 6 y 8; por los registros de perforaciones es un material fino con una consistencia dura, por lo que es suelo tipo 3, toma entonces un valor de 11 (Tabla 1).

---

<sup>7</sup>CONVENIO 6676-08. CDMB 2010

2.1.1.1.3.3 Sco1: Depósitos coluviales. Depósitos acumulados, por lo general, en la base de escarpes, y provienen del desprendimiento de materiales de laderas adyacentes, por la acción de la fuerza de gravedad. La mayoría se originan por fenómenos de remoción en masa de tipo caída de rocas, deslizamientos y volcamiento. Son de común ocurrencia en escarpes de roca muy fracturada, saprolitos y depósitos de suelos finos<sup>8</sup>. El Sco1 tiene en cuenta los apiques 1 y 9, por lo que tiene una composición predominante granular, debido a que pasa un 27% el tamiz 200, con una densidad baja, entonces es un tipo de suelo S3 con un puntaje total de 3.

**Tabla 1** Relación de ensayos – Srm1.

MUESTRA	PROFUNDIDAD	LIMITES			HUMEDAD (%)	PASA 200 (%)	SUCS	N60
		LL	LP	IP				
S5M2-3	0.90 - 3.30	41	20.58	20.42	23.35	48.5	SC	30
S9M1-2	0.00 - 2.00	NP	NP	-	10.98	2.34	GP	-
S17M1-2	0.00 - 2.00	29	15.22	13.78	13.52	36.23	SC	-
AP 2	0.00 - 0.80	35	19.44	15.56	-	40.95	SC	-
AP 6	0.00 - 0.80	NP	NP	-	-	5.94	GW-GM	-
AP 18	0.00 - 0.80	28	14.86	13.14	-	30.01	SC	-

**Fuente:** Construsuelos Ltda., modificada por Autores.

**Tabla 2** Relación apique 9 – Sco1.

MUESTRA	PROFUNDIDAD	LIMITES			HUMEDAD (%)	PASA 200 (%)	SUCS
		LL	LP	IP			
AP 9	0.00 - 0.80	21	12.34	8.66	-	27.05	SC

**Fuente:** Construsuelos Ltda., modificada por Autores

2.1.1.1.3.4 Sla: Suelo de llenos antrópicos. Corresponden a materiales heterogéneos dispuestos por el hombre, generalmente caóticamente y sin ningún tratamiento o adecuación, con el objeto de cumplir los requerimientos de los diseños de obras de ingeniería o con la intención de aprovechar áreas de cauce de drenajes. Están compuestos principalmente por materiales tamaño arena,

<sup>8</sup>CONVENIO 6676-08. CDMB 2010

arcilla, grava y son producto de residuos de construcción, excavaciones para minería o para adecuación de terrenos. Se incluyen los rellenos de basura (Ejemplo: El Carrasco). Este material presenta poca compactación<sup>9</sup>.

**Tabla 3** Relación de ensayos Sla.

MUESTRA	PROFUNDIDAD	LIMITES			HUMEDAD (%)	PASA 200 (%)	SUCS	N60
		LL	LP	IP				
S1M1-2-3-4	0.00 - 4.15	NP	NP		26.02	7.16	SW-SM	10.5
S1AM1-2-3	0.00 - 2.70	37	18.48	18.52	5.76	47.8	SC	16.5
S2M1-2-3-4	0.00 - 3.15	29	14.45	14.55	15.38	32.91	SC	10
S3M1-2-3-4-5	0.00 - 4.50	28	13.48	14.52	7.49	31.16	SC	15
AP 7	0.00 - 0.80	26	13.45	12.55	-	56.55	CL	-

**Fuente:** Construsuelos Ltda., modificada por Autores

### 2.1.2. RELIEVE (R)

Santander por su ubicación sobre la cordillera oriental, presenta una zona montañosa con amplia variación en sus pendientes y en su altitud, para la zona de estudio estas características generales se conservan, pues al estar ubicada al oriente del área metropolitana de Bucaramanga, encontramos presencia del Neis de Bucaramanga (PEb), el cual según INGEOMINAS 2001, forma parte del Macizo de Santander, éste se distingue por presentar relieve marcadamente sobresaliente por su elevada topografía, pendientes abruptas (entre 25° y 40°), asimismo esta área está limitada por el sistema de Falla Bucaramanga - Santa Marta, y ha sido intervenida antrópicamente de manera informal con el objetivo de urbanizar el sector, esto conlleva a tener en cuenta la trascendencia que tiene el relieve en la estabilidad del terreno.

Lo significativo del parámetro Relieve en la estabilidad de una zona o ladera, radica en la variación de las pendientes, variación que nos da una idea de la distribución de las cargas gravitacionales sobre una determinada área o volumen

<sup>9</sup> ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA DE ALGUNAS LADERAS DE LOS MUNICIPIOS DE BUCARAMANGA, FLORIDABLANCA, GIRÓN Y PIEDECUESTA

de terreno, y junto a los agentes externos, estas cargas pueden ocasionar cambios en la morfología del terreno, razón por la cual es de vital importancia tomar en cuenta este parámetro en nuestro estudio.

**Tabla 4** Valoración parámetro material (M).

PARAMETRO M (Material) Puntaje Máx: 50									
ROCA					MATERIAL INTERMEDIO				
ORIGEN	TIPO DE ROCA		CONDICION DE FRACTURAMIENTO *		ROCA PARENTAL	Erosibilidad de la Matriz			Influencia de las Estructuras *
	Textura	FABRICA	NO ORIENTADA	ORIENTADA		Baja	Medial	Alta	
IGNEO	Eneazada	Cementada	Consolidada	Foliada	Cementada	Consolidada			
	R 1								
METAMOR.	Proclástico								
	R 2								
SEDIMENT.	Cristalina								
	R 2								
VOLCANICA	Cristalina								
	R 2								
ROCA TIPO		R 3	R 3	R 4					
* Separación entre discontinuidades (según Miller)									

TIPO DE SUELO	RESIDUAL		SUELO SAPROLITICO		TRANSPORTADO							
	SUELO	SUELO	SUELO	SUELO	Por agentes naturales							
Parental	G	F	G	F	Por acción directa de la gravedad							
	S.3	S.4	S.2	S.3	S.3	S.4	S.2	S.3	S.2	S.3	S.2	S.3
Igneo	S.2	S.3	S.3	S.4	Por agentes naturales							
	S.1	S.2	S.2	S.3	AGUA	VIENTO	HIELO					
Sediment.	S.1	S.2	S.2	S.3	G	F	G	F	G	F	G	F
	S.2	S.3	S.3	S.4	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)	Fino (Consistencia)		
Tipo S.1	Alta	Medial	Baja	Blanda
	25	18	7	23
Tipo S.2	Alta	Medial	Baja	Blanda
	19	12	5	18
Tipo S.3	Alta	Medial	Baja	Blanda
	11	7	3	11
Tipo S.4	Alta	Medial	Baja	Blanda
	5	3	2	5

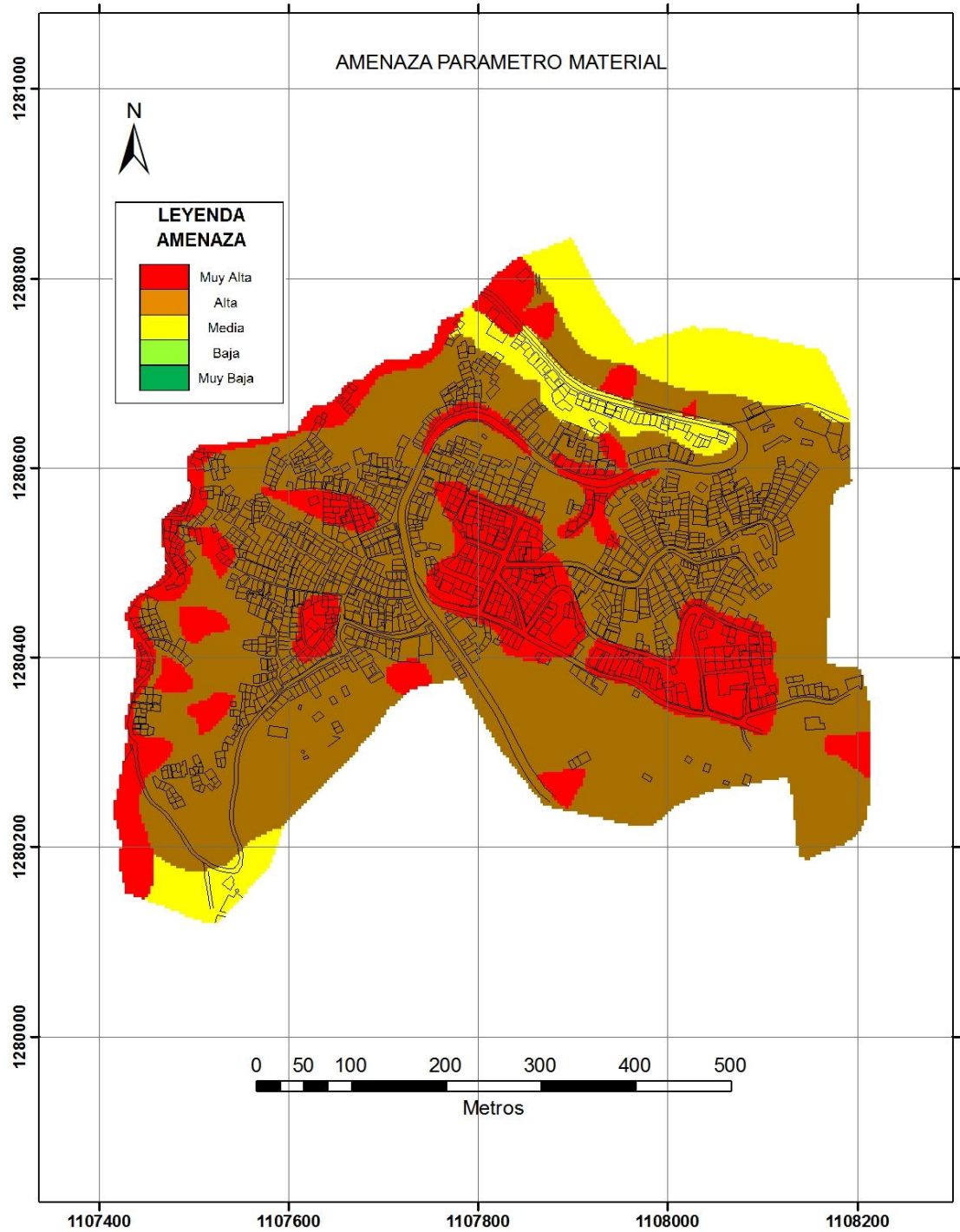
TABLA 1. IDENTIFICACION DE ESTRUCTURAS HEREDADAS		densi. densi. baja alta
ESTRUCTURAS HEREDADAS		
Sistemas de diacasmiento (rellenos o no, estrados o no)		4
Contactos fibroglicos y estratificación deposicional (Inherente a la roca parental)		5
Superficies de meteorización pronunciada ( a lo largo de diabladas y cortados)		5
Diques y otras intrusiones		2
Discontinuidades o disposición errática de los materiales		3
Arriaguas superficiales de deslizamientos ( Generalmente asociados a una o varias de las estructuras anteriores )		6

TABLA 2. INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS	
INFLUENCIA	Suma de los valores de las estructuras identificables
Baja	0 - 10
Medial	10 - 20
Alta	20 - 30
Muy Alta	> 30

Fuente: Adaptada de Ramírez y modificada González – Millán (1998).

Figura 3 Mapa de amenaza parámetro Material



Fuente: autores.

2.1.2.1. Evaluación parámetro relieve (R). Para el estudio de R hay que tomar en cuenta dos factores en el relieve de una ladera, factores apreciables analizando el perfil de la misma, ellos son el tipo de geoforma y la variación en la inclinación de la misma, ya que cada geoforma al ser diferente, también tiene características de estabilidad diferentes, y además se tiene en cuenta los procesos geomórficos asociados a cada una de ellas.

Para el análisis de los factores en la zona de la Comuna 14, seguimos la metodología SES de Ramírez, la cual expone como base principal de análisis el modelo hipotético de perfil de ladera de Dalrymple (1968), tomada de Ramírez 1988 Figura 5, el cual define unas subzonas dentro de la ladera (factor a) y el tipo de forma del perfil de la ladera (factor b), a cada uno de estos factores y dependiendo de su respectiva sub categoría se le asigna un puntaje de estabilidad según su aporte a la estabilidad del terreno, siendo entre más baja la calificación más bajo el aporte a la estabilidad, la evolución final de R resulta de la suma de los dos factores a y b.

2.1.2.1.2 Clasificación de Sub Zona y Análisis de Pendientes (factor A). El análisis del relieve se basa fundamentalmente en el modelo de procesos geomórficos, propuesto por Dalrymple (1968) (Figura 5), quien distingue 8 unidades hipotéticas inmersas en tres tipos de geometría de ladera, definidas en función de su forma de los procesos morfodinámicos actuantes. Así, se identifican geoformas convexas asociadas a procesos de meteorización que están sujetas a deformaciones lentas del terreno, geoformas rectilíneas correspondientes a zonas de alta pendiente que favorecen la presencia de caídas y deslizamientos y geoformas cóncavas o zonas de acumulación, donde tienen mayor incidencia la acción del agua superficial y donde los materiales se encuentran parcialmente consolidados. Es en esta zona donde se presentan en mayor proporción los movimientos en masa y corresponden en su mayoría a depósitos de ladera. Por último, se tiene la zona correspondiente a los valles de acumulación de material de ríos y quebradas, los

cuales definen sectores con presencia de procesos de socavación, caídas y flujos determinados por la dinámica fluvial, así lo menciona INGEOMINAS (2003).

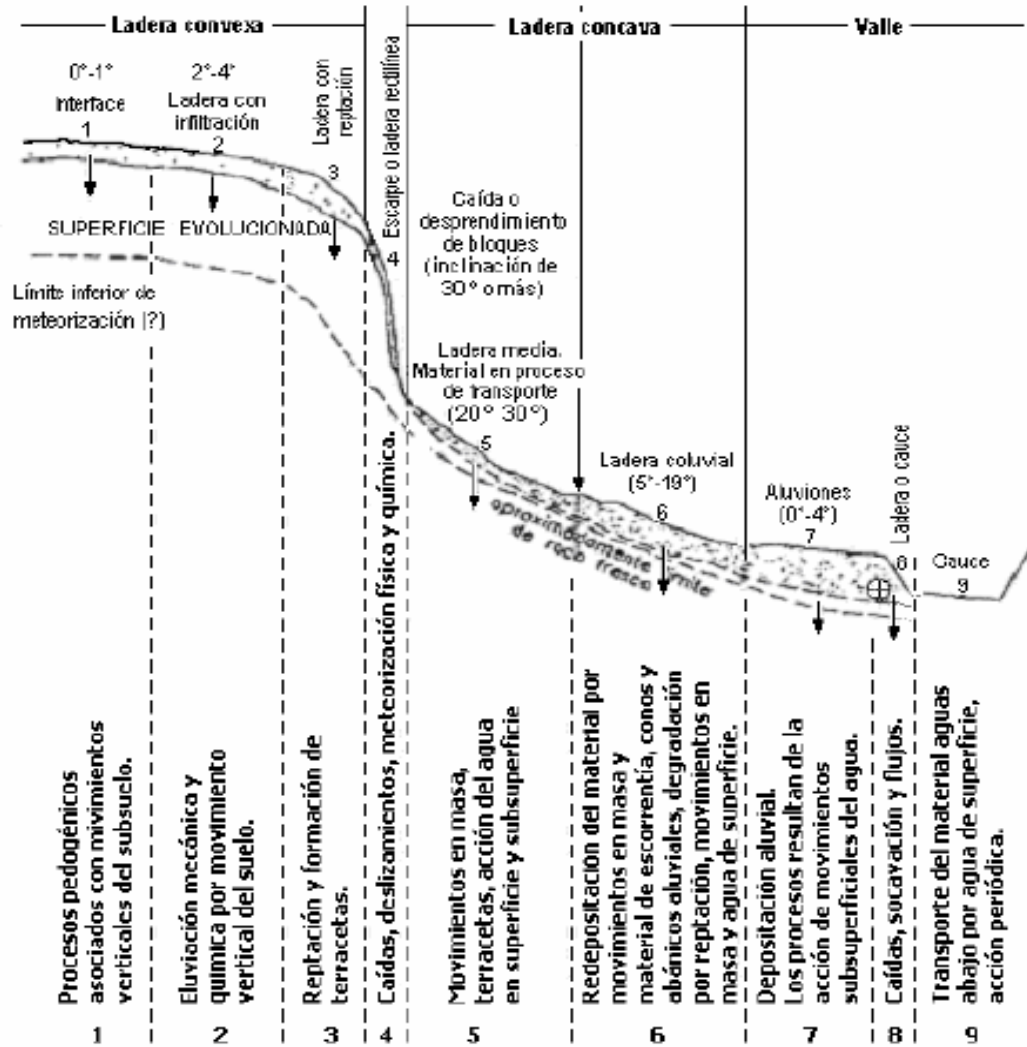
Dalrymple (1968) a su vez identifica dentro de una ladera que las zonas están determinadas por su pendiente, Ramírez (1988) en su metodología identificó 5 intervalos de pendiente los cuales fueron modificados ligeramente por INGEOMINAS (2003), siendo estos últimos los escogido para el desarrollo del actual estudio, ya que presentan una mejor distribución con un poco menos de variación entre los rangos de ladera convexa y la zona de valle, lo que permite un posterior modelamiento un poco más sencillo. Los intervalos seleccionados se presentan en la Tabla 5 así como el puntaje de estabilidad asignado a cada uno de ellos.

**Tabla 5** Valoración factor A.

Sub Zonas	Rangos y valoración adoptada	
	Pendiente	Factor A
1. Interfluvio	0-5°	22
2. Ladera con infiltración	5-10°	15
3. Ladera con reptación	10-30°	9
4. Escarpe o ladera rectilínea	30-45°	12
5. Ladra intermedia de transporte	20-30°	6
6. Ladera coluvial	10-20°	7
7. Aluviones	0-5°	22
8. Ladera de cauce	>45°	6

**Fuente:** INGEOMINAS (2003)

**Figura 4** Perfil de relieve.



Las flechas indican la dirección e intensidad de la meteorización y movimiento de los suelos.

⊕ Indica la dirección de transporte hacia aguas abajo.

**Fuente:** Ingeominas (2003) modificado de J.B. Dalrymple (1986)

2.1.2.1.3 Factor perfil de ladera (factor B). Este factor también hace parte del análisis tomado al perfil de ladera de Dalrymple, y el cual se define físicamente como la tasa de cambio en la pendiente, lo cual indica el grado de convexidad/concavidad, Santacana (2001), señala que la curvatura de la ladera se relaciona con los deslizamientos en la medida en que indica el grado de

concentración o dispersión del drenaje superficial, ya que en las zonas cóncavas el flujo se concentra hacia la celda, mientras que en las zonas convexas se dispersa desde la celda, con lo cual en las zonas de acumulación habrá una mayor presión de agua en los poros y una acumulación de material superficial; ambos factores que aumentan la probabilidad de un posible deslizamiento superficial. Por lo dicho anteriormente, se le asignó un puntaje de estabilidad mayor a cada tipo de perfil convexo, plano y cóncavo, puntaje que entre más alto, aporta mayor estabilidad al terreno, los valores son presentados a continuación, tabla 6.

**Tabla 6** Valoración factor B.

<b>Perfil de la pendiente</b>	<b>Calificación</b>
Convexo	9
Plano	12
Cóncavo	14

**Fuente:** Ingeominas 2003.

Finalmente la calificación del parámetro R, se da por la suma de sus dos factores es decir,

$$PR = \text{Factor A} + \text{Factor B} \quad (\text{iii})$$

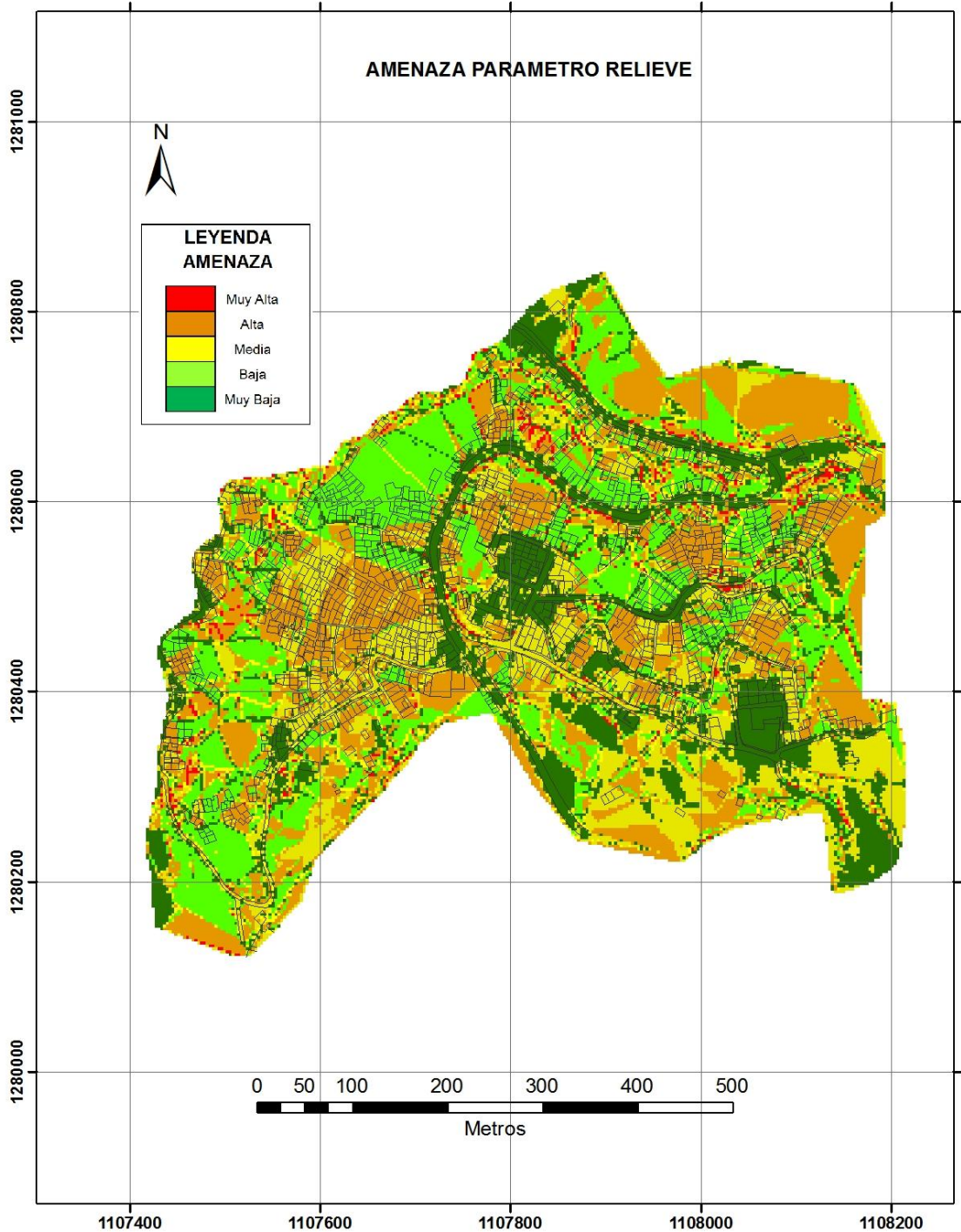
Y su mapa de estabilidad se presenta a continuación, figura 6.

**Tabla 7** Valoración de amenaza factor Relieve (R)

<b>amenaza</b>	<b>Rangos Según área acumulada</b>	<b>Área %</b>
muy alta	17<=	1.9
alta	17-18<=	29
media	18-22<=	48.8
baja	22-24<=	24
muy baja	>24	20.3

**Fuente:** Autores.

Figura 5 Mapa de amenaza parámetro Relieve



Fuente: autores.

### 2.1.3. DRENAJE (D)

El parámetro Drenaje (D) asume su importancia en el estudio, debido a que éste, normalmente nos indica la ruta que toma el flujo de escorrentía sobre la superficie del terreno, teniendo en cuenta lo anterior, y haciendo una similitud con que los deslizamientos son flujos de material, existe una gran relación de que estos flujos tengan mayor presencia en aquellos trayectos o zonas dispuestas para el escurrimiento y evacuación natural de las corrientes hídricas, esta importancia es igualmente expuesta según J.A. Coe, “La inclusión de los canales de drenaje en el mapa de susceptibilidad es útil para delinear los probables senderos de deslizamiento desde Áreas de iniciación”<sup>10</sup>.

La zona de estudio por ser una zona de asentamiento humano, que en sus orígenes fue de carácter informal tanto en planeación como en realización, presenta una intervención anti técnica de las laderas, con realización de cortes y rellenos sin las normas establecidas para estos procedimientos, además de la ausencia de medidas de protección, estabilización geotécnica y con un manejo que podría ir desde lo inapropiado hasta incluso, lo inexistente del drenaje superficial y subsuperficial, pues éste no se tiene en cuenta en estos tipos de asentamientos, sino únicamente sobre su corriente principal, lo que conlleva a fijarnos que tanto afecta la intervención del hombre en los flujos naturales de las corrientes.

2.1.3.1 Evaluación Parámetro Drenaje (D). El estudio de D en el presente documento se hace sobre dos factores fundamentales: densidad de drenaje y pendiente promedio de cauce, como es de esperarse, estos factores son obtenidos con base en un mapa de drenajes de la zona figura 7, mapa que se representó en 2 escalas de detalle diferentes para corroborar el análisis ya que hay que tomar en cuenta que los factores a analizar son propios de las cuencas

---

<sup>10</sup>Traducido de, “The inclusion of drainage channels on the susceptibility map is useful for delineating probable travel paths down slope from susceptible initiation areas”. J.A. Coe.

hidrográficas y no de zonas aisladas; por lo tanto, se realizó uno con base en la micro-cuenca<sup>11</sup> que encierra y de la cual hace parte nuestra zona de estudio; el otro, a un nivel de detalle mayor para el área de estudio específica, este último muestra la unión de dos tipos de drenaje, siendo así una mezcla entre un patrón de tipo erosionable como lo es el Dendrítico y otro como lo es el patrón de tipo artificial, debido a que el área no presentaba una sola clase de terreno sino que expone áreas de terreno Urbanas y Rurales.

**Figura 6** Mapa de drenajes de la zona de estudio escala 1:25000.



**Fuente:** Autores

---

<sup>11</sup>. **MICROCUENCA.** Área con una extensión inferior a mil (1000) has. La red hídrica confluye en un Río, Quebrada, Caño o Zanja que desemboca en un Río Mayor, Río o Quebrada. CAMPAÑAS.

Según Aventín, A., las escalas de trabajo también son diferentes en ambos casos, pues espacialmente el orden de magnitud habitual es de hectáreas en cuencas urbanas frente a kilómetros cuadrados para zonas rurales; y la escalas temporales son mucho más cortas, pues los sucesos de lluvia tienen duraciones de horas y, consecuentemente, los intervalos de tiempo son del orden de minutos.

Cabe aclarar que el mapa de drenaje de la zona de trabajo específica define las líneas o áreas por donde se pueden encauzar cuerpos de agua (lluvias) y no corrientes permanentes, como lo es la quebrada Albania.

2.1.3.1.1 Factor de Densidad de drenaje (Dd). Este factor indica la relación que existe entre la longitud de las corrientes y el área por donde estas corren, la densidad de drenaje o longitud de cauces por unidad de área se expresa en Km/Km<sup>2</sup> y es igual a,

$$Dd = \frac{Lc}{A}, \quad (i)$$

*Donde Lc=longitud total de los cauces dentro de una cuenca hidrográfica [Km],  
A=área total de drenaje [Km<sup>2</sup>]*

La importancia de la densidad de drenaje es que relaciona la influencia de las características físicas de la cuenca hidrográfica, geología, topografía, suelos y vegetación, con el tiempo de salida del escurrimiento superficial.

En sitios donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables, y donde el relieve es suave, se presentan densidades de drenaje bajas. Los valores altos de la densidad de drenaje reflejan, generalmente, áreas con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes, y escasa cobertura vegetal. (LONDOÑO, C.)

En cuanto a densidad de drenaje, las cuencas pueden clasificarse para nuestro medio tomando como referencia una escala 1:25.000 y un ambiente rural según Londoño, C. (2001), y en un ambiente urbano según (Héctor V. Rodríguez R. & Carlos H. Cantillo R.) en la siguiente tabla:

**Tabla 8** Densidad de drenaje.

Densidad de Drenaje	Rural	Urbana
	[km/Km <sup>2</sup> ]	[m/Ha]
<b>Alta</b>	> 3.0	> 80
<b>Media</b>	1.5 - 3.0	30 - 80
<b>Baja</b>	< 1.5	<30

**Fuente:** autores, en base a Londoño, Cantillo.

En nuestro caso particular y debido a que las metodologías están hechas para trabajar cuencas o subdivisiones de las mismas, calculamos Dd utilizando la red de Drenaje Rural de la micro cuenca (escala 1:25000) aplicando la ecuación (i) y la clasificación hecha por LONDOÑO (2001), el resultado obtenido se aprecia en la Tabla 9.

**Tabla 9** Resultados de Dd.

Lc [Km]	A [Km <sup>2</sup> ]	Dd [Km/Km <sup>2</sup> ]	Calificación
6.298	2.385	2.641	MEDIA

**Fuente:** Autores.

2.1.3.1.2 Factor de Pendiente Promedio de Cauces (Ppc). Este factor indica la inclinación promedio de los drenajes de toda la zona, tanto del cauce principal como de sus tributarios. La incidencia de este factor es la de mayor peso en el parámetro Drenaje, debido a que a mayor pendiente las condiciones de estabilidad del terreno serán menores.

Para este factor, se trabajó sobre el mapa de drenajes de la zona específica de estudio, la cual se dividió en tres zonas las cuales representan los niveles del factor, pendiente Baja (0-5°), pendiente Media (5-15°) y Pendiente Alta (>15°) tomados de RAMIREZ (1988).

La calificación de estabilidad para el parámetro drenaje resulta del cruce de los dos factores Densidad de Drenaje y Pendiente Promedio del Cauce, el cual nos lleva a obtener un rango de valores, los cuales tienen asignado el respectivo peso en relación a su aporte a la estabilidad del terreno (Tabla 10).

**Tabla 10** Densidad de drenaje y pendiente promedio del cauce.

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

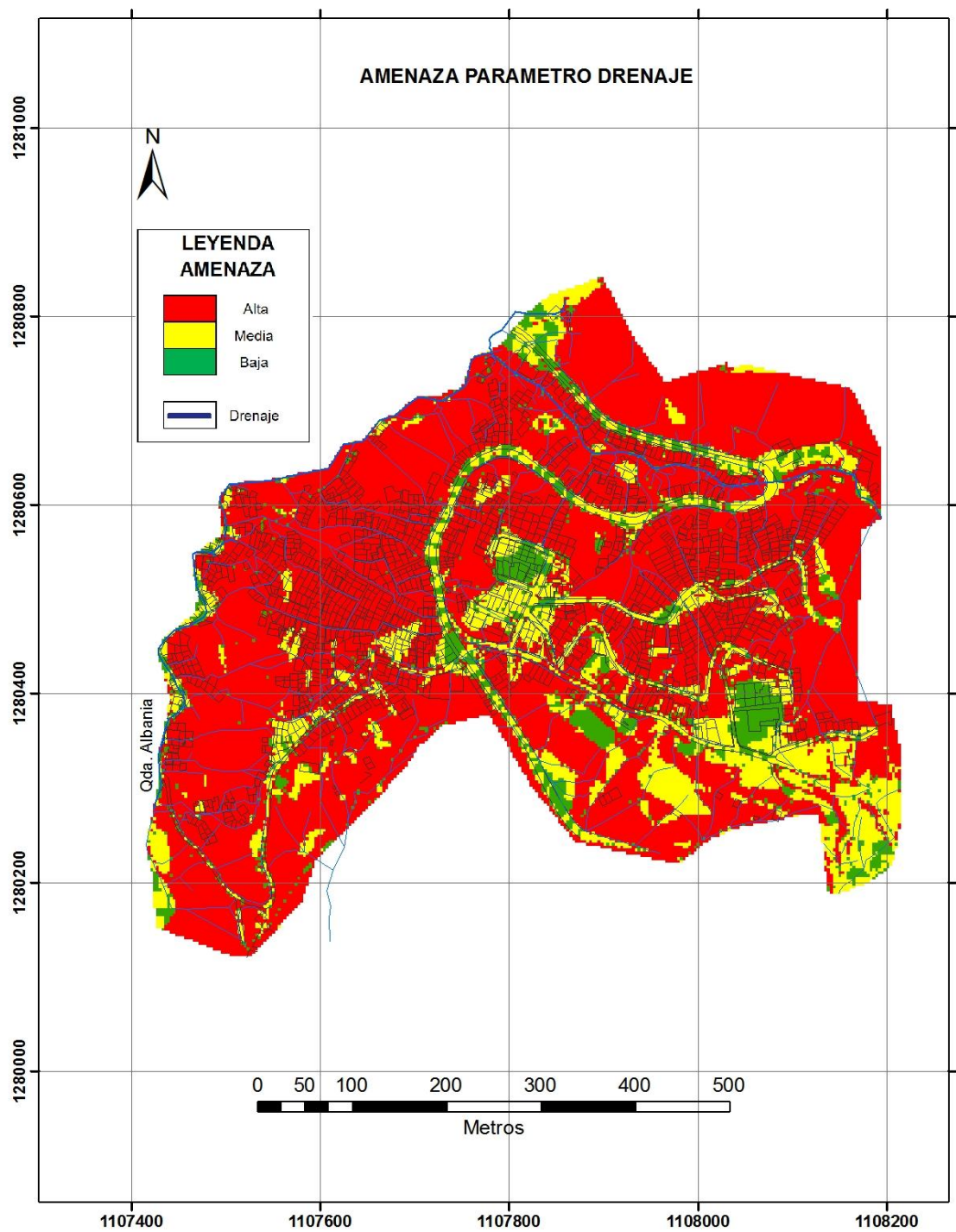
**Fuente:** Adaptada de Ramírez y modificada González.

#### 2.1.4. VEGETACIÓN (V)

La cobertura vegetal y el uso del suelo tienen una gran importancia en la evaluación de fenómenos de remoción en masa, puesto que la influencia de ésta puede generar amenaza o estabilidad en determinados terrenos.

Entre los factores más relevantes de la vegetación que ayudan a incrementar la estabilidad de las laderas son: el refuerzo de raíces al transferir resistencia en la cizalladura, la modificación del contenido de humedad limitando la aparición de esfuerzos, y el apuntalamiento que contrarresta las tensiones por cizalladura.

Figura 7 Mapa de amenaza parámetro Drenaje.



Fuente: Autores.

Pero también existen factores que son adversos a la estabilidad tales como el cuñamiento de raíces causando inestabilidad local, y los remolinos, entre otros.

Aunque tampoco se puede omitir un factor importante en la interacción vegetación-suelo como lo es la pendiente del terreno, ya que puede influir tanto en la estabilidad como para la inestabilidad de éste.

2.1.4.1. Evaluación del parámetro Vegetación (V). En la evaluación de un terreno se puede hallar una amplia variedad de tipos de vegetación, pero no todas pueden ser tratadas debido a la gran complejidad que tiene cada especie, razón por la cual, éstas se tienden a generalizar.

Para el área de estudio el parámetro vegetación se basó en las mismas categorías planteadas por Ramírez (1988) tales como:

- Bosque nativo, secundario y rastrojo alto: Lugares con árboles mayores a 3 metros de altura y arbustos con una altura mayor a 1.5 metros.
- Rastrojo bajo, cultivos permanentes o semipermanentes: Arbustos pequeños y lugares en donde el hombre ha modificado la cobertura natural para la siembra de cultivos.
- Pastos o vegetación herbácea: Plantas pequeñas compuestas por hierbas y gramíneas.
- Cultivos limpios o desmonte: Zonas limpias de cualquier tipo de vegetación, de suelo superficial y con modificación en su cota.
- Zona urbana pavimentada.
- Zona urbana sin pavimentar.

Para la elaboración de este mapa se tuvo en cuenta la exploración de campo,

fotografías obtenidas de Google Earth y fotografías aéreas<sup>12</sup> tipo “ERDAS image” suministradas por el ingeniero Edgar Rojas del área de estudio.

La calificación de este factor se basó en la tabla 11 “PARAMETRO VEGETACIÓN” adaptada de Ramírez y modificada por González Millán (1999).

**Tabla 11** Clasificación y puntaje de V

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

**Fuente:** Adaptada de Ramírez y modificada González – Millán (1999)

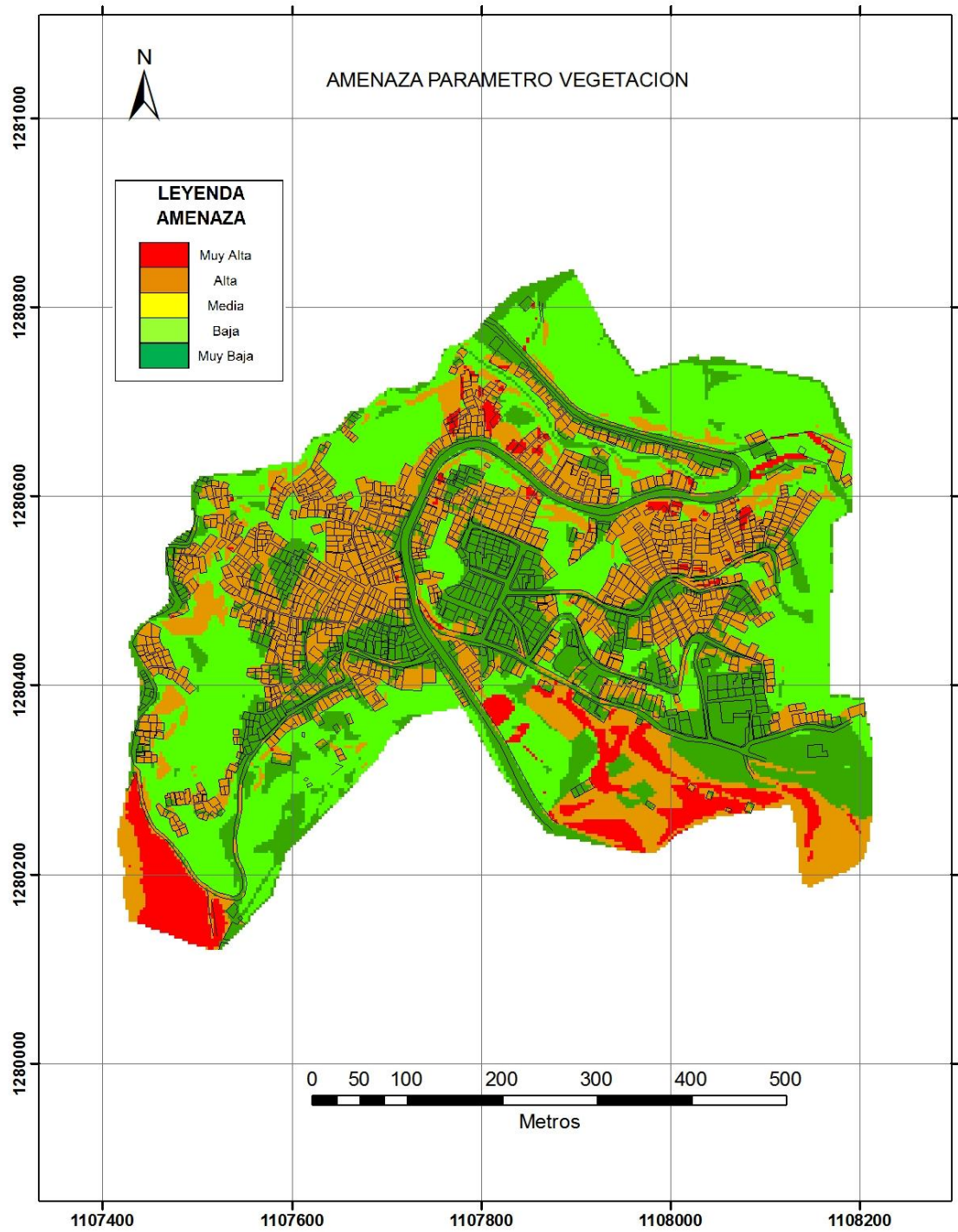
### 2.1.5. EROSIÓN (E)

La erosión es el proceso en la superficie de la corteza terrestre que produce pérdida física del suelo. Esto sucede cuando el suelo está expuesto a la acción del agua o del viento, o puede ocurrir naturalmente por fuerzas de gravedad en zonas montañosas. Sin embargo, el hombre es el mayor causante de erosión, ya que con las modificaciones que le genera al suelo, tiende a cambiar drásticamente su resistencia.

Existen dos tipos principales de erosión: geológica o natural, es un proceso lento e imperceptible que busca la estabilidad superficial del terreno; y la erosión acelerada o antrópica que es provocada por la acción del hombre.

<sup>12</sup> “meseta\_de\_bucaramanga\_1” Archivo de imagen, tipo ERDAS propiedad y suministro de ingeniero Edgar Rojas

**Figura 8** Mapa de amenaza parámetro Vegetación.



**Fuente:** Autores.

Es importante destacar que todos los tipos de erosión son desfavorables para una ladera, su impacto depende de su intensidad y de las características del área afectada, y a largo plazo pueden llegar a producir grandes problemas de estabilidad.

2.1.5.1. Evaluación del parámetro Erosión (E). El parámetro erosión se evalúa de acuerdo a su clasificación, en este caso se tomó en cuenta la siguiente valoración:

**Tabla 12** Valoración parámetro E (erosión).

<b>Tipo de erosión</b>	<b>E</b>
Laminar	30
Diferencial	22
Concentrada	15
Por socavación	11
Sin erosión	35

**Fuente:** Adaptada de Ramírez y modificada González-Millán (1999).

Existen varios métodos de evaluación para el efecto de la erosión sobre el terreno, pero en la mayoría de estos métodos se debe tener en cuenta un detallado levantamiento y seguimiento de las pérdidas de suelo que se han tenido por erosión en un cierto número de años. Debido a esta característica, el mapa de erosión se realizó mediante un levantamiento en campo de las zonas afectadas por diferentes procesos erosivos, sin embargo, este levantamiento en campo se efectuó durante un corto periodo de tiempo debido a los alcances del proyecto. De acuerdo a lo encontrado en campo, se detectaron procesos erosivos compuestos generalmente por erosión diferencial, que afectan la superficie expuesta de algunos deslizamientos ocurridos durante la época invernal de agosto a diciembre de 2010. La mayoría de estos deslizamientos están cubiertos por un plástico negro con el objetivo de mitigar los procesos erosivos.

**Figura 9** Erosión diferencial en un deslizamiento antiguo.



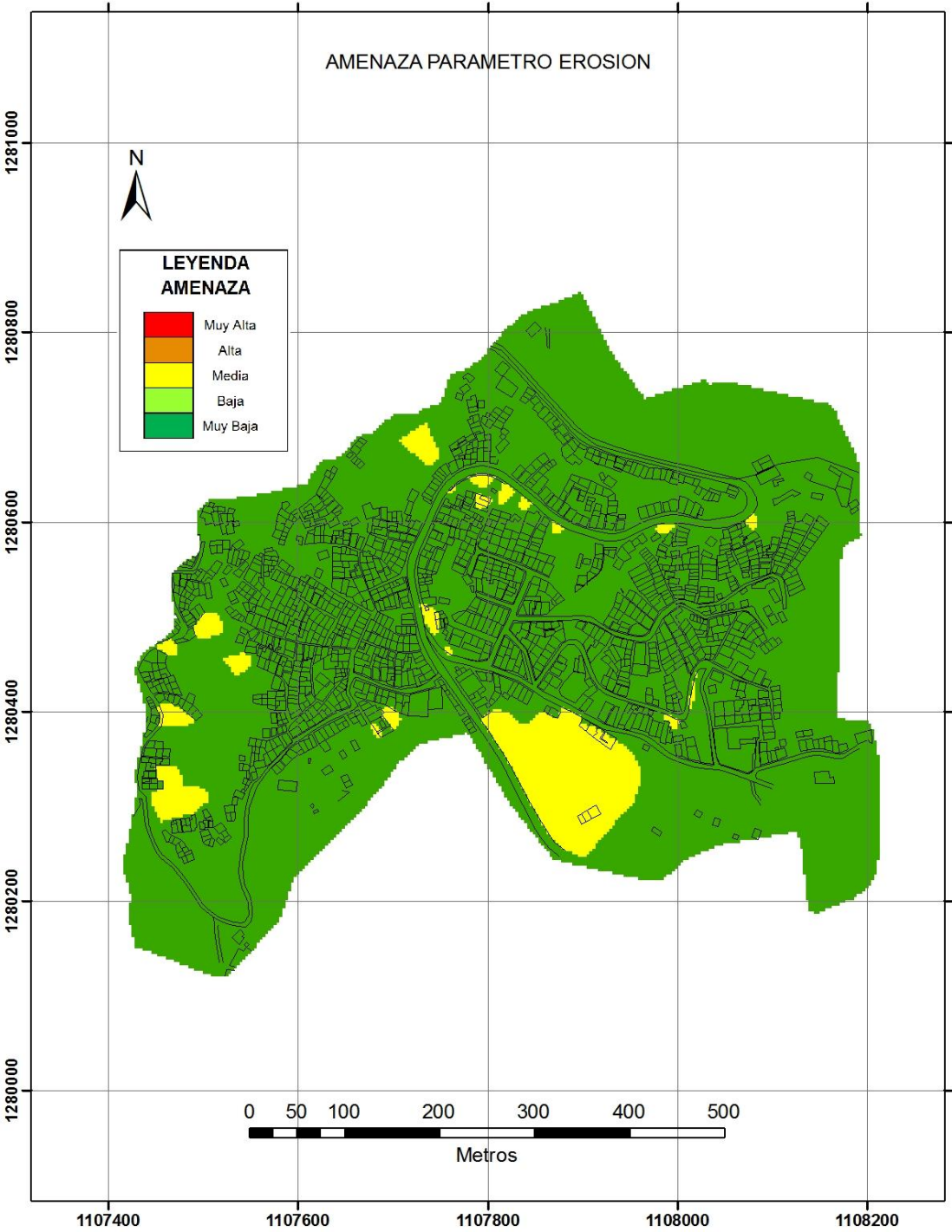
**Fuente:** Autores.

#### 2.1.6. FACTOR ANTROPICO (A)

El efecto de las modificaciones generadas por el hombre sobre la superficie de la tierra pueden ser un factor contribuyente a la inestabilidad del terreno, debido a que genera cambios topográficos, cambios en las condiciones de humedad, vibraciones, cambios en la cobertura vegetal, etc. Algunos de estos cambios son más influyentes que otros y no siempre las intervenciones son causantes de inestabilidad, por el contrario aportan un alto grado de estabilidad, correspondiendo esta diferencia al tipo de obra, el tecnicismo de su procedimiento y los estudios llevados a cabo.

En la mayoría de los casos de inestabilidad por efectos antrópicos nos encontramos con sobrecarga generada por rellenos, edificaciones, zonas de explotaciones mineras; descarga generada por excavaciones mineras, cortes para vías o edificaciones, infiltración de aguas como rupturas de redes de agua, las

Figura 10 Mapa de amenaza parámetro Erosión.



Fuente: Autores.

formas de abastecimiento de agua potable para una población, estado de las vías en zonas urbanas; y modificación del drenaje causada por las afectaciones de las rondas.

2.1.6.1. Evaluación parámetro factor antrópico (A). De acuerdo a lo encontrado en campo, fotografías aéreas y al mapa de uso del suelo, se toman en cuenta tres aspectos generales para la elaboración del mapa de factor antrópico, Intervención de rondas, Zonas urbanas, Zonas de bosques nativos.

2.1.6.1.1 Intervención de Rondas. Se define como ronda de una corriente, el área comprendida a lo largo de su cauce sobre la cual se desarrolla la dinámica fluvial y las áreas de protección lateral del cauce. Por normas legales, a los drenajes principales se les atribuye una zona de 30m a lado y lado del cauce y a los demás se les asigna un corredor de 15m a cada lado del cauce<sup>13</sup>. La ronda de una quebrada se ve afectada principalmente por la obstrucción de sus cauces, invasión, botaderos, y construcción de áreas urbanas.

Para el caso de estudio se encuentra la quebrada Albania, canalizada en la mayoría de su transcurso por nuestra área de estudio, sin embargo la ronda de la quebrada tiene una fuerte intervención del hombre puesto que se observa alta construcción informal de viviendas.

2.1.6.1.2 Zonas Urbanas. Para este aspecto se tuvo en cuenta el estado de las vías, el suministro de agua potable, la recolección de aguas sanitarias, cortes y rellenos. En el estado de las vías se evalúa la condición en que se encuentran. En el suministro de agua potable se evalúa de qué manera se abastece la población, el estado de las redes de abastecimiento y la densidad de estas redes. Para la recolección de aguas sanitarias se evaluó si existen redes de alcantarillado, tipos

---

<sup>13</sup> MILLAN, J., GONZALEZ, A., Evaluación de acción del hombre en los estudios de amenaza y riesgo por deslizamientos en Bogotá \_Colombia.

de redes, densidad y el estado en que se encuentran estas redes.

De acuerdo con el plan de ordenamiento territorial de Bucaramanga<sup>14</sup>, el área de estudio tiene redes de alcantarillado y acueducto, además las vías se encuentran pavimentadas por lo que esta zona cuenta con un adecuado sistema de drenaje.

2.1.6.1.3 Zonas de Vegetación Nativa. En las zonas de vegetación nativa se observa la tasa de deforestación que se ha llevado a cabo a través del tiempo, el cambio de la cobertura vegetal y los cortes realizados en estas zonas. Con las imágenes obtenidas de Google Earth, desde el año 2002 hasta el año 2011 y con visita de campo se observan zonas en donde existe deforestación y se han hecho cortes. Para cada uno de los anteriores aspectos se tomó en cuenta su nivel de estabilidad en la zona de estudio y se relacionaron obteniendo así la Tabla 13 la cual muestra un valor aproximado de estabilidad para A en el área del proyecto:

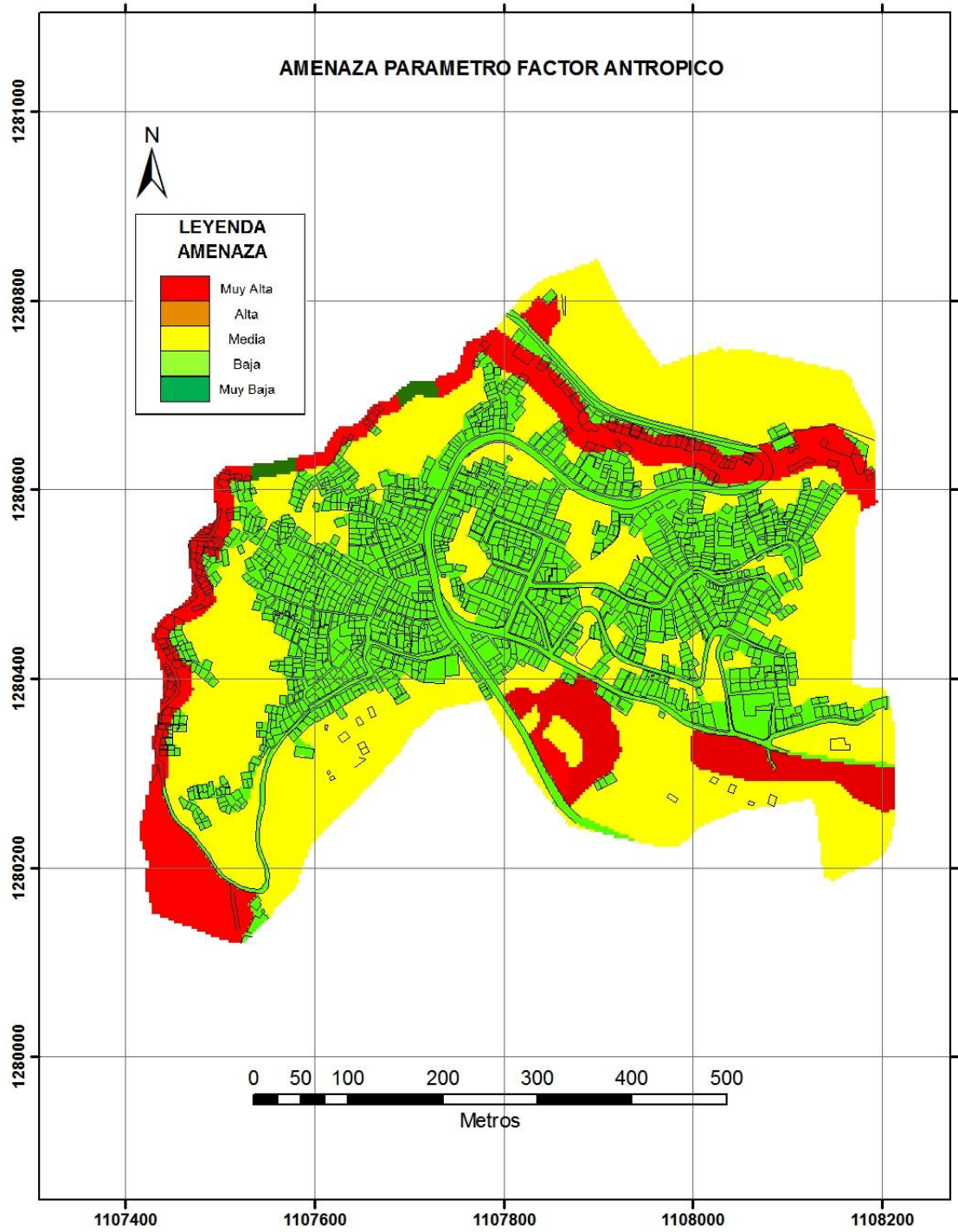
**Tabla 13** Valores de Estabilidad para Factor Antrópico.

NIVEL	DESCRIPCIÓN	VALOR	
		MIN	MAX
Severa	Zonas de actividad minera, conformación de rellenos de espesor importante, practica de cortes, alta intervención de rondas.	0	10
Fuerte	Practica intensiva de cortes/rellenos, descarga de agua.	10	20
Moderada	Cortes/rellenos escasos y de moderado espesor, descargas controladas de agua.	20	30
Incipiente	Cortes/rellenos aislados, disponibilidad de sistemas adecuados de drenaje.	30	35
Positiva	Presenta obras de estabilización, control o protección; buenos sistemas de drenaje; zonas de vegetación nativa.	35	50

**Fuente:** Cantillo 2005 y modificada por los autores.

<sup>14</sup>Tomado de página 195 y 196, Plan de ordenamiento territorial de Bucaramanga 2011.

Figura 11 Mapa de amenaza parámetro Factor Antrópico.



Fuente: Autores.

### 2.1.7. SISMO (S)

Un parámetro como lo es el sismo se conoce en los estudios de estabilidad como un parámetro detonante de movimientos en masa, debido a que su presencia aumenta la probabilidad de ocurrencia del mismo, pero ello depende a su vez de factores propios de inestabilidad de la zona, la variación de las condiciones topográficas y el comportamiento dinámico de los suelos de la región.

Cuando hablamos de terremotos y de movimientos de tierra, generalmente asociamos que la magnitud del primero debe ser elevada para que se haga presente el segundo, pero muchas veces no es necesario un terremoto como tal para ocasionar un deslizamiento, pues según HANS, L. (2004), es común que deslizamientos de rocas sean causados por vibración las cuales son medidas e incluidas en el catalogo internacional de terremotos<sup>15</sup>.

Es por ello que cualquier tipo de sismo debe tenerse en cuenta para analizar la amenaza de la zona por fenómenos de remoción en masa, debido a que este es un parámetro físico, lo cual nos indica directamente movimiento, siendo más claros, es de vital importancia la atención prestada al parámetro S, pues este puede ser el empujón faltante para ocasionar la falla de una zona que se encuentre en el límite de estabilidad.

2.1.7.1. Evaluación parámetro Sismo (S). La cuantificación del parámetro S se da en tres etapas, partiendo de la toma de factores propios de la zona de estudio, posteriormente se realiza el cruce de estos, los cuales generan un rango de valores que subsiguientemente serán cuantificados en su relación con la amenaza por FRM. Los factores de S, junto con el proceso para su evaluación y la calificación final de S, son planteados en la metodología SES (Ingeominas 2003)

---

<sup>15</sup>Tomado de Hans, L.

la cual servirá de base en esta parte del estudio, debido a la evaluación más detallada que se hace sobre la variable, en relación a la metodología planteada por Ramírez (1988), claro está modificándola para el caso particular de Bucaramanga, los factores son, Amenaza Sísmica Regional (Aa), Efectos por el tipo de material y Efectos topográficos locales.

2.1.7.1.1 Amenaza Sísmica Regional (Aa). El estudio de este factor se hace teniendo en cuenta la norma sismo resistente del año 2010 (NSR-10), la cual determina la zonificación sísmica para Colombia, allí se presentan los Valores de Aceleración Máxima para las diferentes regiones y municipios del país. El casco urbano de Bucaramanga se ubica en una zona de amenaza sísmica alta con una calificación de aceleración (Aa) de  $0.25 g^{16}$

2.1.7.1.2 Efecto de amplificación sísmica. Se asignan los siguientes factores de amplificación Q, por materiales M siguiendo y por pendiente  $\theta$  ( $^{\circ}$ ), propuesto por Ingeominas (2003).

**Tabla 14** Parámetros de amplificación por material y pendiente (Q).

GEOLOGIA (M)	MATERIAL	FACTOR Q		
		$\theta \leq 10^{\circ}$	$10^{\circ} < \theta \leq 30^{\circ}$	$\theta > 30^{\circ}$
Roca	S1	1	1.1	1.2
Material intermedio y coluvión duro	S2	1.2	1.3	1.4
Coluvión	S3	1.5	1.6	1.7

**Fuente:** tomado de INGEOMINAS, 2003

Los tipos de material fueron adoptados de acuerdo con el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes 1998, NSR-98.

<sup>16</sup> Nsr-10 Tabla A.2.3-2

Sin embargo, las 2 primeras etapas de esta metodología no se siguieron para el presente estudio, ello debido a que la zona del área metropolitana de Bucaramanga cuenta con un estudio sísmico local, y por medio de este se puede obtener el valor directo de amplificación de la aceleración debido al material, por lo tanto la evaluación para la zona de estudio se hizo ubicándola (recuadro) en el mapa de Zonificación Sismo geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, realizado por la CDMB y el Ingeominas Figura 13<sup>17</sup>, y se tomó de la tabla presente en la Figura 13 que el área se Ubica en “Zona 1 (Roca)” por lo tanto el valor de la aceleración máxima ( $A_m$ ) sería 0.30g.

2.1.7.1.3. Efectos topográficos locales. Teniendo en cuenta los efectos topográficos, para las crestas, se emplearon los siguientes valores de amplificación  $\chi$  dados por Paz (1994), citado por INGEOMINAS (2003),:

$$\begin{array}{ll} \chi = 1.0 & \text{para } \Delta i \leq 0.4 \quad (\text{i a}) \\ \chi = 1.0 + 0.8 (\Delta i - 0.4) & \text{para } 0.4 \leq \Delta i \leq 0.9 \quad (\text{i b}) \\ \chi = 1.4 & \text{para } 0.9 \leq \Delta i \quad (\text{i c}) \end{array}$$

Dónde:  $\chi$  = aceleración amplificada/aceleración,  $\Delta i = \text{abs} (I - i)$ ,  $I$  = pendiente del talud de la ladera,  $i$  = pendiente de la parte superior de la ladera  $i \leq (I/3)$ .

Los factores anteriormente citados no tienen otro fin sino el de servir de base para calcular la aceleración en superficie,  $A_s$ . La cual por lo tanto está dada por:

$$A_s = A_a * Q * \chi \quad (\text{ii})$$

Debido al estudio de zonificación utilizado, tenemos que  $A_m = A_a * Q$  por lo tanto la ecuación para nuestro estudio sería,

---

<sup>17</sup>Recorte de mapa Zonificación Sismo geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga. CDMB, INGEOMINAS.

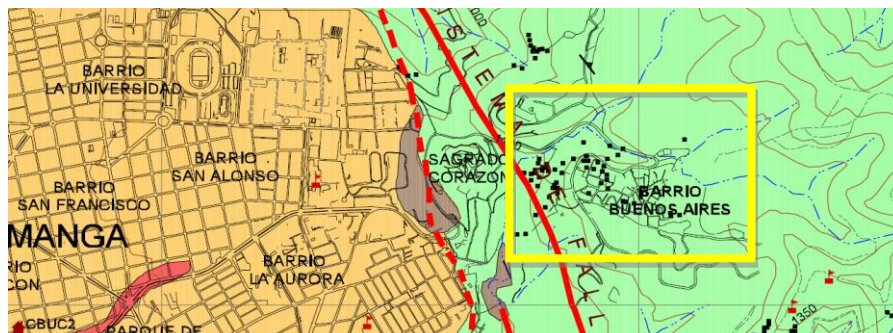
$$A_s = A_m * \chi \quad (\text{iii})$$

Aplicando esta ecuación en la zona de estudio se obtuvieron valores de aceleración en superficie  $A_s$  entre 0.30g y 0.42g.

2.1.7.1.4 Calificación S. Tomando la distribución ajustada por Ingeominas 2003, de los valores de aceleración originales de Ramírez y adaptándola a nuestro estudio, donde la aceleración mínima de la zona es 0.30g, encontramos que la expresión de la distribución para el puntaje de S, sería la siguiente:

$$S = 24e^{(-27(A_s - 0.30)^2)} \quad (\text{iv})$$

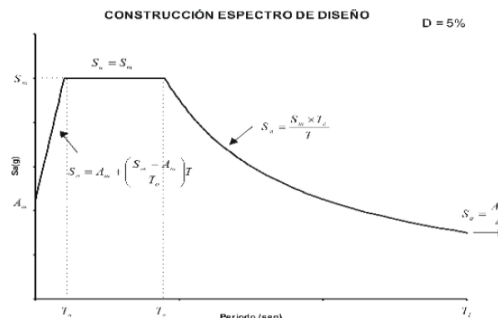
**Figura 12** Zonificación Sismo geotécnica Indicativa.



- 1** **Zona 1 (Roca):** Depósitos de roca correspondientes a la formación Girón; roca blanda y/o suelos residuales competentes sobre manto rocoso (Formación Neis, Bad Lands y Cañaveral); y cualquier depósito que se pueda considerar como roca pura (R).
- 2** **Zona 2 (Suelo Rígido):** Depósitos de suelo rígido. Reúne las zonas del Abanico de Bucaramanga, Flujos de escombros y Terrazas bajas y medias. Corresponde a las zonas donde se encuentra concentrada la mayor parte de la población del Área Metropolitana de Bucaramanga (Bucaramanga, Florida, Piedecuesta y Girón).
- 3** **Zona 3 (Llenos):** Llenos antrópicos y mecánicos.
- R** **Ronda de río**
- C** **Coluviones**

$A_m$ : valor de máxima aceleración del terreno ( $T=0s$ )  
 $S_m$ : valor máximo de aceleración espectral correspondiente a la parte plana del espectro  
 $T_o, T_c$ : períodos que definen inicio y terminación de la parte plana del espectro  
 $T_L$ : período después del cual las aceleraciones espectrales son constantes a un valor de  $A_m/4$ .

	Zona 1 Roca	Zona 2 Suelo Rígido	Zona 3 Llenos
$T_o$ (s)	0.10	0.05	0.15
$T_c$ (s)	0.50	0.40	0.50
$T_L$ (s)	4.00	3.00	4.00
$A_m$ (g)	0.30	0.40	0.65
$S_m$ (g)	0.63	0.90	1.25



**Fuente:** tomado de INGEOMINAS, 2007

Para dar un manejo más sencillo a la anterior expresión, presentamos los puntajes tabla 15 que puede tomar S para la zona de estudio (subrayados), en relación con los factores de amplificación  $A_m$  y  $X$ , con una precisión de 0.0.

**Tabla 15** Puntajes de S a partir de  $A_m$  y  $\Delta i$ .

<b><math>A_m = 0,3</math></b>	<b>Gradiente de Pendiente (<math>\Delta i</math>)</b>					
	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,90</b>
<b>Puntaje S</b>	24	24	23	21	19	16

**Fuente:** Autores.

### 2.1.8. CLIMA (C)

Los factores climáticos (precipitación, temperatura, humedad, etc.), a través de los años se ha demostrado que tienen una gran capacidad detonante de movimientos en masa, ocasionando pérdidas humanas y económicas, especialmente en terrenos montañosos. En la mayoría de los casos la lluvia es el factor más contribuyente a que ocurran deslizamientos, por lo que se deben caracterizar la intensidad y duración de estas con relación a los fenómenos de inestabilidad.

La precipitación tiende a incidir negativamente en la estabilidad de un terreno, debido a que las lluvias intensas y cortas reducen la resistencia al corte, puesto que disminuyen la cohesión aparente, mientras que las lluvias prolongadas y de poca intensidad aumentan la presión de poros y tienden a generar un mayor número de deslizamientos, y un alto porcentaje de estos suelen tener mayor profundidad.

Santander es un departamento altamente vulnerable a sufrir movimientos en masa por el factor lluvia, esto se debe a su topografía montañosa dominante. Últimamente muchos lugares de Santander se han encontrado en amenaza alta

en la temporada de lluvias y por los registros es uno de los departamentos que ha sufrido más pérdidas económicas y humanas a causa de estas temporadas en el país.

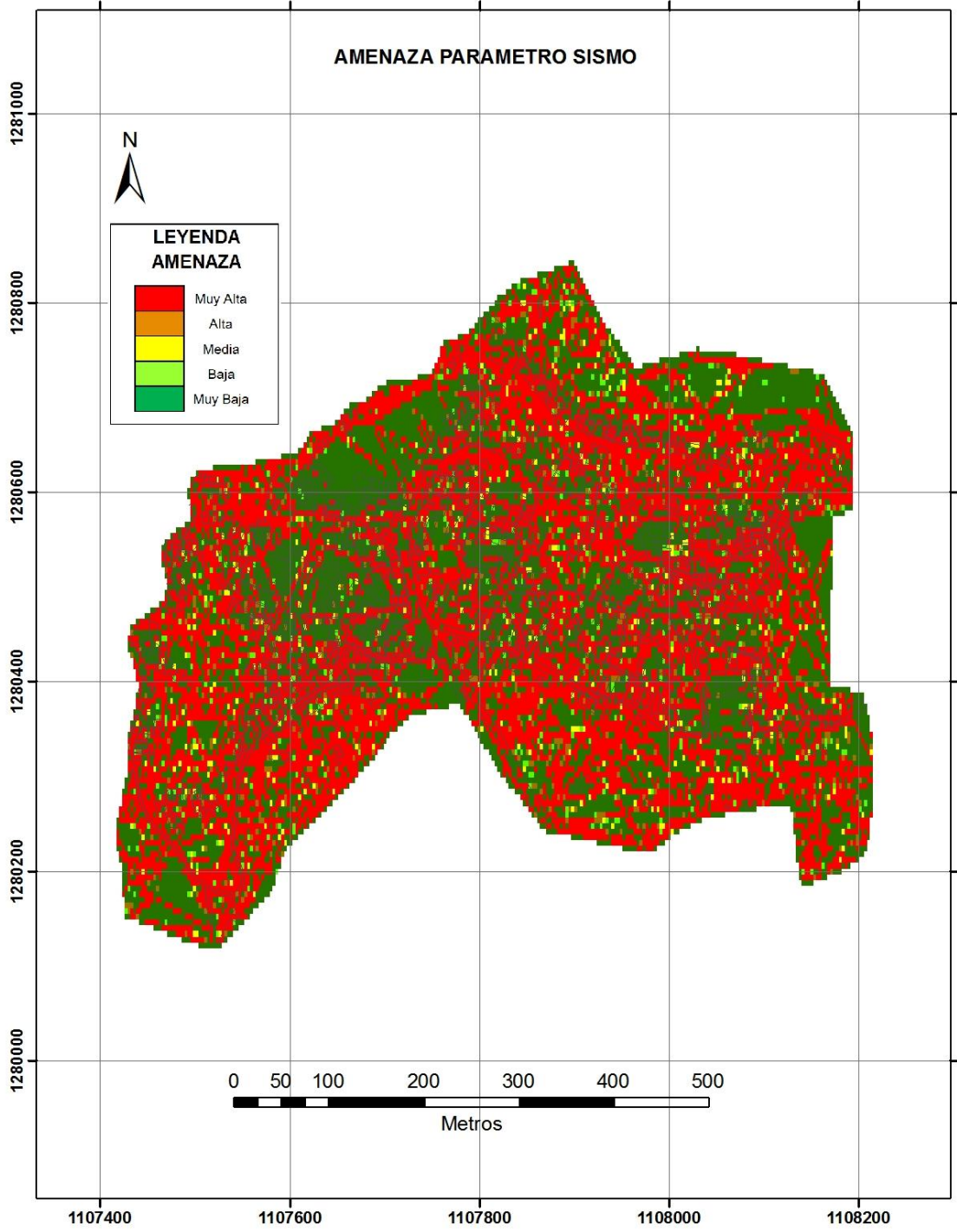
2.1.8.1. Evaluación del parámetro clima (C). En el año 2010 en la temporada de lluvias de agosto hasta diciembre, se registraron varios deslizamientos en la zona de estudio, los cuales generaron una gran alarma en la población, ya que muchas personas tuvieron que ser desalojadas de sus casas.

Por lo expuesto anteriormente se realizó un análisis lluvia-deslizamiento, teniendo en cuenta los deslizamientos registrados en la zona durante esa época, estos deslizamientos fueron cartografiados y suministrados en un mapa por la CDMB. La fecha de los deslizamientos se obtuvo de los registros de Vanguardia Liberal.

La CDMB suministró los datos de precipitación máxima horaria de tres estaciones, la estación Centro, Ciudadela y Norte (anexos), con estos datos se realizaron gráficas de precipitaciones acumuladas diarias (indicador P1), figura 15, y acumuladas cada 30 días (indicador P30), figura 16, en cada gráfica se relacionan las fechas de los deslizamientos ocurridos en el área de estudio.

Como se puede observar en la gráfica de indicador P1, algunos deslizamientos ocurren en los picos, sin embargo se observa que no todos los deslizamientos presentan este comportamiento, mientras que en la gráfica del indicador P30 los deslizamientos tienen una mejor relación de lluvias pico. Esta tendencia se debe a que el material se va saturando hasta llegar a un punto en que disminuyen los esfuerzos efectivos, con lo cual la resistencia del material disminuye hasta llegar a la falla, por lo tanto para la valoración del parámetro clima se tuvo en cuenta la gráfica del indicador P30, puesto que el área de estudio es muy pequeña no hay una variación significativa en la precipitación, por lo que se toma un solo valor para toda la zona.

Figura 13 Mapa de amenaza parámetro Sismo.



Fuente: Autores.

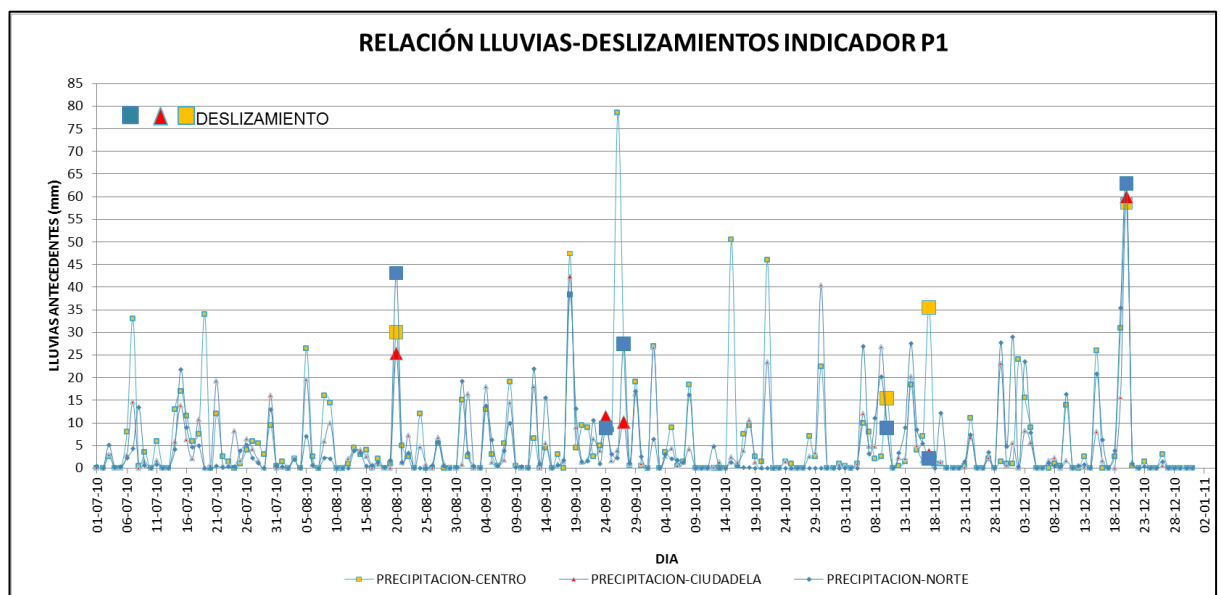
En este caso, se observa que un 70% de los deslizamientos ocurrieron con una precipitación acumulada de 30 días mayor o igual a 100 mm. Por consiguiente, en un rango de precipitaciones acumuladas de 30 días el 30% restante de los movimientos en masa ocurrieron con lluvias entre 40 y 100 mm. Teniendo en cuenta la relación lluvia-deslizamiento, -indicador P30, y considerando una precipitación acumulada alta con base en los deslizamientos ocurridos en este rango, al parámetro clima se le dio un valor de 8. La calificación se basó en la tabla 16, valoración parámetro clima, y debido a que este parámetro solo posee un valor, no se realizó un mapa representativo del mismo, sino que se trabajó como una constante con C=8.

**Tabla 16** Valoración parámetro C (clima)

PMDA (precipitación media acumulada)	Baja	Media	Alta
<b>C</b>	40	19	8

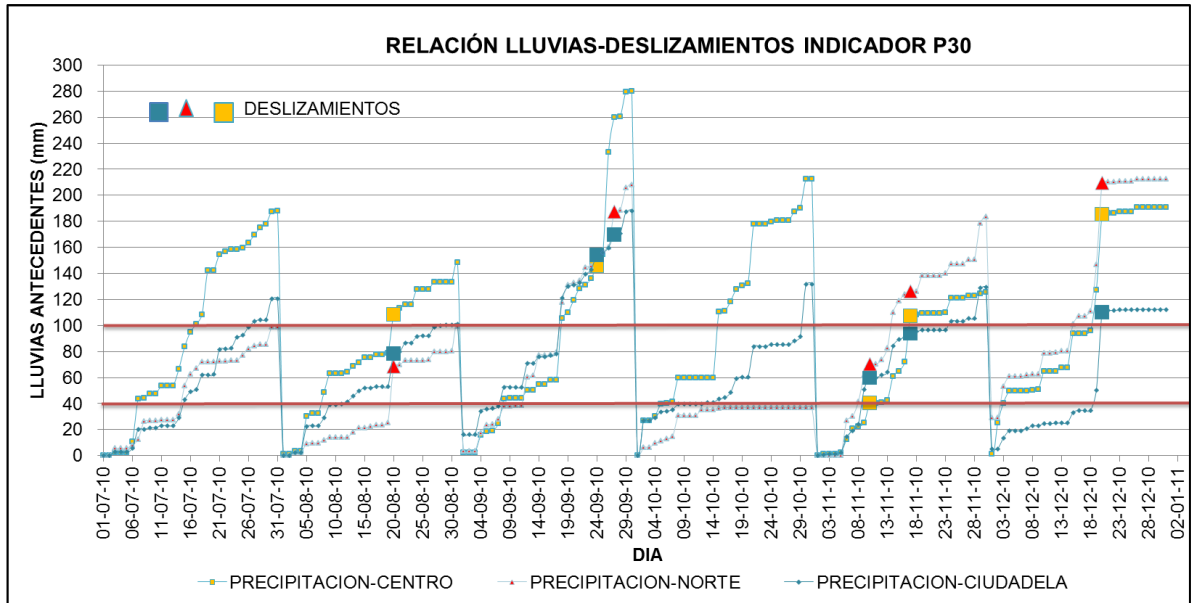
**Fuente:** Adaptada de Ramírez y modificada González-Millán (1998)

**Figura 14** Relación lluvias-deslizamientos indicador P1



**Fuente:** Autores.

**Figura 15** Relación lluvias-deslizamientos indicador P30



**Fuente:** Autores.

## 2.2 MAPAS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

De acuerdo a todo lo anterior, se han evaluado ocho parámetros (intrínsecos y detonantes), los cuales nos sirven para determinar el mapa preliminar de zonificación de amenaza por movimientos en masa, este mapa es el resultado de la superposición de cada uno de los mapas de las variables establecidas logrando un valor de CE con la suma de los valores de calificación de cada una de estas variables.

Se realizaron dos escenarios de mapas de zonificación de amenaza: el escenario 1 comprende la suma de solo siete variables (material, relieve, drenaje, vegetación, erosión, factor antrópico y clima), es un escenario estático, este escenario se realiza sin sismo, debido a que en la mayoría de los casos de deslizamientos el factor sismo no interviene en la detonación de estos. Y el escenario 2: consta de la suma de todas las variables.

### 2.2.1. ESCENARIO 1

La calificación de estabilidad de este escenario varía entre un puntaje de 21 a 276, tabla 17. El resultado del análisis muestra valores entre 82 y 193, esta calificación se realizó a partir del análisis estadístico del área acumulada, presentando una distribución normal figura 17.

De esta gráfica se parte para la calificación de la categoría de amenaza tabla 18, en donde se establecen cinco categorías de estabilidad. Obteniendo como resultado final el mapa de amenaza por fenómenos de remoción en masa escenario 1 Figura 18.

**Tabla 17** Calificación de estabilidad Escenario 1.

PARAMETRO	SIMBOLO	PUNTAJE	
		MAXIMO	MINIMO
Material	M	50	1
Relieve	R	34	0
Drenaje	D	35	6
Vegetación	V	32	3
Erosión	E	35	11
Factor Antrópico	A	50	0
Clima	C	40	0
<b>CALIFICACIÓN DE ESTABILIDAD</b>		<b>276</b>	<b>21</b>

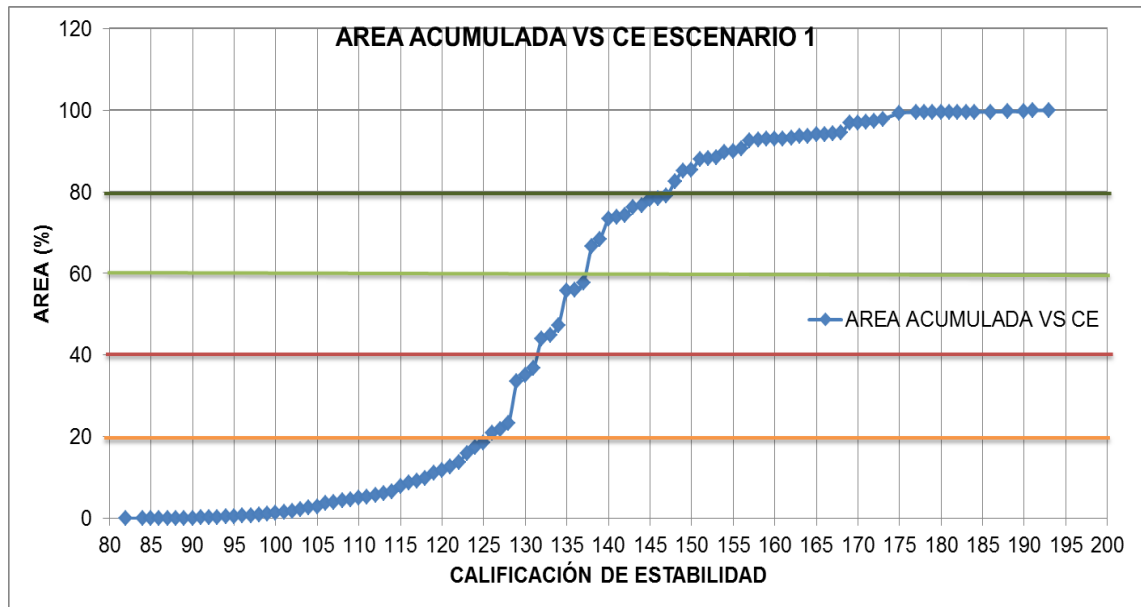
**Fuente:** Autores.

**Tabla 18** Rangos de amenaza Escenario 1.

CE	AMENAZA	% AREA ACUMULADA
< 126	Muy Alta	20
126 - 132	Alta	20
132 - 138	Media	20
138 - 148	Baja	20
CE < 148	Muy Baja	20

**Fuente:** Autores.

**Figura 16** Grafica de calificación de estabilidad escenario 1.



**Fuente:** Autores.

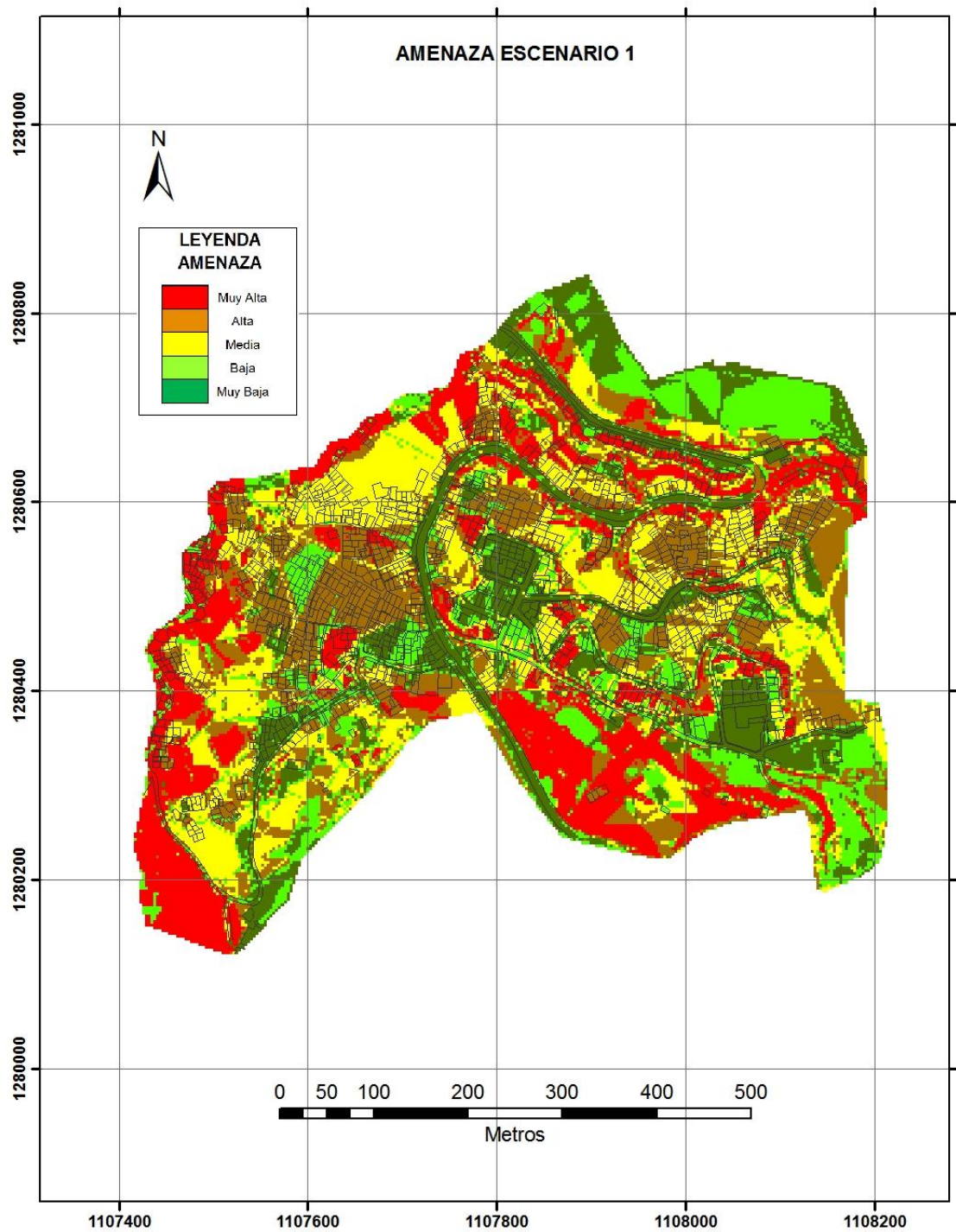
### 2.2.2. ESCENARIO 2

**Tabla 19** Calificación de estabilidad Escenario 2.

PARAMETRO	SIMBOLO	PUNTAJE	
		MAXIMO	MINIMO
Material	M	50	1
Relieve	R	34	0
Drenaje	D	35	6
Vegetación	V	32	3
Erosión	E	35	11
Factor Antropico	A	50	0
Clima	C	40	0
Sismo	S	24	0
<b>CALIFICACIÓN DE ESTABILIDAD</b>		<b>300</b>	<b>21</b>

**Fuente:** Autores.

Figura 17 Mapa de amenaza escenario 1.



Fuentes: Autores.

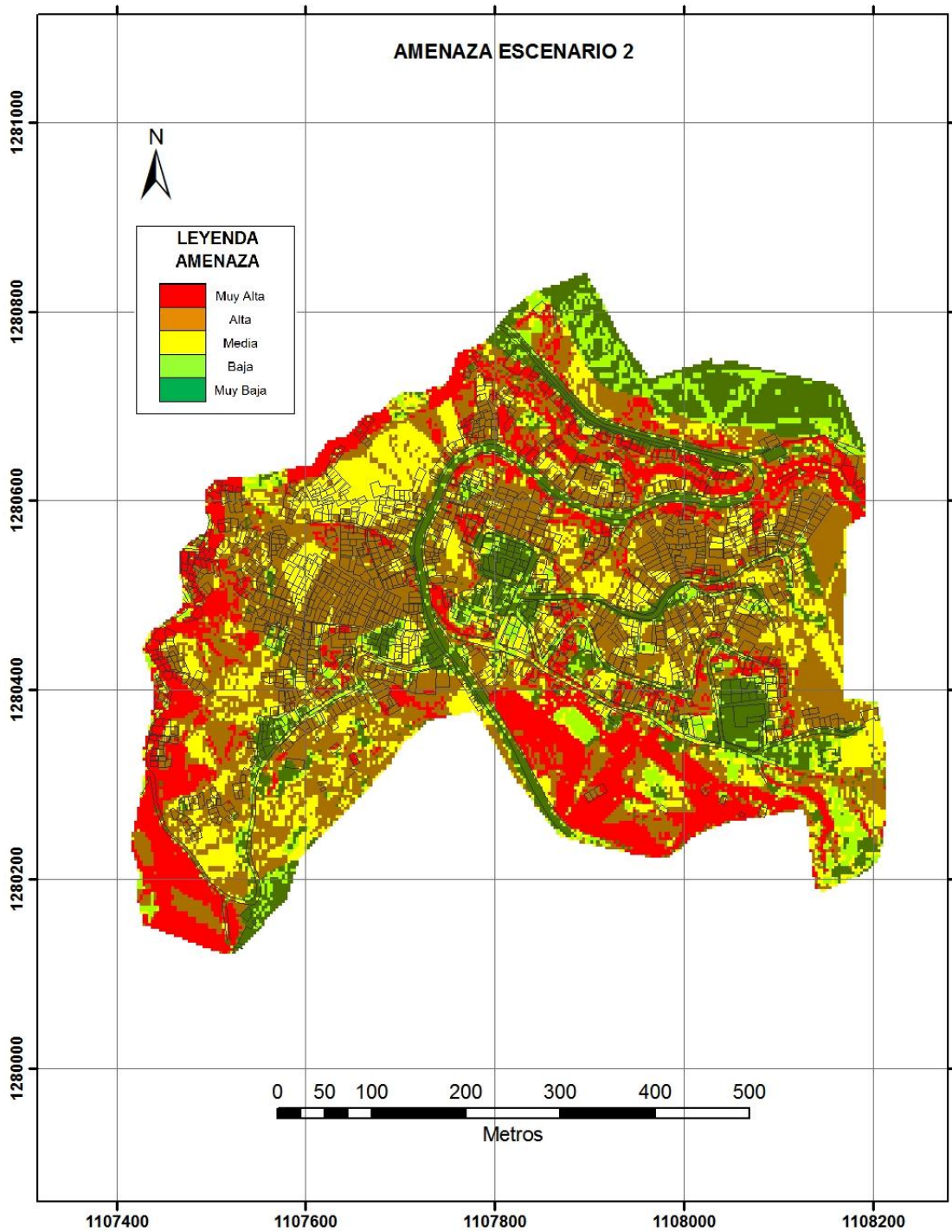
La realización de este escenario se basó en la sumatoria de las ocho variables anteriormente descritas, con lo cual se presenta una calificación de estabilidad entre 21 a 300, Tabla 19. Para la obtención de estos datos se realizó el mismo procedimiento que con el escenario 2, partiendo de la sumatoria de los mapas y luego graficando esos valores vs el área acumulada de la zona de estudio, consiguiendo como resultado la clasificación de amenaza del escenario 2 tabla 20, amenaza entre 100 y 218, y el mapa de amenaza correspondiente a Figura 19.

**Tabla 20** Rangos de amenaza Escenario 2.

<b>CE</b>	<b>AMENAZA</b>	<b>% AREA ACUMULADA</b>
< 145	Muy Alta	20
145 - 156	Alta	20
156 - 164	Media	20
164 - 171	Baja	20
CE < 171	Muy Baja	20

**Fuente:** Autores

Figura 18 Mapa de amenaza escenario 2.



Fuente: Autores

### 3. ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de la información obtenida se hizo en tres partes, la primera consta del análisis de cada variable independiente de las otras; seguidamente se realiza un análisis de los mapas finales de amenaza para los dos escenarios, los cuales involucran todas las variables y por último, se efectuó la comparación con el mapa de amenaza realizado por la CDMB usando el método determinístico.

#### 3.1. VARIABLES

3.1.1. MATERIAL. Es el rasgo más importante, debido a que este es la base estructural de la zona, por lo tanto, de los otros parámetros; al observar el mapa de amenaza resultante se apreció un comportamiento casi que esperado, pues más del 80% del área de estudio se encuentra en amenaza alta, debido a que los materiales presentes en la zona no presentan buenas características de resistencia y por lo tanto de estabilidad.

3.1.2. RELIEVE. La calificación de amenaza del parámetro relieve a simple vista, con lo observado en campo, debería presentar una proporción mucho mayor entre los rangos alto y muy alto con respecto a los demás, ello debido a la topografía tan marcada y abrupta de la zona, pero analizando el mapa de amenaza resultante aunque se aprecia buena presencia de zonas en amenaza alta, también las hay en el rango bajo, muy bajo y medio, siendo la última la más predominante (48.8% del área total), lo que sugiere la amplia variación de rangos de pendientes en la zona, muchas veces no siendo fácil apreciar esta variación a simple vista.

3.1.3. DRENAJE. Para comenzar, hay que hablar de la dificultad que presenta la metodología para analizar este parámetro en zonas de poca área como es nuestro caso, tan solo 0.363 km<sup>2</sup>, pues en sí, la metodología base de Ramírez fue concebida para tratar en áreas rurales, que por lo menos tuviera la superficie de

una micro cuenca, caso que no es el de estudio por lo ya mencionado anteriormente, por ello, no se presenta una variación significativa en los valores que toman los factores<sup>18</sup> que determinan este parámetro, sino que se agrupan en solo 3 valores de estabilidad haciendo imposible su calificación en rangos mayores de amenaza como los 5 del estudio, obligando a la presentación en tan solo tres niveles de amenaza: alta, media y baja, e incluso así, las celdas tienden a tomar un solo valor, pues la amenaza alta tiene una presencia mayor al 75% del área total.

3.1.4. VEGETACIÓN. Se observa una buena calificación ya que aproximadamente un 60% del área se encuentra en amenaza baja, esto se debe a que en muchos lugares todavía hay una vegetación nativa predominante, lo cual ayuda a contrarrestar las fuertes pendientes que se tienen en el área de evaluación y también se observa que la amenaza alta predomina en los lugares en donde el hombre ha hecho fuertes modificaciones sin ningún tipo de obra de contingencia.

3.1.5. EROSIÓN. Tiende a ser un factor muy importante en los movimientos en masa, ya que puede ser una buena evidencia de futuros deslizamientos. Como se puede observar en el mapa de amenaza de este parámetro, solo se manejaron dos valores, uno con erosión y el otro sin erosión, lo que se debe a que no se tiene un registro de que hayan ocurrido esta clase de procesos en el área de estudio por lo que solo se pudo tener en cuenta la erosión en los deslizamientos existentes, lo que demuestra el poco interés tomado al manejo de esta variable.

3.1.6. FACTOR ANTRÓPICO. El factor predominante en la amenaza alta en este mapa es la zona de las rondas, ya que la gente se ha empeñado en hacer autoconstrucciones muy cerca a los cauces, sin respetar ningún tipo de aislamiento. Además, se observa la gran importancia de tener buenas redes de alcantarillado, suministro de agua y tener pavimentadas las vías, pues en estas

---

<sup>18</sup>Los factores son Densidad de drenaje y Pendiente promedio de cauce.

zonas se tiene un mejor manejo de la escorrentía lo cual muestra una tendencia de amenaza baja.

3.1.7. SISMO. El mapa de amenaza sísmica nos muestra una distribución de área que podríamos decir que correspondiente a una zona de sismicidad alta, como lo es la zona de estudio y de por sí, toda el área metropolitana de Bucaramanga, pero en esta variable así como en la de drenaje, podemos apreciar un problema debido a que el área de estudio es tan pequeña, la variación del parámetro mostró una distribución de celdas en los dos extremos del rango, pues la amenaza muy alta y muy baja abarcan aproximadamente el 88% del área de estudio, mostrando una variación muy amplia en los puntajes de estabilidad, por lo tanto se genera cierta desconfianza con los rangos obtenidos.

3.1.8. CLIMA. Los deslizamientos registrados responden mejor a un modelo de lluvias acumuladas-antecedentes, que a un modelo de lluvias diarias pico, con lo que se corrobora una vez más que a mayor tiempo de lluvias el suelo se satura y pierde resistencia, demostrando también la importancia de incorporar modelos de respuesta hidrológica del suelo en los estudios de amenaza.

## 3.2. ESCENARIOS DE AMENAZA

3.2.1. ESCENARIO 1. Se observó una distribución constante de amenaza baja donde hay presencia de material que exhibe una resistencia más alta que los demás, en este caso particular hablamos del Ri4 y donde la pendiente oscila en un rango entre 0°-15°, se aprecia además que en todo el eje de la vía central la amenaza es muy baja, lo que demuestra la importancia de la obras civiles correctamente ejecutadas; la amenaza muy alta y alta coincide con los lugares donde han ocurrido deslizamientos, mostrando la gran influencia del parámetro factor antrópico y erosión, también hay una presencia constante de las amenaza muy alta y alta en los linderos de la vía, ello debido a la gran pendiente dejada en

los taludes, los que posteriormente fueron invadidos por construcciones informales generando cortes y disminución de la resistencia en los suelos, la ronda de la quebrada muestra una amenaza muy alta en la mayoría de su extensión por la gran intervención realizada por el hombre en esta zona, recalcando la importancia de las normas legales que adjudican una distancia de no intervención a los lados del cauce, normas que evidentemente no se cumplen en el área de estudio; la tendencia que presenta la Amenaza media, muestra una especial presencia en las zonas con vegetación nativa y ausencia de construcciones informales. En general, se aprecia la importancia de este tipo de estudios en una zona como lo fue el área de analizada, ya que se observó que cerca del 50% de las viviendas o construcciones se encuentran en Amenaza alta, lo que indica el gran riesgo con el que conviven sus habitantes.

3.2.2. ESCENARIO 2. Además de lo mencionado en el numeral anterior, con la presencia del parámetro sismo se ve un aumento de áreas con amenaza alta y muy alta, debido a que este es un factor detonante y tiene el valor agregado de que la zona se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta a nivel nacional, también hay que mencionar que al agregar este parámetro, se debió hacer una pequeña re-calibración en los rangos de amenaza totales, pasando de un puntaje inicial<sup>19</sup> de 153 a uno de 156, pues la calificación de amenaza obtenida en algunas zonas de deslizamientos pasados no entraban en el rango que debían estar, con lo que se recalca lo mencionado en el numeral 3.7 sobre los puntajes del sismo, y que la obtención de los puntajes del parámetro fue hecha con base en la zona de Villavicencio, la cual presenta diferencias significativas en el parámetro Aa, con la zona de estudio.

---

<sup>19</sup> Puntajes de los rangos de niveles de amenaza obtenidos por la distribución de áreas acumuladas.

### 3.3. COMPARACIÓN ENTRE MAPA DE AMENAZA CDMB Y MAPA DE AMENAZA OBTENIDOS EN EL PRESENTE ESTUDIO

Inicialmente se realiza una unificación de los niveles de amenaza del estudio con respecto a los de la CDMB, ya que esta última metodología califica la amenaza en tres niveles Alta, Media y Baja, y posteriormente, se generaron nuevamente los mapas de los escenarios 1 Figura 20 y escenario 2 Figura 21, del presente estudio con los niveles de amenaza y la simbología de la CDMB y su correspondiente simbología, todo esto, para una mejor comparación.

Una vez revisados los mapas, lo primero que se puede observar a nivel general es la diferencia entre las metodologías, pues la CDMB muestra zonas<sup>20</sup> de amenaza más uniformes y áreas más amplias, mientras que la metodología del presente estudio al ser realizada utilizando unidad de terreno en celdas o pixeles, muestra cuando hay variaciones entre zonas mucho más pequeñas<sup>21</sup>.

3.3.1. ESCENARIO 1. Someramente se observa una distribución de los niveles de amenaza muy similar entre los 2 mapas, al analizar más detalladamente se aprecian diversas variaciones entre la zona norte de la calle 17, pues según la CDMB hay una zona de Amenaza media seguida de una zona de Amenaza Alta y en el mapa del presente estudio ocurre lo opuesto, primero la zona de amenaza alta y luego media, variación debida a que la metodología del presente estudio toma en cuenta el parámetro de la vegetación y factor antrópico, los cuales son los claros modificantes de la Amenaza para ese sector en especial, factores que no se tienen en cuenta por la CDMB. Otra zona de especial variación es la ubicada sobre el lavadero de autos, pues en CDMB el nivel de amenaza está entre media y baja, mientras que lo presentado por el estudio actual, se observa una tendencia al nivel de amenaza Alta, la variación nuevamente tiene que ver con el factor

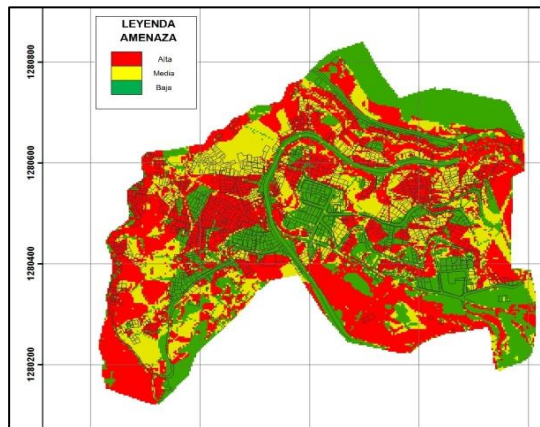
---

<sup>20</sup> Zonas limitadas al número de sondeos utilizada en la realización del estudio.

<sup>21</sup> Zonas mínimas del tamaño del pixel, es decir con dimensiones de 3x3.

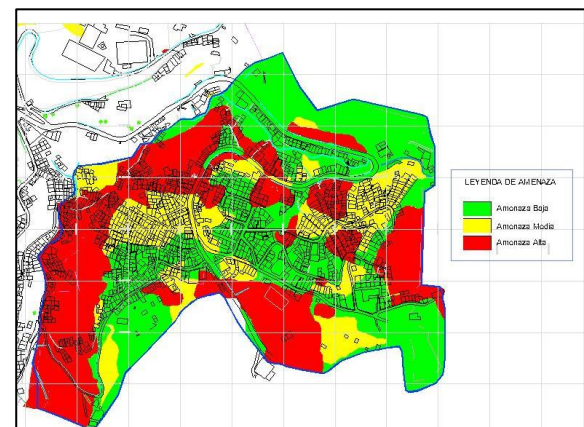
antrópico, pues la zona del lavadero está justo al lado de la quebrada afectando su ronda, esta misma diferencia y por la misma causa ocurre sobre todo el sector de las rondas de la quebrada.

**Figura 1** Mapa de amenaza escenario 1.



**Fuente:** Autores.

**Figura 2** Mapa de amenaza CDMB



**Fuente:** CDMB

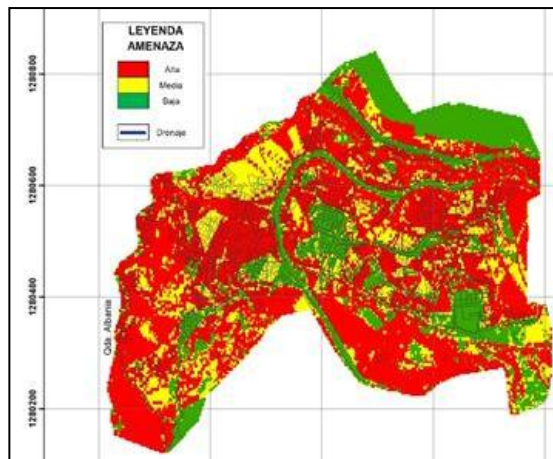
Igualmente, la zona de la cancha de arena<sup>22</sup> es un sector a tener en cuenta en el análisis, debido a que la CDMB expone una zona de amenaza alta, mientras el presente estudio establece la zona como de amenaza baja, la gran diferencia ocurre debido a que la CDMB relaciona la amenaza alta con que la parte superior de la cancha está en amenaza alta si ocurre falla, por lo tanto, todo el material cedería sobre la cancha y por ende, tiene la misma amenaza que la zona superior, mientras tanto, la metodología del estudio actual toma cada zona como única e independiente a sus vecinos<sup>23</sup>, lo cual no siempre es lo correcto, porque muchas veces como en el ejemplo anterior, la amenaza generada en un sector perjudica las zonas aledañas.

<sup>22</sup> Ubicada entre la calle 18 y el costado izquierdo de la vía Bucaramanga- Pamplona.

<sup>23</sup> El único parámetro que toma en cuenta las celdas vecinas es el sismo, en su factor de amplificación por pendiente.

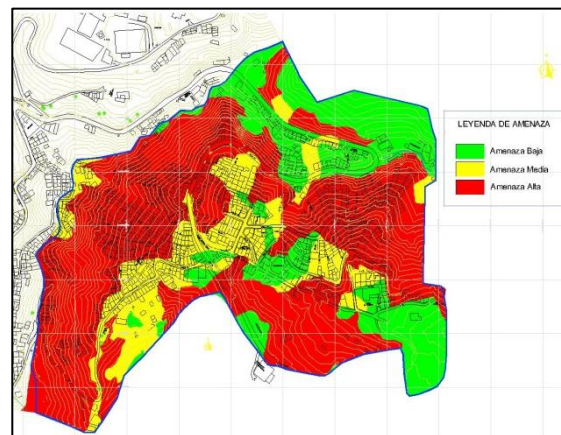
3.2.1. ESCENARIO 2. Al comparar el mapa del escenario 2 con el mapa sísmico de la CDMB (escenario 3), se observa que las características son similares a la comparación de los mapas del numeral anterior (escenario 1), puesto que hay zonas en donde la amenaza es alta en el escenario 2 y al compararlo con el mapa de la CDMB este las tiene en amenaza media y viceversa, esto se debe a la gran diferencia de metodologías que se usan, los casos relacionados son los hablados anteriormente. Sin embargo este factor detonante adicional (sismo (S)) se comporta de buena forma porque en ambos casos se ve el aumento de la amenaza alta.

**Figura 3** Mapa de amenaza escenario 2.



**Fuente:** Autores.

**Figura 4** Mapa de amenaza CDMB



**Fuente:** CDMB

#### 4. CONCLUSIONES

Se realizó la representación de la Amenaza por fenómenos de remoción en masa en la zona correspondiente a la comuna 14, utilizando el método estadístico divariado con base a la metodología SES, para lo cual se clasificó el nivel de amenaza mediante dos diferentes categorías, así: la primer categoría obedece a la utilizada por la CDMB y corresponde a tres niveles de amenaza (Alta, Media, Baja); y una segunda metodología, utilizada por algunas de las fuentes consultadas y corresponde a cinco niveles de amenaza (Muy alta, Alta, Media, Baja, muy Baja).

La importancia de un análisis como el realizado para este tipo de zonas en Bucaramanga es la obtención de cifras verdaderamente altas en materia de amenaza, pues para el escenario 1, la amenaza alta corresponde a un total del 44% del área total y para el escenario 2, la cifra es del 57%, teniendo en cuenta que en esta zona hay amplia presencia de estructuras de vivienda (aproximadamente el 34% del área total de estudio).

Mediante el uso de esta metodología, es posible generar un tipo de alertas tempranas para este sector, mediante el seguimiento de cada uno de los ocho parámetros (intrínsecos y detonantes), especialmente realizando una calibración más detallada de las relaciones lluvia-deslizamiento para los taludes de la comuna 14. Como se observó en los análisis, es posible generar nuevos escenarios de amenaza para diferentes valores de lluvia acumulada.

Se pudo apreciar que la forma en que se evalúan algunos parámetros como lo es el sismo, clima y el drenaje, no están muy bien ajustadas para trabajarlas en zonas de poca área como la del presente estudio, lo cual no permite apreciar el verdadero efecto de estas variables sobre la calificación final.

Se determinó que para este tipo de métodos, las variables más significativas, en relación a la ocurrencia de deslizamientos, son relieve, material, drenaje, factor antrópico, vegetación, erosión, clima y sismo, y que cada uno de ellos tiene una diferente influencia en el mapa de calificación final, siendo material, factor antrópico y el clima las más significativas, el sismo la de menor influencia y los otros parámetro en un rango medio y próximos entre sí.

Se percibió que el método estadístico al tener su base en la unidad de terreno (celda o pixel), presenta una deficiencia en relación a la metodología determinística, pues el análisis se hace únicamente sobre las dimensiones de la celda con lo cual se deja a un lado el análisis con respecto a las unidades de terreno vecinas y por lo tanto, se descarta la amenaza que es adquirida como consecuencia de eventos en zonas aledañas.

Una de las falencias encontradas, radica en que el método parte del mapa unidades geológicas superficiales UGS, para proporcionarle valores de peso al tipo de material, esta hace que no se tenga en cuenta la variación de los espesores de suelo, ni las estructuras heredadas, que son muy importantes en estos suelos residuales, los que constituyen zonas de debilidad.

Se observó, que el nivel de precisión de este tipo de modelos, depende en gran medida de la información histórica disponible, con la cual se pueda realizar una buena calibración de las zonas en donde han ocurrido deslizamientos previamente; por consiguiente, una de las mejoras para el modelo, sería implementar sistemas de recolección de información continua en donde se especifiquen fechas de ocurrencia de deslizamientos, zonas afectadas, tipo de deslizamiento y la cantidad de lluvia que los originó.

Se encontró que parámetros como la erosión para el desarrollo correcto de su evaluación en metodologías como la planteada en el estudio, necesitan de amplias

bases de datos que involucren aspectos como el tipo, inclinación, longitud; así mismo, eventos de remoción en masa también deben tener un mayor seguimiento y recopilación ya que sin importar las metodologías, éstos sirven como puntos de calibración o de validación de estudios; datos que en ambos casos no existe un número significativo en el área metropolitana de Bucaramanga, por lo que se sugiere la creación de una base de datos con el fin de mejorar la calidad de los estudios en un futuro.

Se constató que los deslizamientos registrados responden mejor a un modelo de lluvias acumuladas-antecedentes, que a un modelo de lluvias diarias pico. Esto, corrobora una vez más que a mayor tiempo de lluvias el suelo se satura y pierde resistencia, demostrando también la importancia de incorporar modelos de respuesta hidrológica del suelo en los estudios de amenaza.

Se corroboró que el método tiene buenos resultados en comparación con la metodología usada por la CDMB, pues hay bastante concordancia entre los niveles de amenaza; pudiendo validar el método, puesto que concuerdan los niveles de amenaza alta mostrados con los sitios de ocurrencia de los deslizamientos, que es en si el objetivo de estas zonificaciones.

Mediante los análisis de resultados de los modelos obtenidos, se concluye que el método estadístico divariado con base en la metodología SES, implementado para zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa, arroja buenos resultados, comparados con métodos determinísticos, -que son los más usados en la región-; este hecho constituye un avance importante para que las entidades ambientales locales implementen esta metodología, siempre y cuando se realice un estudio detallado que permita adaptar cada una de las variables al medio local.

## 5. BIBLIOGRAFIA

**ARANGO GARTNER, Juan. (2000).** Relaciones lluvias-deslizamientos y zonificación geotécnica en la comuna dos de la ciudad de Manizales.

**ARISTIZÁBAL, E., GONZÁLEZ, T., et al. (2011)** Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 15, p. 95-111. Julio 2011

**ArcGIS.** Ayuda De ArcGis Desktop. ESRI Support Center, Enero de 2012

<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html>

**AVENTÍN FERRER, Alberto,** Estudio De La Vulnerabilidad De Una Red De Drenaje Mediante El Método De Monte Carlo. Cap 2. Universitat Politècnica de Catalunya

**CAMPAÑA, Samuel, (2011)** Gestión Ambiental e Integrada de Cuencas un enfoque viable y sostenible. CONAF FORO ARAUCO, Santiago 30 Agosto 2011.

**CDMB. (2010).** Investigación topográfica y geológica para la zonificación de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa en los barrios que comprenden la comuna 14, los barrios Antonia Santos, San Pedro, San Martín y Quebrada la Iglesia de la comuna 9, el sector el Cristal parte baja de la comuna 10 y barrio Porvenir de la comuna 11 del municipio de Bucaramanga. 4 Julio 2010.

**DIAZ DURAN, FREDY, (2009).** Zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa aplicando un modelo basado en redes bayesianas para determinar la probabilidad de ocurrencia de diferentes mecanismos de falla en

laderas para el área metropolitana de Bucaramanga. Universidad Nacional De Colombia. Bogotá D.C. Junio 2009.

**FELICISIMO (2004).** Descripción y Análisis del Relieve, tomado de [www.etsimo.uniovi.es/~feli/](http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/) Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura 10071 Cáceres España.

**GONZALEZ A., (1999)** "Procedimiento para la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá - Colombia" En: Brasil. 1999. *Evento: XI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica* Ponencia: Libro: Memorias del XI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica.

**HANS-LEO, Paus,(2004)**Reply of Insurance Industry to Landslide Risk.Landslide Hazard and Risk, Cap 8. Ed. John Wiley & Sons, Ltd. 2004

**IDEAM (2002).** MODELO PARA EL PRONÓSTICO DE LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN TIEMPO REAL, IDEAM, Colombia

**INGEOMINAS. (2001).** Zonificación Sismo Geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, Fase II. Convenio realizado entre la CDMB e INGEOMINAS, Bucaramanga.

**INGEOMINAS.(2001).** Zonificación Integral Por Amenazas Naturales Para La Ciudad De Villavicencio – Meta. Fase I. INGEOMINAS, 2001.

**INGEOMINAS. (2003)** Zonificación Integral Por Amenazas Naturales Para La Ciudad De Villavicencio – Meta. Fase II. INGEOMINAS, 2003.

**INGEOMINAS. (2007).** Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa De Algunas Laderas De Los Municipios De Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. INGEOMINAS, 2007

**J.A. COE, J.W. GODT, R.L. BAUM, R.C. BUCKNAM & J.A. MICHAEL, (2004)** Landslide susceptibility from topography in Guatemala. Landslides: Evaluation and Stabilization, W.A. Lacerda, M. Ehrlich, S.A.B. Fontura & A.S.F. Sayão (eds) © 2004 Taylor & Francis Group, London, ISBN 04 1535 665 2 v. 1, p. 69-78.

**LONDOÑO C., (2001)** CUENCAS HIDROGRÁFICAS: Bases Conceptuales – Caracterización Planificación-Administración. UNIVERSIDAD DEL TOLIMA Ibagué, 2001

**RAMIREZ, Fernando. (1988)** Sistema Semicuantitativo De Evaluación A Escala Intermedia De Zonas Homogéneas De Estabilidad. Tesis de Maestría en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. 1988

**SANTACANA QUINTAS, Nuria (2001).** Análisis de la Susceptibilidad del Terreno a la Formación de Deslizamientos Superficiales y Grandes Deslizamientos Mediante el Uso de Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a la Cuenca Alta del Río Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. Barcelona – España.

**SUÁREZ, Jaime. (1998).** Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga.1998.

**Unión Temporal CRC** (Consulcons Ltda., Héctor V. Rodríguez R. & Carlos H. Cantillo R.) Concepto técnico de riesgo del desarrollo Buenos Aires II, localidad de Ciudad Bolívar. Anexo 2. FOPAE, 2005.

**VARGAS CUERVO, Germán (1994)** "Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensores remotos y SIG". Boletín Geológico - INGEOMINAS ISSN: 0120-1425 ed: INGEOMINAS v.34 fasc.1 p.59 - 116 ,1994

**VARGAS CUERVO, Germán (1999)** "Guía Técnica para la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza por Movimientos en Masa" En: Colombia 1999. ed: ISBN: 9583312762 v. 2500 págs. 197

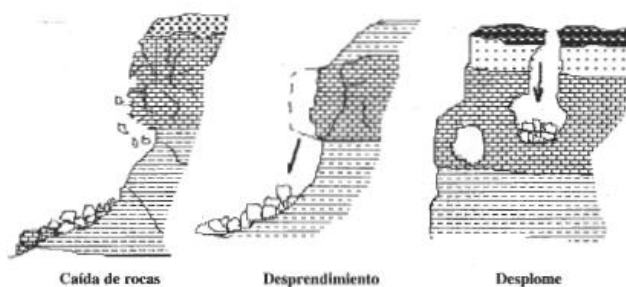
**VARGAS CUERVO, Germán (2001)** "Criterios para la descripción y clasificación de movimientos en masa.". Boletín De Geología ISSN: 0120-0283 ed: Ediciones Uisv.22 fasc. p.39 - 68 ,2001

## 6. ANEXOS

### ANEXO A. TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

1. Caído. En los caídos una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando. Precedido de movimientos menores que conduzcan a la separación progresiva o inclinación del bloque o masa de material (Figura 24).

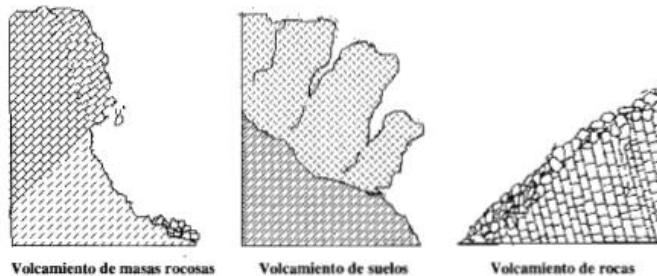
**Figura 1** Ejemplo de caídas, desprendimiento y desplome.



**Fuente:** Vargas, G (2000)

1.3.2. Inclinación o volteo. Este tipo de movimiento consiste en una rotación hacia adelante de una unidad o unidades de material térreo con centro de giro por debajo del centro de gravedad de la unidad y generalmente, ocurren en las formaciones rocosas. Las fuerzas que lo producen son generadas por las unidades adyacentes, el agua en las grietas o juntas, expansiones y los movimientos sísmicos. La inclinación puede abarcar zonas muy pequeñas o incluir volúmenes de varios millones de metros cúbicos. (Figura 25).

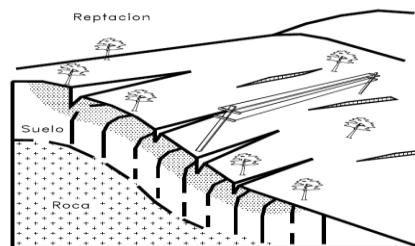
**Figura 2** Inclinación o volcamiento de materiales.



**Fuente:** Vargas, G (2000)

1.3.3. Reptación. La reptación consiste en movimientos muy lentos a extremadamente lentos del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida. Generalmente, el movimiento es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno. Se le atribuye a las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de humedecimiento y secado en suelos, usualmente, muy blandos o alterados. La reptación puede preceder a movimientos más rápidos como los flujos o deslizamientos. (Figura 26).

**Figura 3** Esquema proceso de reptación.

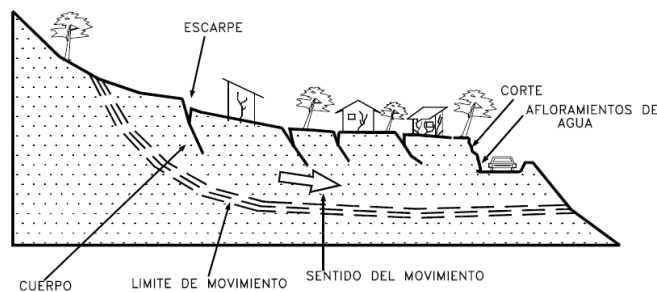


**Fuente:** Suarez, J. (1998)

1.3.4. Deslizamiento. Este movimiento consiste en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden

comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc. Los deslizamientos se pueden a su vez dividir en dos subtipos denominados deslizamientos rotacionales y traslacionales o planares. Esta diferenciación es importante porque puede definir el sistema de análisis y estabilización a emplearse.

**Figura 4** Ejemplo de deslizamiento.



**Fuente:** Suarez, J. (1998)

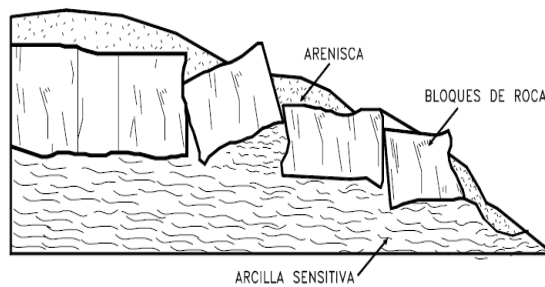
1.3.4.1. *Deslizamiento Rotacional.* En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

1.3.4.2. *Deslizamiento de traslación.* En el deslizamiento de traslación el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Los movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación  $D_r/L_r^{24}$  de menos de 0.1. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está principalmente en la aplicabilidad o no de los diversos sistemas de estabilización.

<sup>24</sup>Dr: Profundidad de la superficie de falla.  
Lr: Longitud de la superficie de falla.

1.3.5. Esparcimiento lateral. En los esparcimientos laterales el modo de movimiento dominante es la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión. El mecanismo de falla puede incluir elementos no solo de rotación y translación, sino también de flujo. (Figura 28). Generalmente, los movimientos son complejos y difíciles de caracterizar. La rata de movimiento es por lo general extremadamente lenta. Los esparcimientos laterales pueden ocurrir en masas de roca sobre suelos plásticos y también se forman en suelos finos, tales como arcillas y limos sensitivos que pierden gran parte de su resistencia al remoldearse.

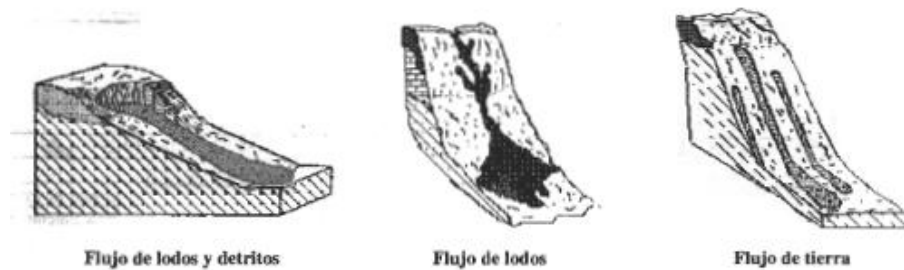
**Figura 5** Esquema de esparcimiento lateral.



**Fuente:** Suarez, J. (1998)

1.3.6. Flujo. En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra. Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones, a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura. La ocurrencia de flujos está generalmente relacionada con la saturación de los materiales sub-superficiales.

**Figura 6** Esquemas de Flujos.



**Fuente:** Vargas, G.

1.3.7. Avalanchas. En las avalanchas la falla progresiva es muy rápida y el flujo desciende formando una especie de “ríos de roca y suelo” (Figura 30). Estos flujos comúnmente se relacionan con lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionales muy altos, deshielo de nevados o movimientos sísmicos en zonas de alta montaña y la ausencia de vegetación, aunque es un factor influyente, no es un prerequisite para que ocurran.

**Figura 7** Esquema Avalanchas.

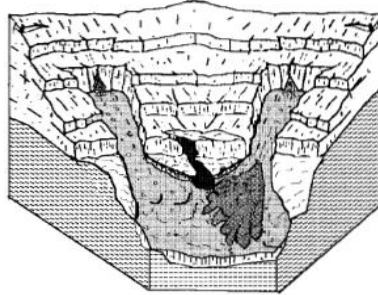


**Fuente:** Suarez, J. (1998)

1.3.8. Movimientos complejos. Con mucha frecuencia los movimientos de un talud incluyen una combinación de dos o más de los principales tipos de desplazamiento descritos anteriormente, este tipo de movimientos se les denomina como “Complejo”. Adicionalmente, un tipo de proceso activo puede

convertirse en otro a medida que progresa el fenómeno de desintegración; es así como una inclinación puede terminar en caída o un deslizamiento en flujo.

**Figura 8** Esquema de Movimientos complejos.



**Fuente:** Vargas, G. (2000)

## **ANEXO B. MODELAMIENTO SIG DE VARIABLES**

### **2.1 Modelamiento parámetro M**

El modelamiento de M se explica en su proceso de valuación, el cual parte de la geología, la exploración geotécnica, los perfiles topográficos y además el plano TOPOGRAFIA.dwg suministrado por la CDMB y en el cual se encuentra la referencia espacial del área de estudio, con base en las fuentes mencionadas se realiza el dibujo del modelo utilizando el software Autocad 2010 y obteniendo el mapa MATERIAL.dwg, posteriormente se convierte y exporta a formato .shp, dando como resultado el archivo MATERIAL.shp, por medio del software ArcGis 10, luego se convierte a modelo raster con tamaño de celda de 3m tomando como insumo sus categorías, y para finalizar se le asigna en nuevo campo de atributo VALOR en el que se le incorporan los puntajes de calificación de M con base en la tabla 4 y cuyo resultado final fue el modelo MATERIAL\_R.

### **2.2. Modelamiento parámetro R**

Para la obtención del modelo raster del parámetro Relieve (R), se llevó a cabo un proceso de varias etapas.

La primera etapa fue la realización del Modelo Digital de Elevaciones (DEM) a partir del mapa de curvas de nivel con espaciamiento de 1m de la zona TOPOGRAFIA.dwg, suministrado por la CDMB, y éste se convirtió a formato SHP para su funcionamiento como archivo de insumo; el DEM fue hecho mediante el algoritmo de interpolación, Red Irregular de Triángulos TIN Líneas fuertes, por medio del Software ArcGis 10., obteniendo así el archivo TIN\_AREA\_EST, la importancia de este DEM radica en que según Felicísimo (2004) “es una

*estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua”.*

A partir del DEM se realizó la conversión de TIN a modelo raster con atributo de elevación y tamaño de celda de 3 m, así se obtuvo el modelo ELEVA\_R; posteriormente se realizó la conversión a modelo raster con atributo de inclinación (grados) con tamaño de celda de 3 m y se obtuvo el modelo de pendientes (°) SLOPE\_R.

Para definir el tipo de perfil longitudinal (Convexo, Plano o Cóncavo) y las zonas donde este se encuentra, se realizó el modelo en ArcGis CURVATU\_R, modelo que se llevó a cabo tomando como dato de entrada SLOPE\_R y por medio de la Herramienta *curvature*, la cual calcula la tasa de cambio de la pendiente o la segunda derivada de la superficie de cada celda.

La herramienta *Curvature* calcula el valor de la derivada segunda de la superficie de entrada celda por celda. Para cada celda, una transformación polinómica de cuarto orden de la forma:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

Se ajusta a una superficie compuesta por una ventana de 3x3. Los coeficientes a, b, c, etc. se calculan a partir de esta superficie.<sup>25</sup>

Cabe aclarar que los modelos SLOPE\_R y CURVATU\_R, tuvieron que ser reclasificados en SLOPE\_REL\_R y CURVA\_REL\_R, según los intervalos descritos en las tablas 5 y 6, y que elementalmente son necesarios para cada uno de los modelos en este estudio, ya que los generados en primera instancia por ArcGis 10 no cumplían esta condición, además se les asignó el respectivo puntaje

---

<sup>25</sup>Descripción tomada de *ArcGisResource Center-Ayuda*, en la sección *Conceptos del conjunto de herramientas de Superficie*

a cada intervalo de dichos modelos, puntaje que fue incorporado en un nuevo campo dentro de la tabla de propiedades de cada modelo, y se denominó VALOR en ambos casos.

Con los modelos SLOPE\_R y CURVATU\_R ya reclasificados, se procedió a la suma de su campo VALOR y la obtención del modelo RELIEV\_R, el cual servirá como insumo para el modelo final de amenaza.

Reclasificando los intervalos del modelo RELIEV\_R según la tabla 7, se presenta para finalizar este parámetro su respectivo mapa de amenaza.

### 2.3. Modelamiento parámetro D

La realización del modelo del parámetro drenaje (D), constó de diversas fases, pues como se menciona el proceso de evaluación de D, este está compuesto por varios factores, para iniciar se hizo un mapa de drenajes DREN\_UR de la zona de estudio tomando como base TOPOGRAFIA.dwg suministrado por la CDMB, mapa cuya extensión resultante fue .shp y el cual es una representación gráfica del drenaje tanto urbano como natural presente en la zona y que nos permite darnos una mejor idea del comportamiento de los flujos hídricos del área de estudio.

Siguiendo con el procedimiento para el cálculo del factor Dd, se trabajó sobre el modelo RIOSLIN.shp y CUENCAS.shp ambos esc. 1:25000 suministrados por el POT de Bucaramanga, del primero se aisló el tramo correspondiente a nuestra zona de la Quebrada Albania, tramo que corresponde al nacimiento de sus tributarios en el nororiente de la fig. 7, los cuales le dan al cauce principal un orden de 3 y que termina en la intersección con la llegada de un segundo cauce tributario orden 2 y aproximadamente a 1800 m agua arriba de la intersección con la Quebrada La Iglesia, obteniendo así el modelo CAUCE\_PPAL.shp; del segundo se aisló el área de la micro-cuenca que está definida por las líneas divisorias de

aguas hacia la línea de corriente obtenida anteriormente, y que hace parte de la Cuenca del Rio de Oro y cuyo resultado fue el modelo A\_MICROCUEENCA.

La obtención del factor P<sub>pc</sub> se hizo basándonos en el modelo SLOPE\_R creado en este estudio, el cual se reclasificó en los rangos propuestos por RAMIREZ, obteniéndose el modelo SLOPE\_DRE\_R; finalmente la elaboración del modelo del parámetro D se hizo intersecando las características de los factores descritos y asignándoles un campo VALOR, tal y como se muestra en la tabla 10, dando así como resultado el modelo PDRENAJE\_R con su respectivo mapa de amenaza Fig. 8

#### 2.4. Modelamiento parámetro V

El modelamiento de V se realiza en tres partes: la primera tomando como datos insumo fotografías aéreas, estudios de campo y el plano TOPOGRAFIA.dwg, el último suministrado por la CDMB y en el cual se encuentra el dibujo de algunas estructuras<sup>26</sup> realizadas por el hombre, con base en ello se realiza el dibujo del modelo utilizando el software AutoCAD 2010, obteniendo el mapa Vegetacion.dwg, el cual se convierte y exporta en formato shape como vegetacion.shp, para finalizar esta parte, vegetacion.shp se convierte a modelo raster con tamaño de celda de 3m tomando como insumo sus categorías por medio del software ArcGis 10, obteniendo VEGETA\_R. La segunda parte abarca la reclasificación del modelo SLOPE\_R<sup>27</sup>, el cual es fuente de los autores en los rangos de la tabla 11 obteniendo SLOPE\_VEG\_R. La última parte de este modelamiento abarca el cruce de VEGETA\_R Y SLOPE\_VEG\_R al que se le asigna un nuevo campo de atributo VALOR a cada uno de los rangos resultantes

---

<sup>26</sup>Tales como Vías de comunicación, viviendas y redes de drenaje.

<sup>27</sup> Modelo correspondiente a la pendiente en grados y formato raster elaborado a partir del DEM por los autores.

de la intersección, en VALOR se le incorporan los puntajes de calificación de V presentados en la tabla 11 y cuyo resultado final fue el modelo FVEGETAC\_R.

## 2.5. Modelamiento parámetro E.

El modelamiento de E parte de fotografías aéreas<sup>28</sup>, estudio de campo y además el plano TOPOGRAFIA.dwg suministrado por la CDMB y en el cual se encuentra la referencia espacial del área de estudio, con base en las fuentes mencionadas, se realiza el dibujo del modelo utilizando el software Autocad 2010 y obteniendo el mapa EROSION.dwg, posteriormente se convierte y exporta a formato .shp, dando como resultado el archivo Erosion.shp; por medio del software ArcGis 10, Erosion.shp se convierte a modelo raster con tamaño de celda de 3m tomando como insumo sus categorías y para finalizar se le asigna en nuevo campo de atributo VALOR en el que se le incorporan los puntajes de calificación de E con base en la tabla 12 y cuyo resultado final fue el modelo EROSION\_R.

## 2.6. Modelamiento parámetro A

El modelamiento de A como se mencionó en la descripción de su evaluación, parte de fotografías aéreas<sup>29</sup>, estudio de campo y además el plano TOPOGRAFIA.dwg suministrado por la CDMB y en el cual se encuentra la referencia espacial del área de estudio así como el dibujo de algunas estructuras<sup>30</sup> realizadas por el hombre, con base en estas fuentes, se realiza el dibujo del modelo utilizando el software Autocad 2010 y obteniendo el mapa Factor\_Antropico.dwg, posteriormente se convierte y exporta a formato .shp dando como resultado el archivo Factor\_antropico.shp; por medio del software ArcGis 10, Factor\_Antropico.shp se convierte a modelo raster con tamaño de celda de 3m tomando como insumo sus categorías y para finalizar se le asigna en nuevo

---

<sup>28</sup> Tomadas de Google Earth y otras suministradas por el Ingeniero Edgar Rojas.

<sup>29</sup> Tomadas de Google Earth y otras suministradas por el Ingeniero Edgar Rojas.

<sup>30</sup> Tales como Vías de comunicación, viviendas y redes de drenaje.

campo de atributo VALOR en el que se le incorporan los puntajes de calificación de A con base en la tabla 13 y cuyo resultado final fue el modelo FANTRO\_R

## 2.7. Modelamiento parámetro S.

Como se observó en la descripción del proceso de evaluación de S, el parámetro sismo depende en su mayor parte de las condiciones de la zona de estudio, condiciones en su mayoría físicas, por lo cual para la elaboración del modelo se partió del modelo SLOPE\_R un subproducto del DEM de la zona, ambos fuente propia, A SLOPE\_R se le aplicó la herramienta Block Statics, la cual se encuentra dentro del ArcToolBox como del tipo de análisis espacial del software ArcGis 10, con esta herramienta pudimos calcular la pendiente relativa  $\Delta i$  entre dos celdas consecutivas pues, *El Bloque de Estadísticas de la herramienta realiza una operación de barrio que calcula una estadística de las celdas de entrada dentro de un conjunto fijo de no superposición de ventanas o barrios. La estadística (por ejemplo, máxima, media o suma) se calcula para todas las celdas de entrada contenidos dentro de cada barrio*<sup>31</sup>, para nuestro caso la estadística utilizada es la de range la cual mide la variación entre una celda y su vecino definido, así pudimos hallar el respectivo puntaje del factor x, teniendo en cuenta las ecuaciones (i.a, i.b, i.c) y se reclasificaron como se ve en la tabla 15 y asignando esta reclasificación en un nuevo campo VALOR, obtuvimos el modelo X\_SISMO\_R.

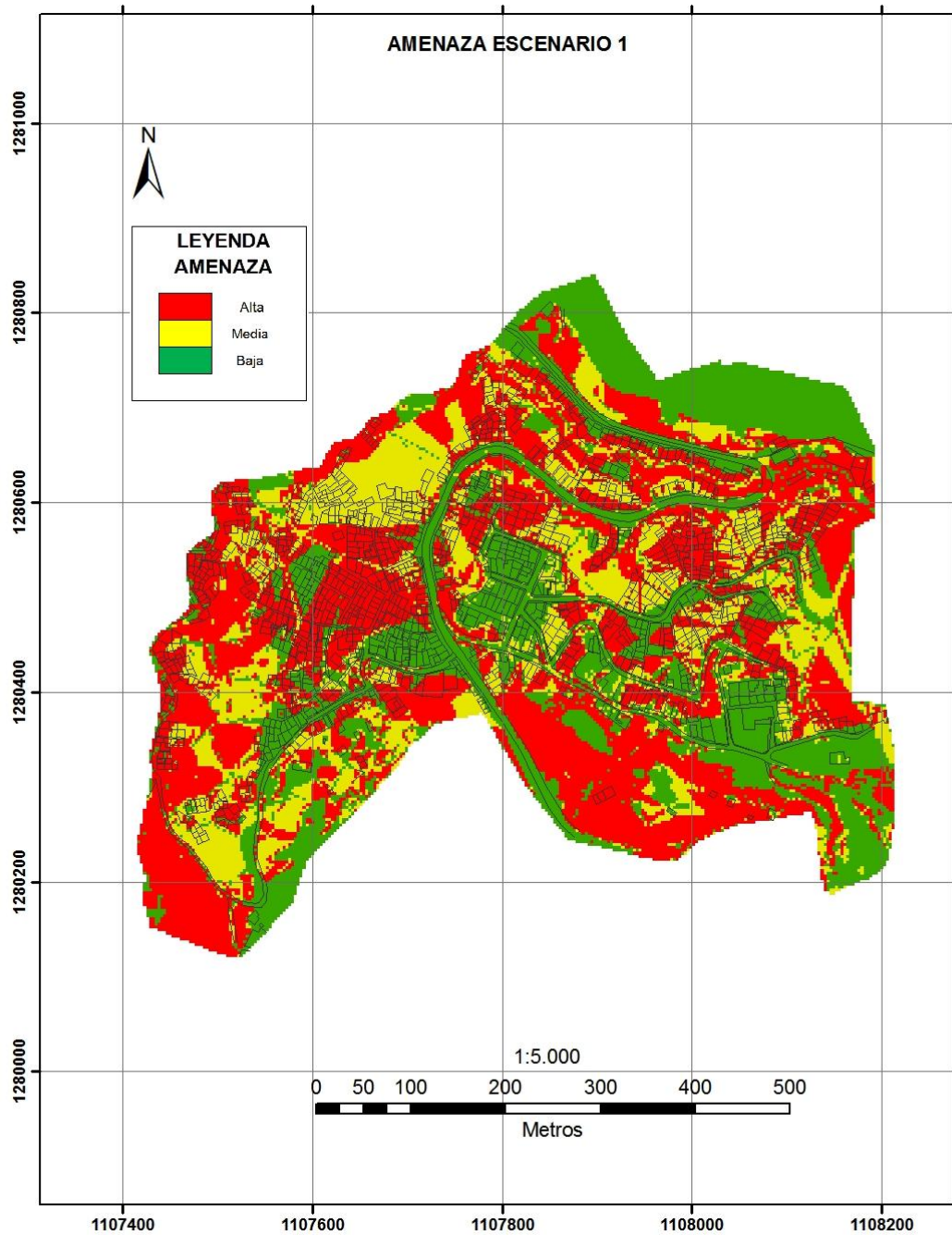
X\_SISMO\_R y el factor  $A_m = 0.3$  se incluyeron dentro de la ecuación (ii), el resultado obtenido allí se evaluó en la ecuación (iii), para así obtener el puntaje del parámetro sismo el cual se almacenó en un nuevo campo VALOR en el respectivo modelo PSISMO\_R. tabla 15.

---

<sup>31</sup>Traducido de ESRI help [http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/An\\_overview\\_of\\_the\\_Local\\_tools/009z0000007p000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/An_overview_of_the_Local_tools/009z0000007p000000/)

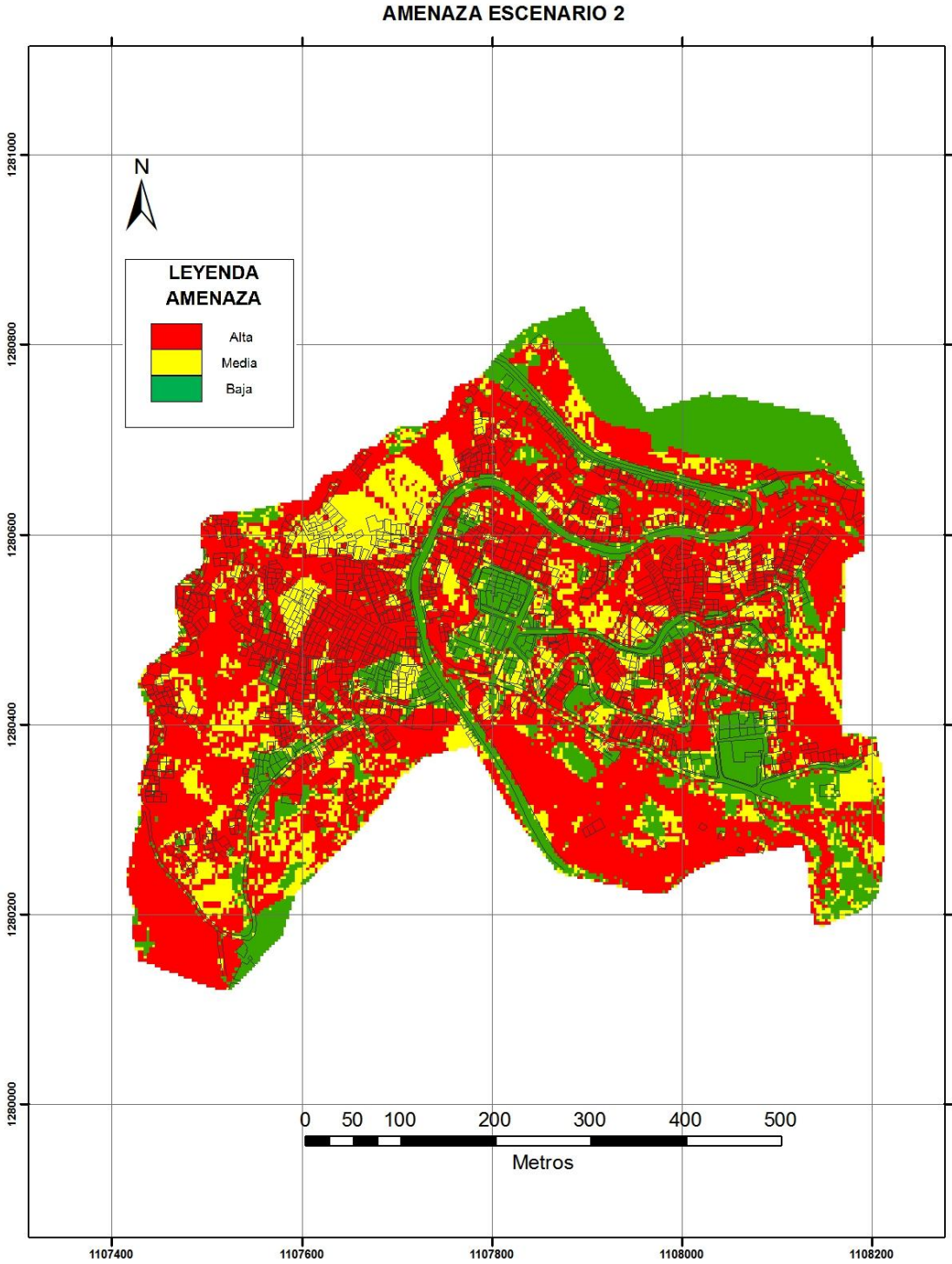
## ANEXO C. MAPAS DE EVALUACIÓN DE AMENAZA

### 3.1. MAPA DE EVALUACIÓN DE AMENAZA ESCENARIO 1



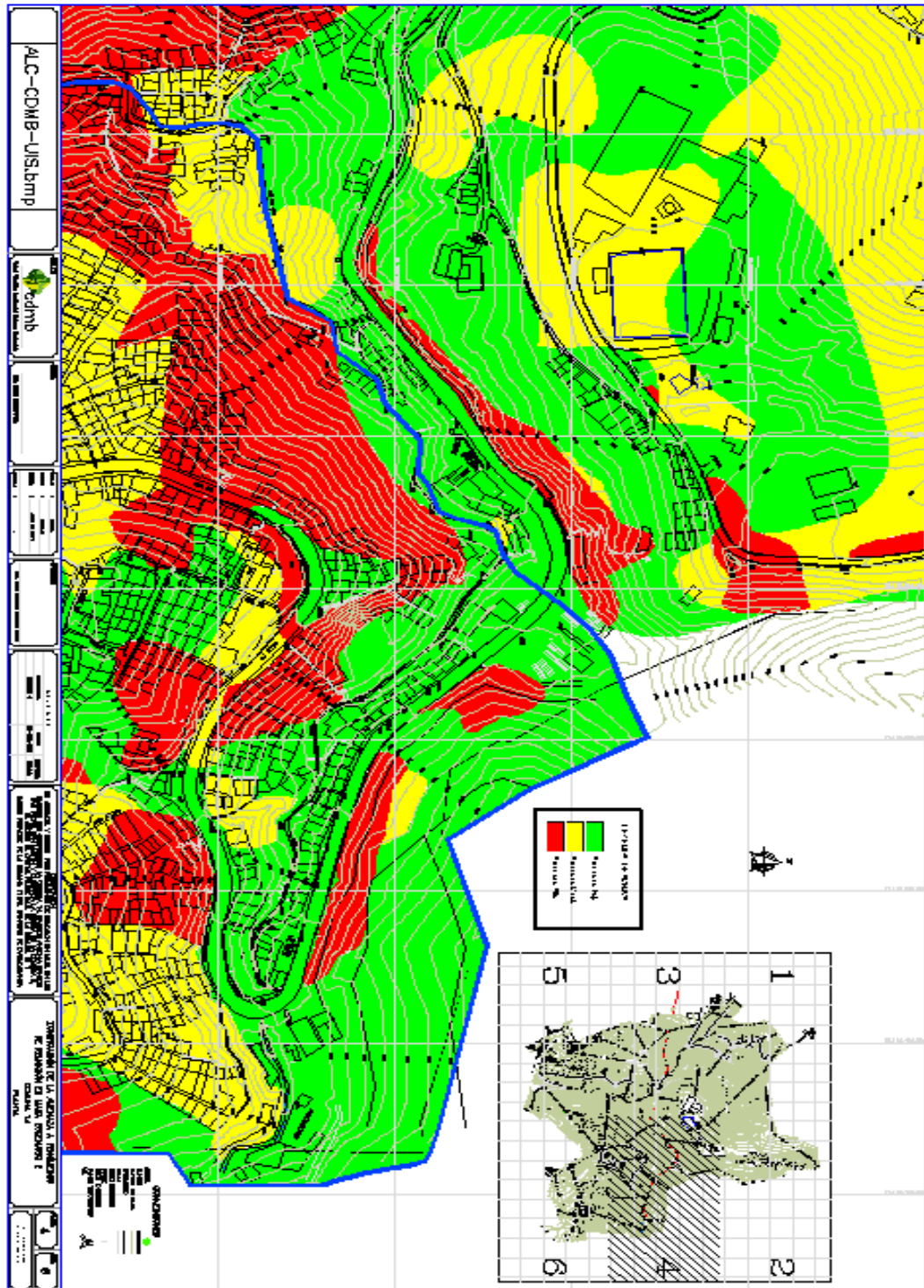
Fuente: Autores.

3.2. MAPA DE EVALUACIÓN DE AMENAZA ESCENARIO 2

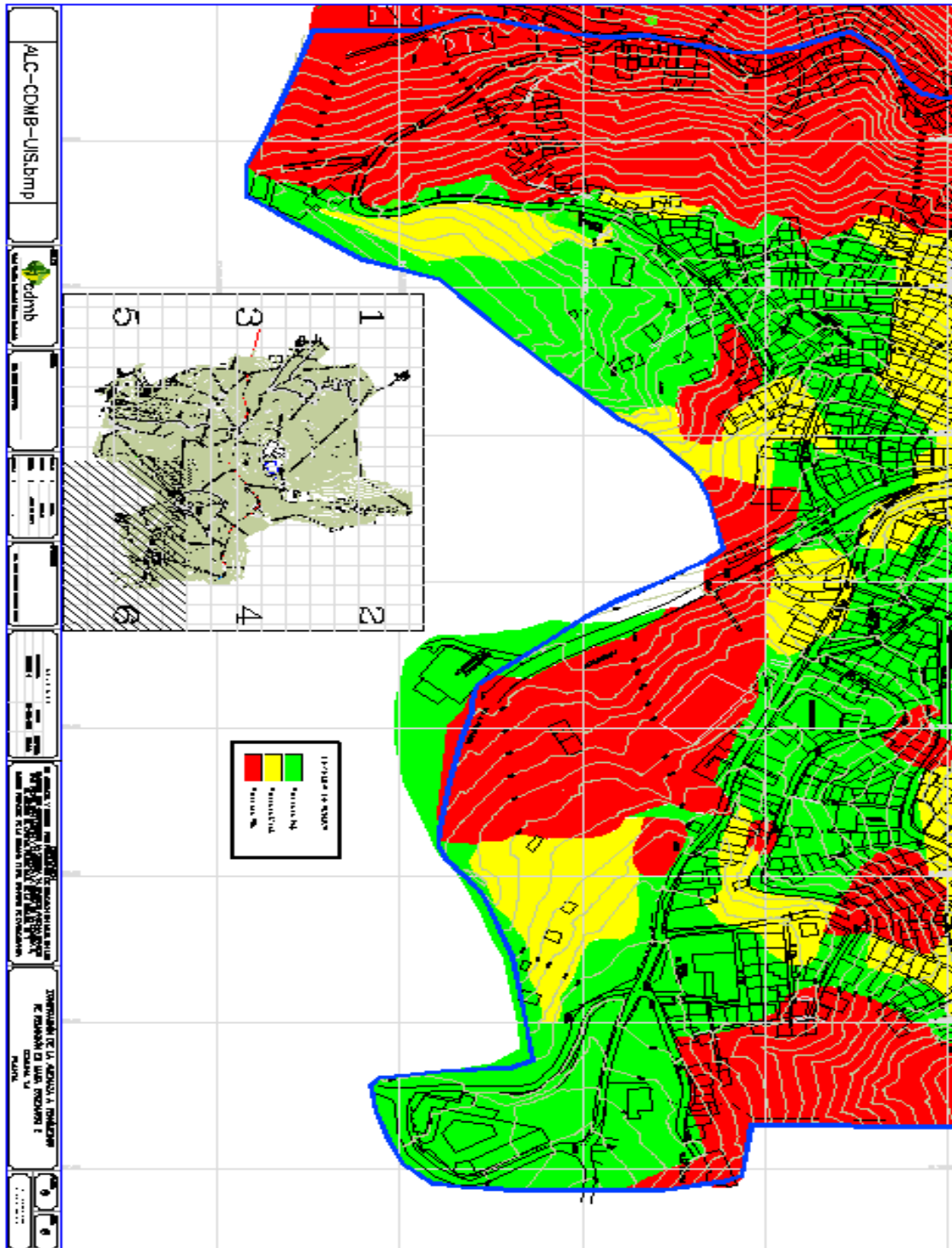


Fuente: Autores.

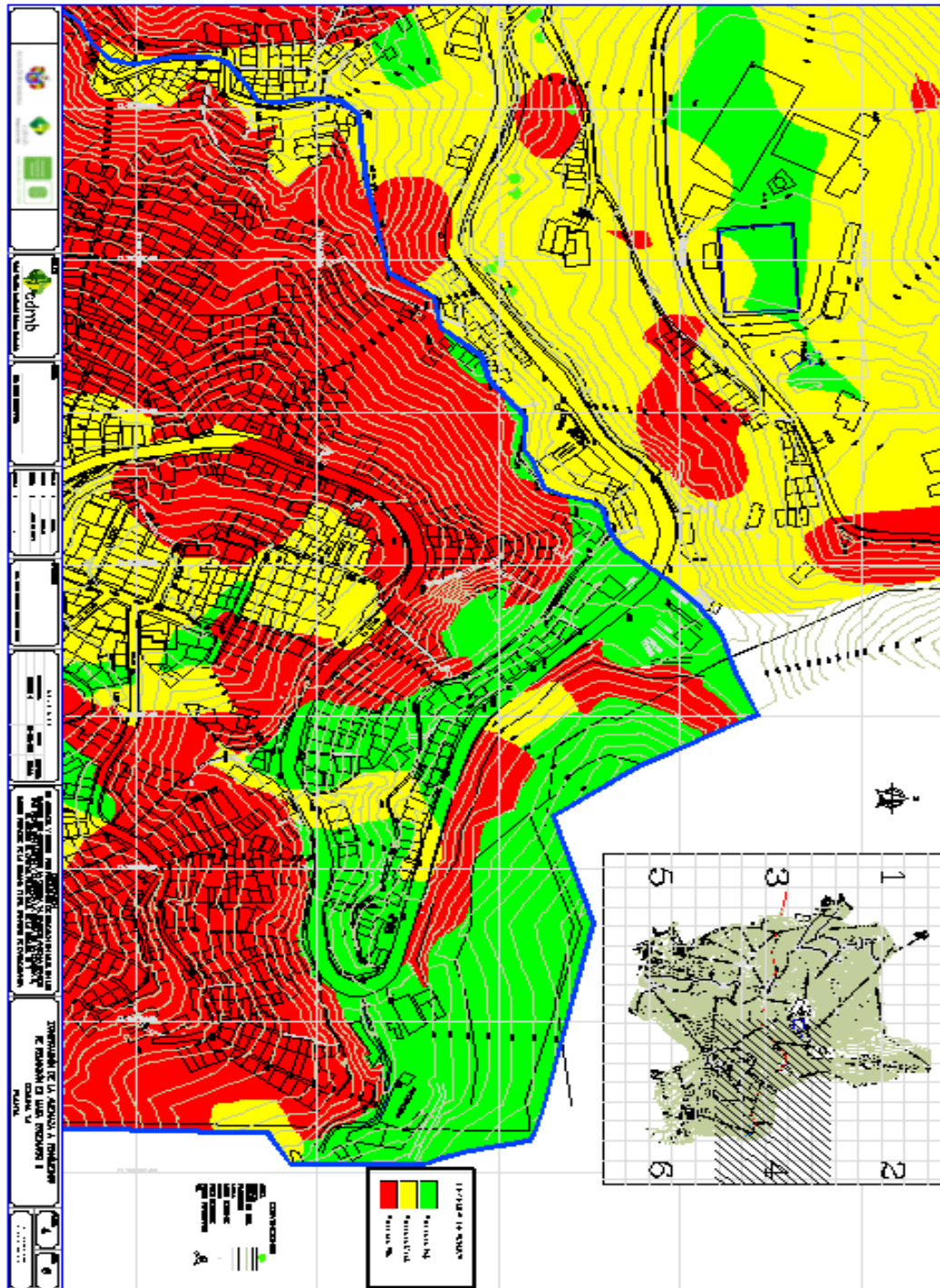
### 3.3. MAPA DE VALUACIÓN DE AMENAZA SUMINISTRADO POR LA CDMB ESCENARIO 2



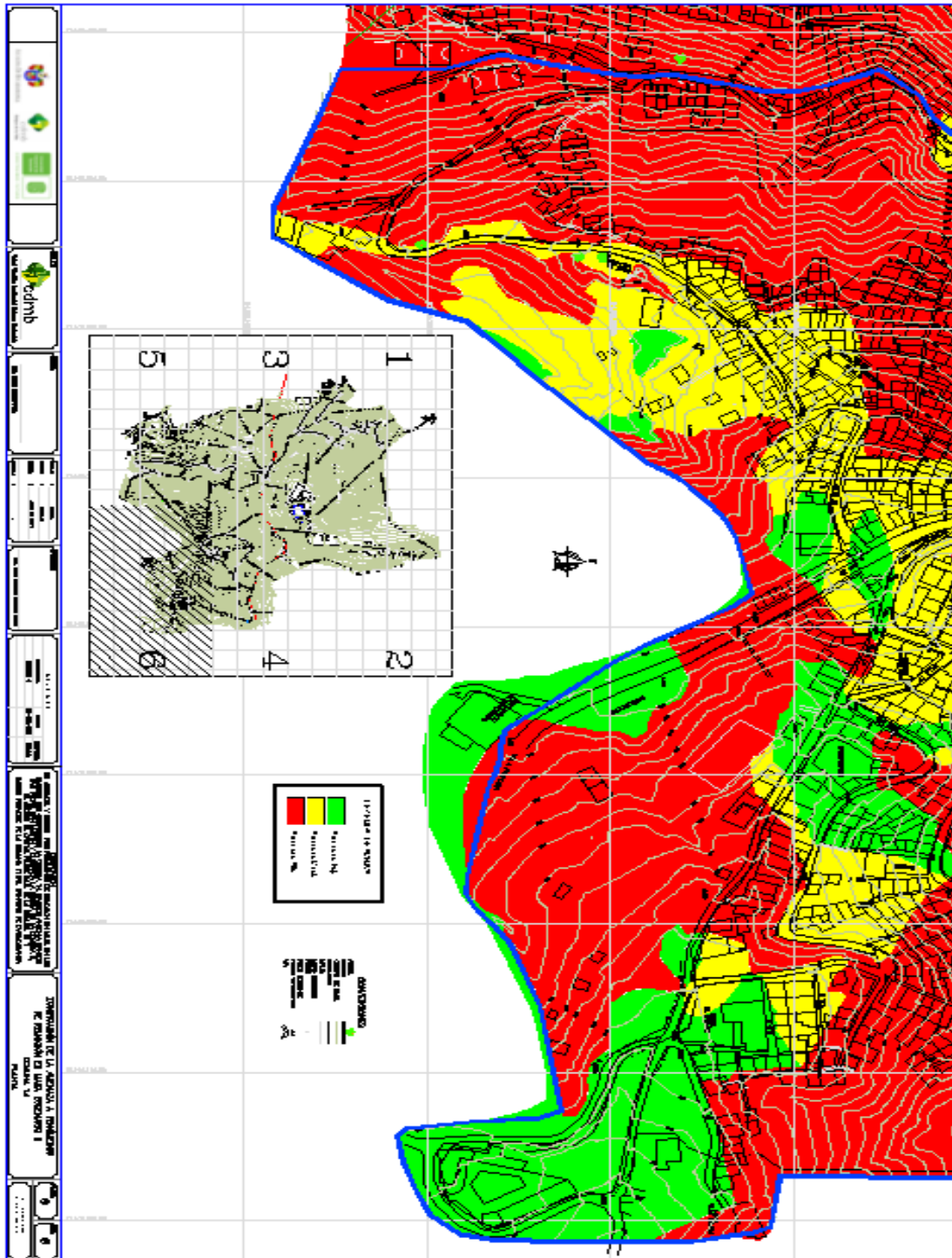
### 3.4. MAPA DE EVALUACIÓN DE AMENAZA SUMINISTRADO POR LA CDMB ESCENARIO 2



### 3.5. MAPA DE EVALUACIÓN DE AMENAZA SUMINISTRADO POR LA CDMB ESCENARIO 3

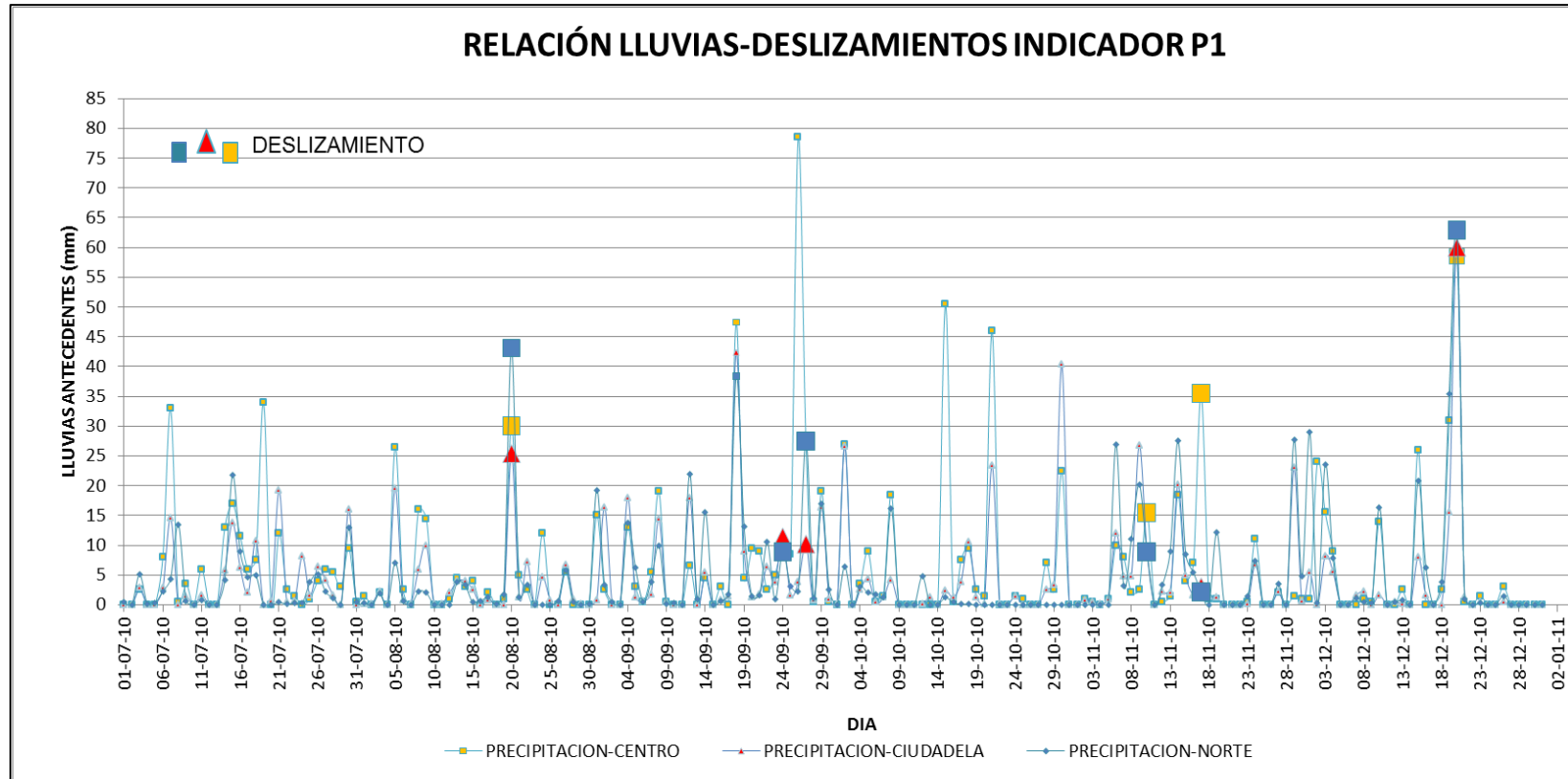


### 3.6. MAPA DE EVALUACIÓN DE AMENAZA SUMINISTRADO POR LA CDMB ESCENARIO 3



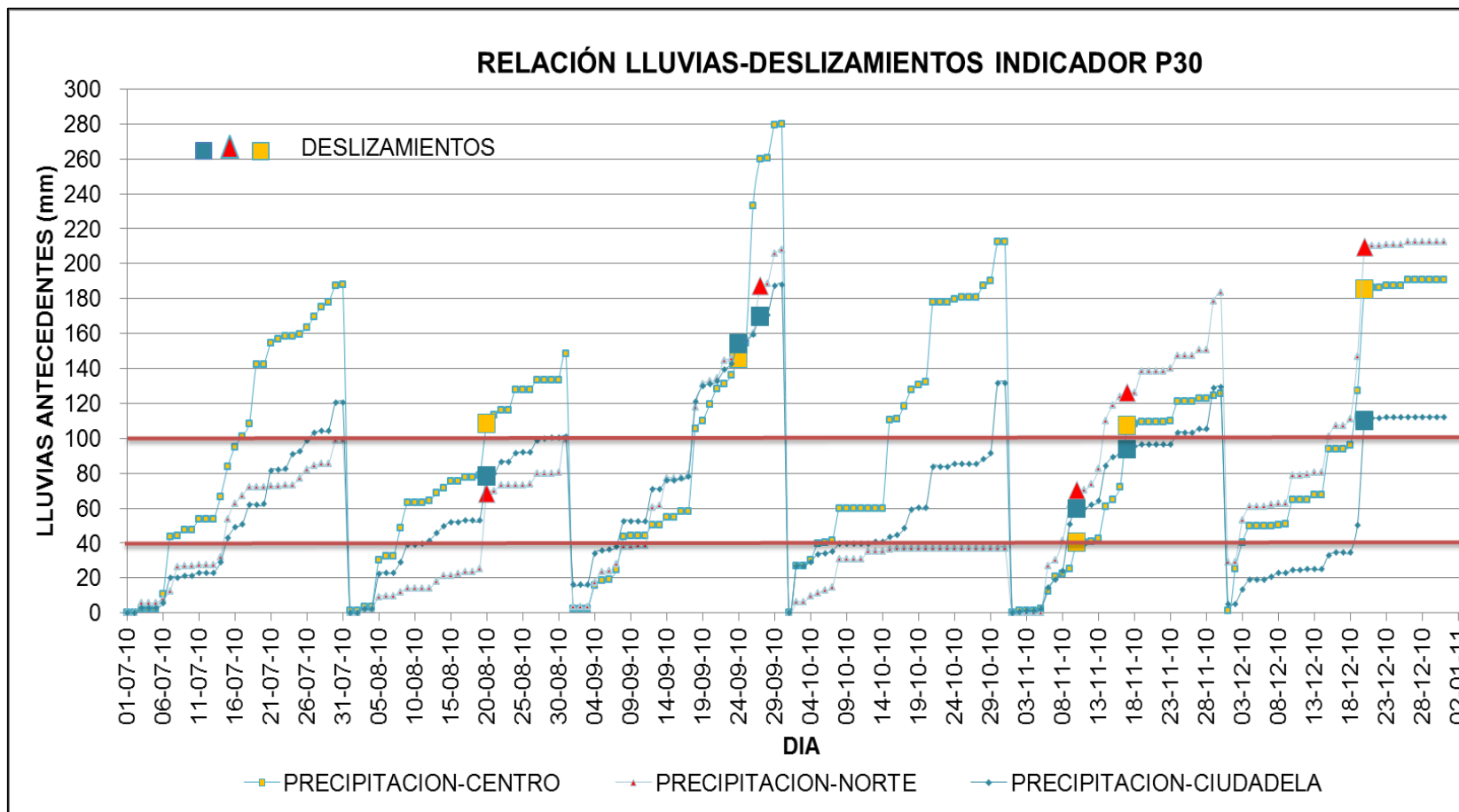
## ANEXO D. GRAFICAS RELACION LLUVIAS DESLIZAMIENTOS

Relación lluvias-deslizamientos indicador P1



Fuente: Autores.

Relación lluvias-deslizamientos indicador P30



Fuente: Autores.