

SERVICIO  
GEOLÓGICO  
COLOMBIANO



**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN  
No. 009 DE 2013**

***MEMORIA EXPLICATIVA DE LA ZONIFICACION DE LA  
SUSCEPTIBILIDAD Y LA AMENAZA RELATIVA POR  
MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000  
PLANCHA 137 – EL COCUY***

**Bucaramanga, Mayo de 2014**



**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN  
No. 009 DE 2013**

**MEMORIA EXPLICATIVA DE LA ZONIFICACION DE LA  
SUSCEPTIBILIDAD Y LA AMENAZA RELATIVA POR  
MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000  
PLANCHA 137 – EL COCUY**

**EQUIPO EJECUTOR – UNIVERSIDAD**

**M.Sc Sait Khurama Velásquez**  
Dirección Proyecto  
**M.sc Francisco Velandia P.**  
Dirección Técnica Proyecto  
**Geol. Jorge Leonardo Chaparro C.**  
**Geol. Jesús Leonardo Rincón J.**  
**Geol. Leonardo Palmera S.**  
Geología y Geomorfología  
**Ing. Luis Eduardo Moreno**  
**Geol. Isabel Cristina Ardila P.**  
Catálogo Histórico e Inventario de  
Movimientos en Masa  
**Ing. Graciela Garzón**  
Cobertura de la Tierra  
**Ing. Jeiner Yobany Buitrago**  
Suelos Edáficos  
**Geol. Nardy Liliana Neiza**  
**Ing. Nicolás Bayona Cesarino**  
Sistema de Información Geográfica

**EQUIPO ASESOR – SGC**

**Ing. Gloria Lucía Ruíz**  
Supervisión Convenio  
**Geol. Sofía del Rosario Navarro**  
Coordinadora Grupo Técnico  
**Geol. Sofía del Rosario Navarro**  
**Ph.D. Mario Andrés Cuellar**  
**Geol. Jorge Arturo Castro**  
**Geol. Gustavo Adolfo Trejos**  
Geología y Geomorfología  
**Ing. Claudia Paola Albadán**  
Catálogo Histórico e Inventario de  
Movimientos en Masa  
**Ing. Karol Constanza Ramírez**  
Cobertura de la Tierra  
**Ing. Carlos Andrés Gamboa**  
Suelos Edáficos  
**Ing. Jesús Hernando Sandoval**  
**Ing. Luis Antonio Barrera**  
Sistema de Información Geográfica

**Bucaramanga, Mayo de 2014**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>11</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>12</b>
<b>CONTEXTO GENERAL DE LOS ESTUDIOS .....</b>	<b>13</b>
<b>1. METODOLOGÍA APLICADA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
1.1.1 Susceptibilidad Muy Alta .....	19
1.1.2 Susceptibilidad Alta .....	20
1.1.3 Susceptibilidad Media.....	20
1.1.4 Susceptibilidad Baja .....	21
1.1.5 Susceptibilidad Muy Baja .....	22
<b>1.2 SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
1.2.1 Susceptibilidad Muy Alta .....	24
1.2.2 Susceptibilidad Alta .....	24
1.2.3 Susceptibilidad Media.....	25
1.2.4 Susceptibilidad Baja .....	25
1.2.5 Susceptibilidad Muy Baja .....	26
<b>1.3 SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS .....</b>	<b>27</b>
1.3.1 Susceptibilidad Alta .....	27
1.3.2 Susceptibilidad Media.....	28
1.3.3 Susceptibilidad Baja .....	28
1.3.4 Susceptibilidad Muy Baja .....	29
<b>1.4 SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURAS DE LA TIERRA.....</b>	<b>30</b>
1.4.1 Susceptibilidad Alta .....	31
1.4.2 Susceptibilidad Media.....	31
1.4.3 Susceptibilidad Baja .....	32
1.4.4 Susceptibilidad Muy Baja .....	32
<b>1.5 EVALUACIÓN DE DETONANTES.....</b>	<b>33</b>
1.5.1 Detonante Climático.....	33
1.5.2 Detonante Sismo .....	36
<b>2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....</b>	<b>40</b>

<b>2.1</b>	<b>SUSCEPTIBILIDAD</b> .....	<b>40</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Susceptibilidad Muy Alta</b> .....	<b>40</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Susceptibilidad Alta</b> .....	<b>42</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Susceptibilidad Media</b> .....	<b>43</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Susceptibilidad Baja</b> .....	<b>44</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Susceptibilidad Muy Baja</b> .....	<b>44</b>
<b>2.2</b>	<b>AMENAZA RELATIVA TOTAL</b> .....	<b>45</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Amenaza Muy Alta</b> .....	<b>45</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Amenaza Alta</b> .....	<b>47</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Amenaza Media</b> .....	<b>47</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>49</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Mapa de localización de la Plancha 137 – Cocuy.....	11
<b>Figura 2.</b> Mapa de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa a Escala 1:500.000 para la Plancha 137 – Cocuy. Adaptado de las Planchas 5 - 06 y 5 - 07 (SGC, 2010).....	13
<b>Figura 3.</b> Diagrama metodológico para zonificación de la amenaza nacional por movimientos en masa escala 1:100.000, modificado del Estudio Zonificación de la amenaza por movimientos en masa escala 1:500.000 INGEOMINAS 2010 en SGC, 2013. ....	17
<b>Figura 4.</b> Calificación de la susceptibilidad de la variable Geología.....	23
<b>Figura 5.</b> Calificación de la susceptibilidad de la variable Geomorfología.....	26
<b>Figura 6.</b> Calificación de la susceptibilidad de la variable Suelos Edáficos.....	30
<b>Figura 7.</b> Calificación de la susceptibilidad de la variable Cobertura de Tierra.....	33
<b>Figura 8.</b> Mapa final del detonante por Factor Clima.....	36
<b>Figura 9.</b> Mapa final del detonante por Factor Sismo.....	39
<b>Figura 10.</b> Mapa de susceptibilidad total para la Plancha 137 – El Cocuy.....	40
<b>Figura 11.</b> Mapa de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa de la Plancha 137 – El Cocuy.....	46

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Insumos suministrados para el proyecto de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa. Escala 1:100000. ....	18

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Susceptibilidad por geología
- Anexo B.** Susceptibilidad por geomorfología
- Anexo C.** Susceptibilidad por suelos
- Anexo D.** Susceptibilidad por coberturas de la tierra
- Anexo E.** Amenaza por detonante clima
- Anexo F.** Amenaza por detonante sismo

## RESUMEN

En esta memoria explicativa se ofrecen los resultados correspondientes a la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, generada para la Plancha 137 – El Cocuy, departamentos de Arauca, Boyacá y Santander, fundamentados en la metodología referida en el “Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000” versión 2013, elaborados por el Servicio Geológico Colombiano.

La Plancha 137 – El Cocuy corresponde principalmente al Departamento de Boyacá y parte a los departamentos de Arauca y Santander. Incluye en su totalidad al Municipio El Espino, así como el área urbana y algunas veredas de los municipios de Guacamayas, Panqueba, El Cocuy, Chiscas y Güicán – Departamento de Boyacá. Adicionalmente, algunas áreas rurales de los municipios de Concepción, Carcasí y Macaravita (Departamento de Santander) y los municipios de Tame, Cubará y San Mateo (Departamento de Arauca).

El Servicio Geológico Colombiano (2013) ha establecido para estos estudios una metodología para la generación del mapa de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa donde se utilizan variables cualitativas y cuantitativas, dentro de las variables cualitativas se encuentra la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra y dentro las variables cuantitativas se encuentran la pendiente, longitud de la pendiente, rugosidad y variables referidas a la cuenca, las cuales se derivan de un modelo digital de elevación desarrollado para esta plancha.

A partir de las variables citadas, se realiza un análisis multicriterio que involucra la utilización de datos geográficos, debiendo establecer las preferencias y combinaciones (o agregaciones) de los datos, de acuerdo a reglas de decisiones específicas articulando métodos heurísticos que se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de movimientos en masa todo lo cual es implementado en un sistema de información geográfica.

Empleando funciones que involucran factores detonantes de tipo clima y sísmico, se generó la zonificación de amenaza, definiéndose para esta plancha tres categorías de amenaza: media, alta y muy alta, siendo la amenaza media la de mayor ocurrencia con un cubrimiento del 67,99% de la superficie total.



## ABSTRACT

This explanatory document provides results of the susceptibility and relative hazard zoning by mass movement for the sheet 137 – El Cocuy, Arauca, Boyacá y Santander departments, based on the methodology referred in “Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000” 2012 and 2013 versions, prepared by the Servicio Geológico Colombiano through the project executing group.

Of the total surface of the sheet 137 – El Cocuy, most corresponds to part of the of Boyacá Department territory and a minimal part to the departments of Arauca and Santander, includes the municipalities of El Espino, Guacamayas, Panqueba, El Cocuy, Chiscas, Güicán, Concepción, Carcasí, Macaravita, Tame, Cubará and San Mateo.

The Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2013) has established a methodology for the generation of maps of susceptibility and relative hazard by mass movements, where use qualitative and quantitative variables for these studies, the qualitative variables are the geology, geomorphology, soils and land cover, and the quantitative variables are the slope, length of the slope, roughness and variables related to the basin, These latest are derived from a digital elevation model developed for this map.

From the cited variables, is developed a multicriteria analysis that involves the use of geographic data, establish preferences and combinations (or aggregations) data, according to specific rules of decisions and articulating heuristic methods, which are based on categorize and ponder the causing factors of instability according to the expected influence of these respect generation of mass movements, all is implemented in a geographic information system.

Using functions that involve climate and seismic detonating factors, obtained the hazard zoning, defining for this map three categories of Hazard: Medium, High and Very High, being the high hazard level of most occurrence with coverage of the 63.388% of the total surface of the sheet 137 – El Cocuy.

## INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de movimientos del terreno ha demandado la necesidad de entender mejor tales situaciones teniendo en cuenta los efectos contraproducentes que se derivan de ellos; los términos, movimientos en masa, se refieren en general a todo tipo de movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991 en PMA - GEMMA, 2007). Los movimientos en masa no solo causan el modelado de las geoformas y la modificación del paisaje, sino que en muchos casos traen consigo pérdidas humanas, ambientales y económicas.

Para distinguir estos procesos naturales se han venido desarrollando diferentes procedimientos que van desde la localización de cada uno de los sitios donde han ocurrido, con la realización de inventarios, hasta evaluar y diferenciar en el terreno las posibilidades del terreno a sufrir algún tipo de movimiento con base en estimar la incidencia de la combinación de factores, en principio del orden natural e intrínsecos, que finalmente pueden ser modelados por medio de mapas de zonificación de la susceptibilidad o la amenaza por movimientos en masa.

El concepto de susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa se refiere a la evaluación cuantitativa y cualitativa de una región en la que existen o pueden existir deslizamientos (SGC, 2013). La estimación de la susceptibilidad se basa en la correlación entre los factores o variables que contribuyen principalmente en la formación de los movimientos del terreno, determinándose así la relación entre las condiciones del terreno y la ocurrencia de los movimientos en masa.

La ocurrencia o no de un determinado movimiento en masa depende de que se presente un evento detonante, el cual está normalmente asociado a una situación climática especial como el régimen especial de lluvias, o a un evento sísmico cercano o a un evento volcánico, para mencionar solamente algunos factores de índole natural. Los aspectos climáticos, y en particular la intensidad, duración y acumulación de lluvias en el tiempo, pueden favorecer la inestabilidad del terreno, al aportar una suficiente cantidad de agua, que genera saturación superficial o subsuperficial de suelos o rocas, mientras que la sismicidad mediante las vibraciones provocadas por sismos, pueden ser lo suficientemente fuertes como para generar movimientos de tierra de diversa

magnitud, afectando extensas áreas y configurándose en una situación de peligro o amenaza para los sitios de mayor propensión a movimientos en masa.

La zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa, tiene en cuenta la influencia de la susceptibilidad del terreno de distintas variables, con respecto a los factores detonantes de clima (temperatura media anual, precipitación media anual y lluvia máxima diaria) y sismo.

La elaboración del Mapa de Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa de la Plancha 137 – El Cocuy, hace parte del “Mapa Nacional de amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000”, esta cartografía busca mejorar la resolución de los productos nacionales de susceptibilidad y de amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:500.000, obtenidos por el INGEOMINAS en el año 2010.

## LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

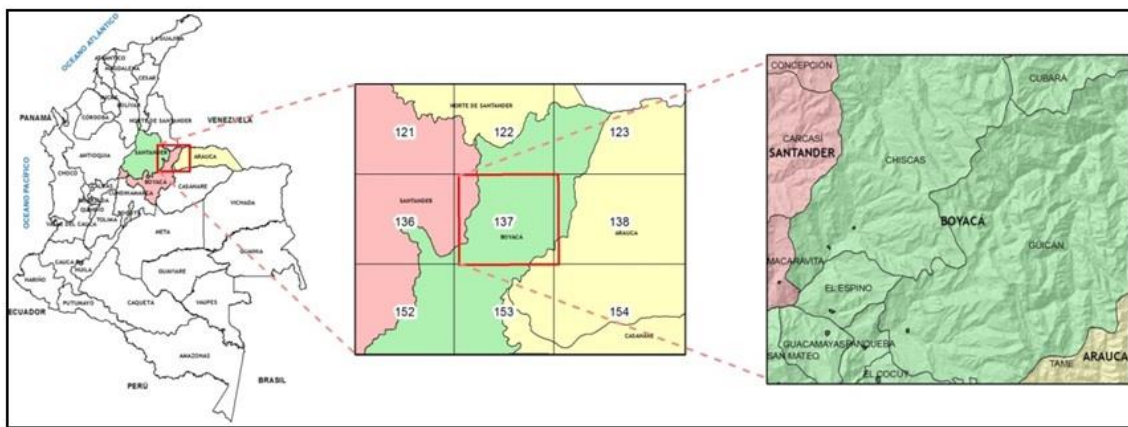
El área de estudio se ubica al nororiente de Colombia; sobre la Cordillera Oriental, en la Sierra Nevada de El Cocuy. Políticamente comprende los departamentos de Boyacá, Santander y Arauca (Figura 1). La zona que corresponde con la Plancha 137 – El Cocuy según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1: 100.000, tiene 1800 km<sup>2</sup> y está limitada en Datum Magna Sirgas origen en la zona este:

NW: X: 835.000 – Y: 1'240.000

NE: X: 880.000 – Y: 1.240.000

SW: X: 835.000 – Y: 1.200.000

SE: X: 880.000 – Y: 1.200.000



**Figura 1.** Mapa de localización de la Plancha 137 – Cocuy.

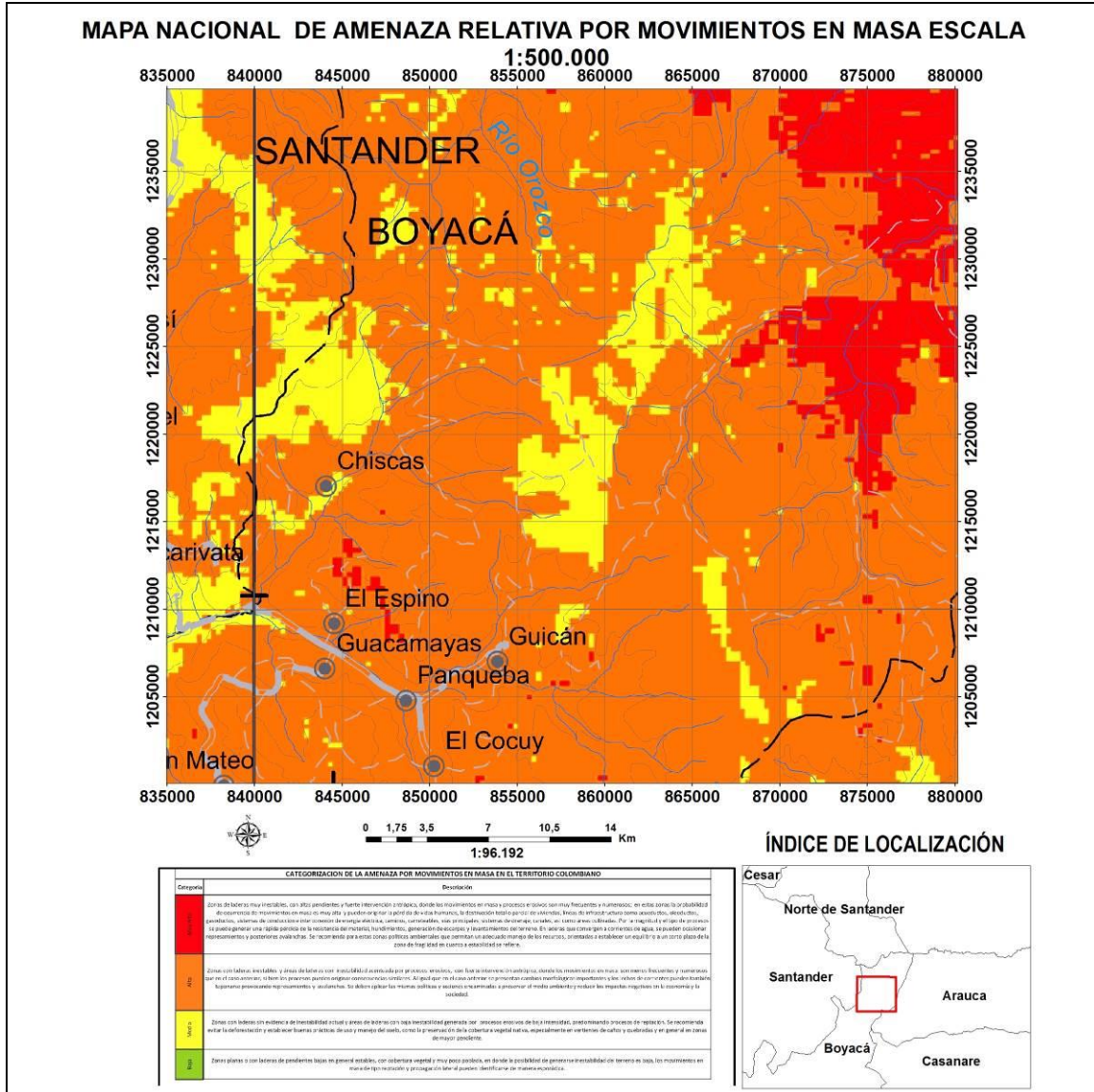
## ANTECEDENTES

En el mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:500.000 generado por INGEOMINAS (2010), los niveles de amenaza relativa que se presentan en la Plancha 137 – El Cocuy, corresponden a tres categorías muy alta, alta y media, donde la categoría alta cubre la mayor área, convirtiéndose así, en la categoría más representativa para el área de trabajo (Figura 2).

Las zonas clasificadas como media se distribuyen de forma muy heterogénea, principalmente en el sector occidental, aunque también se halla presente en la región central y el borde suroriental. Esta región se encuentra asociada a zonas con cierta evidencia de inestabilidad actual, generada, principalmente por procesos erosivos de tipo socavación y laminar, junto a movimientos en masa de pequeñas extensiones (caídas y deslizamientos, principalmente). Se recomienda evitar la deforestación y establecer buenas prácticas de uso y manejo del suelo, como la preservación de la cobertura vegetal nativa, especialmente en vertientes de caños y quebradas y en general en zonas de mayores pendientes.

El rango de calificación alta, como se mencionó anteriormente, corresponde a la categoría más representativo de la Plancha 137 – El Cocuy, ubicada, principalmente en el sector central de la misma, así como en las partes altas y media de la Sierra Nevada de El Cocuy. Corresponde a zonas con laderas inestables y áreas de laderas con inestabilidad acentuada por procesos morfodinámicos, expresados en movimientos en masa (de tipo deslizamiento y caída de material) junto a procesos de meteorización y procesos erosivos (de tipo surcos y cárcavas) de intensidades moderadas a severas. Se deben aplicar las mismas políticas y acciones, encaminadas a preservar el medio ambiente y reducir los impactos negativos en la economía y la sociedad.

La clasificación muy alta corresponde a la categoría menos representativa de todas y se ubica en pequeñas áreas, distribuida en varios sectores de la misma. Se encuentra relacionada a zonas de laderas muy inestables, con altas pendientes y fuerte intervención antrópica, donde los movimientos en masa y procesos erosivos son muy frecuentes y numerosos, y en algunos casos, de grandes dimensiones. Estos procesos generan la pérdida de vidas humanas, la destrucción total o parcial de la infraestructura de la zona y la afectación al medio circundante (sector ambiental). En laderas que convergen a corrientes de agua, se pueden ocasionar represamientos y posteriores avalanchas. Se recomienda para estas zonas políticas ambientales que permitan un adecuado manejo de los recursos, orientadas a establecer un equilibrio a un corto plazo de la zona de fragilidad en cuanto a estabilidad se refiere.



**Figura 2.** Mapa de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa a Escala 1:500.000 para la Plancha 137 – Cocuy. Adaptado de las Planchas 5 - 06 y 5 - 07 (SGC, 2010).

## CONTEXTO GENERAL DE LOS ESTUDIOS

Lo que se pretende con los mapas generados en este documento, es crear una herramienta básica para los encargados de tomar decisiones en los departamentos y en las Corporaciones Autónomas Regionales (CAS, Corporinoquia y Corpoboyacá), encargados de la gestión y prevención de desastres, planes de desarrollo y ordenamiento territorial del área estudiada, con el fin de generar conciencia de la importancia que se le debe dar a los planes de prevención de riesgos, ya que la historia ha mostrado los costos tanto

en vidas humanas como económicos, que conlleva el hecho de no identificar a tiempo las zonas susceptibles y de amenaza por movimientos en masa. Finalmente se pretende que este trabajo se utilice como insumo para futuras inversiones, en proyectos de ordenamiento territorial y planes de contingencia.

Los productos de susceptibilidad y amenaza contienen seis documentos anexos, que acompañan este documento y describen con detalle la forma como se determinó la susceptibilidad a partir de cada una de las variables involucradas, los resultados obtenidos a partir del procesamiento de calificación y los datos de campo con el debido procesamiento analítico.

## 1. METODOLOGÍA APLICADA

Para el desarrollo de la metodología para la generación del mapa de amenaza relativa a movimientos en masa, se utilizó el método heurístico, el cual, permite determinar cada una de las variables a partir de consenso de profesionales nacionales e internacionales. La definición metodológica completa está minuciosamente tratada en el informe titulado “Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos En Masa Escala 1:100.000” segunda versión del año 2013 y elaborado por el Servicio Geológico Colombiano, en dicho documento se explica meticulosamente la metodología empleada que básicamente consiste en utilizar *“...variables cualitativas y cuantitativas; dentro de las variables cualitativas se encuentra la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra y dentro las variables cuantitativas se encuentran la pendiente, la longitud de la pendiente, la rugosidad y la forma de la cuenca, las cuales se derivan del modelo digital de elevación”*.

De acuerdo con esto, se requiere contar, obtener y preparar la cartografía básica o topográfica de la plancha en formato digital y análogo al igual que los de las temáticas referidas, la integración y conjunción de la información temática requiere la utilización de técnicas de decisión multicriterio por medio de lo cual se determina el Índice de Susceptibilidad de Movimientos en masa respecto a los factores propios del terreno, de otra parte, los movimientos en masa resultan de la interacción de tales factores intrínsecos del terreno que lo predisponen hacia una situación de inestabilidad (susceptibilidad), con factores extrínsecos al terreno (detonantes) que generan o desencadenan una amenaza, que en este caso específico se relaciona con los movimientos en masa, la conjunción de estas dos situaciones constituyen los mapas de amenaza por movimientos en masa.

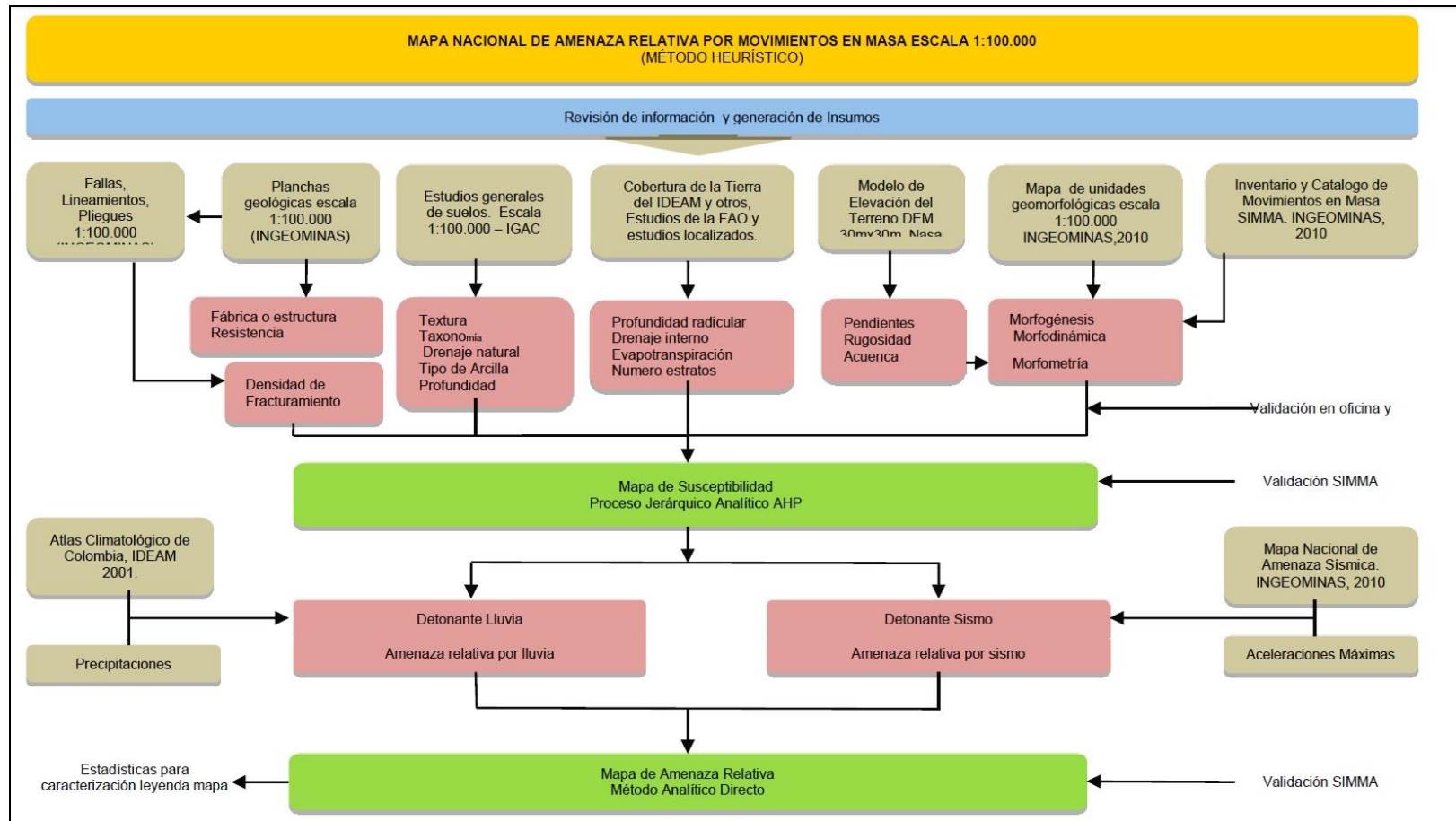
A este proceso metodológico se le asocia la información consultada y útil de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT), de las alcaldías de Concepción, Carcasí, Macaravita, Guacamayas, San Mateo, Chiscas, El Espino, Panqueba, El Cocuy, Tame, Güicán y Cubará, con el fin de ahondar más sobre información reportada en ellos, e identificar lugares previos con procesos de movimientos en masa; esto garantiza evidenciar zonas con mayores frecuencias de casos de inestabilidad en las laderas; además, los datos suministrados por el SGC que permiten la realización de esta metodología y que se describen en el diagrama

metodológico de la Figura 3 y de manera más específica los insumos, los productos intermedios y finales requeridos en el desarrollo metodológico del proyecto.

En la Tabla 1 se muestran los insumos entregados por el SGC para el desarrollo, generación e interpretación de todas las variables suscritas para la obtención de la susceptibilidad y la amenaza relativa para movimientos en masa.

A continuación se describen las variables Geología, Geomorfología, Suelos, Coberturas de la Tierra y los detonantes Climático y Sismo, utilizadas para la aplicación del modelo de zonificación.





**Figura 3.** Diagrama metodológico para zonificación de la amenaza nacional por movimientos en masa escala 1:100.000, modificado del Estudio Zonificación de la amenaza por movimientos en masa escala 1:500.000 INGEOMINAS 2010 en SGC, 2013.

**Tabla 1.** Insumos suministrados para el proyecto de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa. Escala 1:100000.

INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
Cartografía básica	1:100.000	GeoDataBase	IGAC.
Modelo digital de elevación	1 arco - segundo (30 m aproximadamente)	Raster	NASA
Fotografías aéreas	Disponibles (Escala promedio 1:40.000)	TIFF	IGAC
Imágenes Satelitales	LandSat y Spot	Digital	IGAC
Planchas de Unidades Geológicas y memorias técnicas	1:100.000	Vector	SGC
Detonante Sismo	1:100.000	Raster	SGC
Densidad de fracturamiento	1:100.000	Shape	SGC
Registros de Hidrología y Climatología de estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas como son: Temperatura media anual, precipitación anual multianual y precipitación máxima en 24 horas anual	1:100.000	Digital	IDEAM
Planchas de suelos y memoria técnica	1:100.000	Vector	IGAC
Planchas de cobertura de la tierra	1:100.000	Vector	IGAC
Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000	No Aplica	Digital	SGC
Formato de captura de datos en campo adoptado y modificado del PMA: GCA, 2007	No Aplica	Digital	SGC
Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000	No Aplica	Digital	SGC
Catálogo e inventario de movimientos en masa del Sistema de información de movimientos en masa SIMMA	No Aplica	Digital	SGC
Guía y estándares para la presentación de informes institucionales, INGEOMINAS. Versión 3	No Aplica	Digital	SGC

## 1.1 SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA

La geología es una de las principales variables que actúan en la estabilidad de las laderas o taludes; la contribución de la susceptibilidad de las rocas a movimientos en masa se realizó calificando los componentes representados en un modelo vectorial constituido por los atributos fábrica o textura, resistencia y densidad de fallas. El mapa geológico de la Plancha 137 – El Cocuy a escala 1:100.000 (Fabre *et al.*, 1985), es proporcionado por el SGC, el cual es la base para el modelamiento de los dichos atributos.

En el ANEXO A se expone con más detalle el cálculo y los resultados del procesos de calificación de la susceptibilidad de cada uno de los atributos de geología y la síntesis de esta variable en términos de susceptibilidad a los movimientos en masa.

Para la Plancha 137 – El Cocuy la susceptibilidad de la geología por movimientos en masa se presenta en la Figura 4, donde se registraron cinco categorías: muy alta, alta, media, baja y muy baja, siendo las áreas de susceptibilidad media por geología las más extensas. Cada una de estos niveles de susceptibilidad obedece a la influencia de los diferentes aspectos litológicos y estructurales que se presentan en esta plancha, caracterizados por presentar los cinco niveles de susceptibilidad hacia la zona del Macizo del Santander, mientras, el área de la Sierra Nevada de El Cocuy es más uniforme con dos categorías, alta, para las partes más elevadas de esta cadena montañosa, mientras que las zonas medias y bajas, el rango predominante corresponde a media.

A continuación se describe cada nivel de susceptibilidad.

### 1.1.1 Susceptibilidad Muy Alta

Las zonas de susceptibilidad muy alta corresponden con el 2,83% del área total de esta plancha y se localizan en los municipios de Carcasí, Macaravita, San Mateo, Chiscas, Panqueba, Cubará, Güicán y Tame. Cabe destacar que la cabecera municipal del Municipio de Güicán y la parte occidental del centro urbano del Municipio de Chiscas, se localizan sobre esta categoría de susceptibilidad.

Estas áreas corresponden a sitios muy inestables sobre material de edad reciente de tipo coluvial. A pesar de abarcar valores de densidad de fracturamiento, desde muy bajos hasta altos (con predominio de rangos bajos), estas áreas se encuentran afectadas por procesos de fallamiento de tipo inverso, correspondientes a las fallas del Río Nevado – Río Cóncavo, Río Casiano y Río Pantano Grande, así como por fallas satélites a estas; que ejercen una gran influencia para la generación de procesos morfodinámicos.

Los procesos de erosión, por su parte, son de tipo surcos, cárcavas y socavación, de intensidades moderadas a severas. Algunos de estos procesos son de especial cuidado, debido a su extensión, a su distribución espacial (sobre los diferentes cauces del sector) y a la cantidad de material que pueden llegar desplazar; los cuales, pueden a futuro, obstruir dichos drenajes.

Los movimientos en masa registrados para estas zonas son de tipo deslizamientos (traslacionales, planares y en cuña) y flujo de detritos en la vereda Tapias y en centro urbano del Municipio de Chiscas y en el centro urbano del Municipio de Güicán.

### 1.1.2 Susceptibilidad Alta

La categoría de clasificación alta cubre el 24,90% de esta plancha y se distribuye en los municipios de Concepción, Chiscas, Carcasí, Macaravita, El Espino, Guacamayas, Panqueba, San Mateo, Tame y Cubará.

El material litológico predominante corresponde a clástico consolidado, de resistencia dura a moderadamente dura, conformado por la Formación Tibú – Mercedes o Apón, la Formación Chipaque o Capacho, la Formación Guaduas y la Formación Colón – Mito Juan, (de edad Cretácico), la Formación Los Cuervos, la Formación Arcillas de Socha, la Formación Concentración y la Formación Carbonera (de edad Paleógeno); así como por depósitos cuaternarios, de tipo fluvio-glacial, morrénico y de neviza. Aunque se encuentren relacionadas a las fallas de Chiscas y Pantano Grande, así como al Sinclinal de Las Mercedes y el Anticlinal de Güicán, donde los valores de densidad de fracturamiento oscilan desde muy bajos hasta muy altos, los rangos predominantes para este atributo, sobre esta categoría, son bajos.

Los movimientos en masa son de tipo deslizamientos traslacionales y caídas de material detrítico y rocoso, principalmente, con el desarrollo de procesos erosivos de tipo surcos y cárcavas de intensidades bajas a moderadas. Se registran al sur del Municipio de Chiscas; en el sector San Joaquín del Municipio El Espino; al oeste del centro urbano del Municipio El Cocuy; en los sectores El Rosal y El Obraje del Municipio de Panqueba; en la vereda Chichimita del Municipio de Guacamayas y al norte del centro urbano del Municipio de San Mateo.

### 1.1.3 Susceptibilidad Media

Las zonas de susceptibilidad media cubren 67,06% del área total de la Plancha 137 - El Cocuy, cubriendo gran parte del borde oriental de la Sierra Nevada de El Cocuy, así como algunos pequeños sectores del borde occidental (relacionado al Macizo de Santander).

El material constituyente, corresponde en su mayoría, a material clástico cementado, de resistencia dura a moderadamente dura, pertenecientes a las diferentes formaciones del Cretácico (Formación Río Negro o Grupo Cáqueza, Formación Aguardiente o Une, Formación Los Pinos y Formación Arenisca Tierna) y del Paleógeno (Formación Barco, Formación Areniscas de Socha, Formación Picacho y Formación Mirador), aunque también se presentan sobre material de edad reciente de tipo glacial. Las calificaciones de las densidades de fracturamiento, para estas zonas, varían desde rangos muy bajos hasta valores muy altos, asociadas a las diferentes rasgos y tendencias estructurales, como son las fallas de Sácama – Gibraltar, río Cobugón, río Ratoncito, río Cobaría y la Falla del paso de la Laguna Grande de los Verdes, así como el Sinclinal de Blanquiscal y el Anticlinal de Sinsiga (en el costado oriental), la Falla de Chiscas y el Sinclinal de Las Mercedes (en el borde occidental).

Los movimientos en masa presentes corresponden a deslizamientos traslacionales y caídas de roca, con el desarrollo de procesos erosivos de tipo surcos de intensidades suaves a moderadas. Estos movimientos en masa se registran en la vereda Tapias y en los sitios conocidos como La Meseta, La Primavera y La Cuadra, localizados entre los centros urbanos de Las Mercedes y Chiscas – Municipio de Chiscas; en el sector Puente Grande, La Burriera y Loma de Bogarito en el Municipio El Espino; el sitio conocido como Loma Redonda en el Municipio de Güicán; al norte y dentro del centro urbano del Municipio El Cocuy; los sectores El Obraje y La Ovejera del Municipio de Panqueba; en los sitios conocidos como Chichimita, El Molino, San Isidro, las veredas La Laguna y La Palma y dentro del centro urbano del Municipio de Guacamayas y en las veredas Vijal, Centro y Lagunitas del Municipio de San Mateo.

#### **1.1.4 Susceptibilidad Baja**

El rango de susceptibilidad baja cubre el 4,38% de la Plancha 137 – El Cocuy y se ubican en pequeños sectores del margen occidental del área de estudio (asociado al flanco este del Macizo de Santander), localizado de forma muy heterogénea, igual a la distribución que presenta la Formación La Luna, de edad Cretáceo, la cual corresponde a material cristalino masivo duro, constituido por calizas negras lodosas, laminadas, ricas en materia orgánica y en arcilla, intercaladas con porcelanitas y shales lodosos.

Adicional a esta unidad litológica, la categoría de susceptibilidad baja también se halla presente sobre depósitos cuaternarios de tipo terraza. Asociada, principalmente al trazo de la Falla de Chiscas (y fallas satélites a esta) así como al Anticlinal de Güicán, las densidades de fracturamiento registradas para este rango de clasificación, abarcan desde valores muy bajos hasta valores bajos, sin el predominio de ninguna categoría.

Entre los procesos morfodinámicos relacionados se presentan principalmente deslizamientos traslacionales planares y reptación de suelos, también, caídas de material y flujos en menor proporción, donde el material predominante que constituye estos procesos son tierras (suelo); producto de procesos de meteorización y procesos erosivos en surcos de intensidades bajas a moderadas. Estos movimientos en masa se presentan en el sitio conocido como La Burrera en el Municipio El Espino y en la vereda La Laguna en el Municipio Guacamatas.

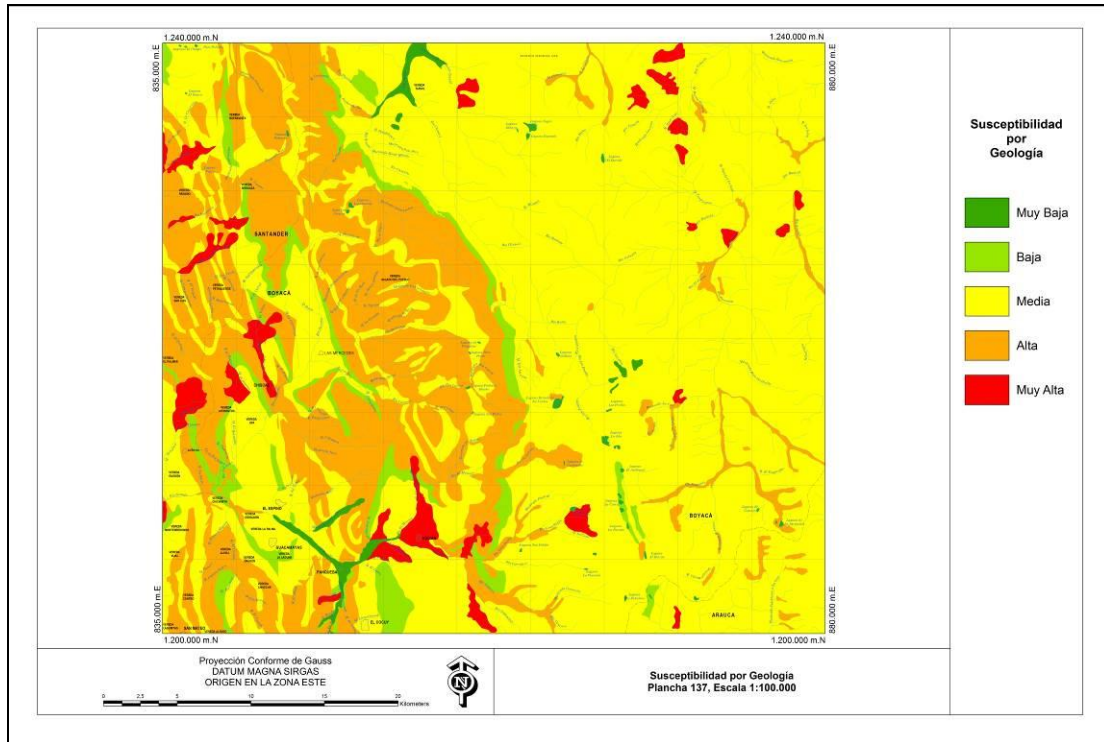
### **1.1.5 Susceptibilidad Muy Baja**

El área de susceptibilidad muy baja cubre el 0,83% de esta plancha y se asocia a los diferentes drenajes de importancia regional o relacionada a algunos cuerpos de agua. Distribuido sobre el margen norte (en algunos tramos de los ríos Orozco y La Unión o Chuscal Grande) y sobre la región noroccidental (quebrada Colorada).

Las áreas que integran este rango de calificación también se ubican en la zona suroccidental (sobre algunos sectores de los ríos Nevado y Pantano Grande y de las quebradas Honda y La Salvia) y en el borde oriental, sobre la Sierra Nevada de El Cocuy (Lagunas El Avellanal, La Cueva y La Parada).

Esta clasificación de susceptibilidad se encuentra distribuida sobre depósitos cuaternarios de tipo aluvial, en su totalidad, ubicados en áreas donde la densidad de fracturamiento, oscila desde muy baja hasta alta, con predominio de valores bajos, asociadas, principalmente al trazo de la Falla Río Nevado – Río Cóncavo. Debido a estas características, la zona representa una muy baja influencia del atributo geología para la ocurrencia de movimientos en masa y corresponde a un área muy estable. Sin embargo, se registran movimientos en masa en este nivel de susceptibilidad de tipo deslizamiento y flujo de detritos, en el sitio conocido como el Rosal y dentro del centro urbano del Municipio de Panqueba.

La calificación de la susceptibilidad para la variable geología se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** Calificación de la susceptibilidad de la variable Geología.

## 1.2 SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA

En la generación del mapa de susceptibilidad de la variable geomorfológica a escala 1:100.000, se registraron cinco categorías de susceptibilidad muy baja, baja, media, alta y muy alta, destacándose las clasificaciones media y alta como los rangos más representativos de toda el área de interés. Mientras que el borde occidental (Macizo de Santander) presenta variadas calificaciones, donde el rango medio es la categoría más representativa, el margen oriental (área de la Sierra nevada de El Cocuy) es más uniforme y se caracteriza por su valor alto Figura 5.

En el ANEXO B se expone con más detalle el cálculo y los resultados del proceso de calificación de la susceptibilidad de cada uno de los atributos de la geomorfología y la síntesis de esta variable, en términos de susceptibilidad a los movimientos en masa.

A continuación se describe cada nivel de susceptibilidad.

### 1.2.1 Susceptibilidad Muy Alta

Las zonas con clasificación muy alta cubren el 2,35% y se distribuye de manera muy heterogénea dentro de la Plancha 137 – El Cocuy.

Estos niveles de susceptibilidad se presentan sobre geoformas activas como cono y lóbulo coluvial de soliflucción, conos de deslizamiento indiferenciado (pertenecientes al ambiente morfogenético denudacional) y masa glacial y cono o lóbulo de gelifracción (de origen glacial – periglacial), en estas áreas los atributos morfométricos (pendientes, rugosidad y acuenca) para este rango de calificación, exhiben valores muy altos.

Se registran procesos movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional, planares y en cuña, de grandes dimensiones. Del mismo modo, se presentan caídas de roca y flujos de detritos, pero en menor proporción; con el desarrollo de procesos erosivos de tipo laminar, surcos y cárcavas de intensidad moderada a severa. En la vereda Tapias y entre los centros urbanos de Las Mercedes y Chiscas – Municipio de Chiscas; en el sector de Loma de Bogarito, La Burriera, San Antonio y Puente Grande – Municipio El Espino; los sitios conocidos como La Unión y los alrededores del centro urbano Güicán – Municipio de Güicán; en el sector La Laguna y al oeste del centro urbano El Cocuy – Municipio El Cocuy; en los sitios La Tribuna, Ovejera y Loma Amarilla – Municipio de Panqueba; en las veredas La Palma, Güiragón y Chichimita – Municipio Guacamayas y en la vereda Centro del Municipio de San Mateo.

### 1.2.2 Susceptibilidad Alta

Las áreas de susceptibilidad alta cubren el 70,18% de esta plancha, por lo que corresponde a la categoría más representativa de toda el área de interés. Estas áreas están localizadas principalmente, hacia el margen oriental, cubriendo, casi en su totalidad, el área de la Sierra Nevada de El Cocuy, además de algunos pequeños sectores del borde occidental; donde la influencia de los atributos morfométricos es alta.

Estas áreas están caracterizadas por presentar pendientes inclinadas, abruptas y escarpadas, rugosidad y acuenca con valores medios, altos y muy altos. Las unidades geomorfológicas presentes corresponden a sierras sinclinales, anticlinales y homoclinales con laderas contrapendiente y estructurales asociadas a estas estructuras mayores, tanto glaciadas, como estructurales. Del mismo modo, este nivel de susceptibilidad se presenta en sierras denudadas y escarpes de erosión, perteneciente al ambiente morfogenético denudacional.

En este nivel de susceptibilidad se registran movimientos en masa de tipo deslizamientos traslacional, planar y caída; afectados por procesos de



meteorización y de erosión en surcos y cárcavas, con intensidades que varían desde moderadas hasta severas. En la vereda Tapias y al noroeste del centro urbano de Chiscas – Municipio de Chiscas; en los sitios conocidos como Puente Grande y Loma de Bogarito – Municipio El Espino; en los sectores Ovejera y Goche – Municipio Panqueba; al noreste del centro urbano Güicán – Municipio de Güicán; al oeste del centro urbano El Cocuy – Municipio El Cocuy; en las veredas Alisal y La Laguna – Municipio Guacamaya y en la vereda Lagunitas del Municipio de San Mateo.

### 1.2.3 Susceptibilidad Media

Las áreas de susceptibilidad media comprenden el 26,48% del área total de esta plancha y se encuentra distribuida principalmente, hacia el sector occidental, sobre el flanco oriental del Macizo de Santander; aunque también se registra en algunas pequeñas áreas del margen oriental, pero en menor proporción.

Las zonas que integran este rango desarrollan pendientes entre planas a muy inclinadas, donde los atributos de rugosidad y acuenca presentan valores desde bajos a altos y desde medios a muy altos respectivamente. El atributo morfogénico se encuentra representado fundamentalmente, por laderas estructurales a favor de la pendiente, asociadas a sierras anticlinales, sierras homoclinales y de cuesta (ambiente glacial – periglacial), terrazas sobreelevadas “colgadas” (ambiente denudacional), abanicos fluviotorrenciales y algunos planos o planicies de inundación (origen fluvial – lagunar).

Los movimientos en masa registrados en este nivel de susceptibilidad son de tipo deslizamiento traslacional y caída, el material geológico presenta desarrollo de procesos erosivos (surcos) de intensidad suave a moderada. Estos movimientos en masa están localizados en el sitio conocido como Del Tobal – Municipio El Espino.

### 1.2.4 Susceptibilidad Baja

Las áreas con susceptibilidad baja cubren el 0,98% del área total de la Plancha 137 - El Cocuy. Estas zonas están asociadas a las diferentes quebradas y ríos, como en algunos tramos de los ríos Nevado y Pantano Grande (en el margen sur) y sobre determinados sectores del cauce del río Orozco y la quebrada Colorada (en la zona norte); sobre áreas planas elevadas, tanto del costado occidental (Macizo de Santander) como de la región oriental (Sierra Nevada de El Cocuy).

Presenta calificaciones desde muy bajas a bajas para los atributos rugosidad y pendientes (predominio del segundo rango) y una influencia baja de acuerdo al atributo acuenca. Sobre estas áreas se desarrollan unidades geomorfológicas

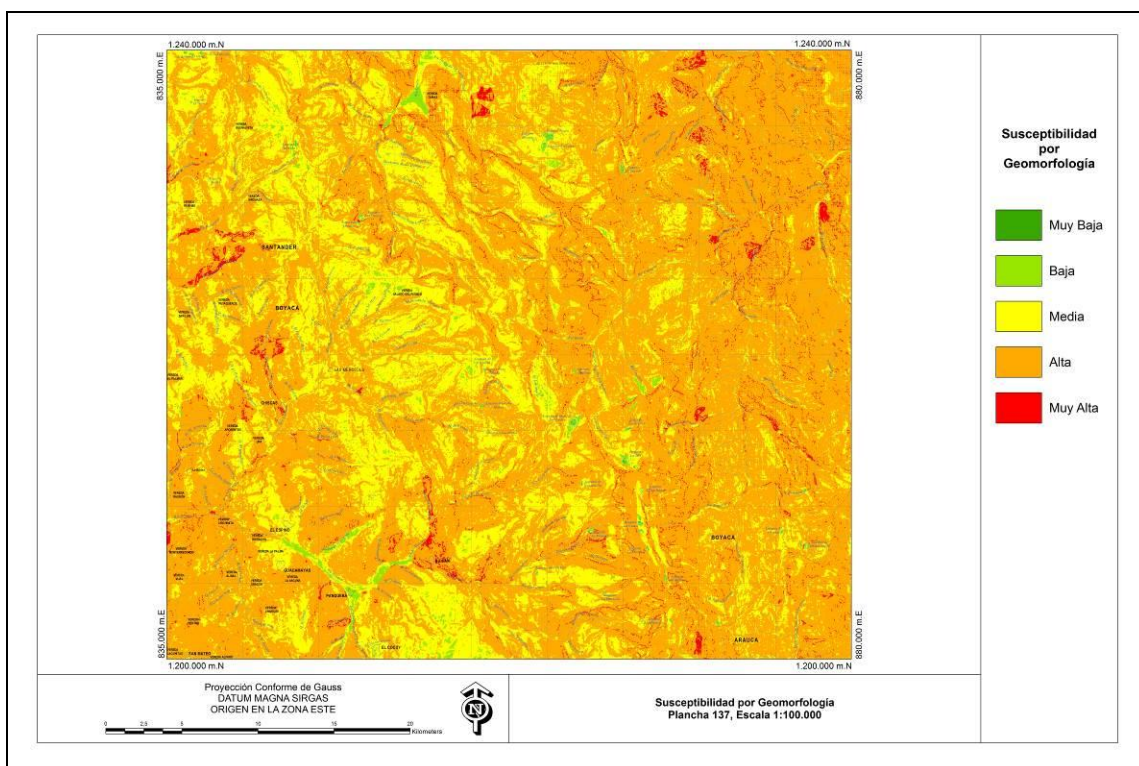
pertenecientes a los ambientes Fluvial – lagunar (en el sector del Macizo de Santander) como planos o planicies de inundación y de origen glacial – periglacial (en la Sierra Nevada de El Cocuy) como planos glaciolacustrinos, conos glaciofluviales y algunas lagunas glaciales. No se registran movimientos en masa en este nivel de susceptibilidad.

### 1.2.5 Susceptibilidad Muy Baja

Las áreas de susceptibilidad muy baja se presentan el en 0,01% del área de estudio y está distribuido de manera muy heterogénea, sobre algunos cuerpos de agua (lagunas) de tipo glacial, localizados en los municipios de Carcasí (Laguna Palencia), Chiscas (Laguna Blanca, laguna Negra) Concepción (Lagunas El Obispo) y Güicán (Laguna Grande de Los Verdes).

Estos cuerpos de agua se desarrollan en zonas planas, con muy baja influencia de las variables morfométricas (pendiente, rugosidad y acuenca) y sin la presencia de procesos morfodinámicos (ni movimientos en masa ni procesos erosivos).

La calificación de la susceptibilidad de la variable geomorfología se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Calificación de la susceptibilidad de la variable Geomorfología.

### 1.3 SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS

Las variables físicas tomadas en cuenta para la caracterización de los suelos, con fines de evaluar la susceptibilidad a los movimientos en masa, se basa en la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2013), la cual incluye los atributos de taxonomía, textura, tipo de arcilla, profundidad y drenaje natural, que se describen de manera específica en el ANEXO C.

Los suelos se han derivado de materiales parentales de origen sedimentario, ígneo y metamórfico, con cobertura de ceniza volcánica en algunos casos. Se caracterizan por la variación en sus características, como la profundidad o el espesor (desde muy bajas hasta altas) y el drenaje natural (entre excesivos a muy pobremente drenados). Mientras que en las zonas húmedas y muy húmedas la reacción (pH) corresponde de fuertemente a extremadamente ácida y la fertilidad es baja, las zonas secas tienden a ser ligeramente alcalinas y neutras con fertilidad natural media y alta.

La Plancha 137 – El Cocuy registra cuatro categorías de clasificación de la susceptibilidad a movimientos en masa: muy baja, baja, media y alta; siendo dominante las áreas de susceptibilidad media con suelos que exhiben texturas finas asociadas al grupo de arcillas de la montmorillonita Figura 6.

A continuación se describe cada nivel de susceptibilidad.

#### 1.3.1 Susceptibilidad Alta

Las áreas de susceptibilidad alta cubren el 23,77% del área total de la Plancha 137 – El Cocuy y se distribuye principalmente en el margen suroccidental (asociada al Macizo de Santander) y en el costado nororiental (relacionado a la Sierra Nevada de El Cocuy). También, se encuentra presente en pequeñas áreas de la región norte y del borde suroriental.

Los suelos exhiben texturas finas (franco – arcillo – arenosa y franco – arcillo – limosa), asociados al grupo de arcillas de la montmorillonita; disminuyendo así, la estabilidad del terreno, debido al contenido y la retención del agua en los suelos; como consecuencia los suelos son menos permeables y con su saturación aumenta la susceptibilidad para la generación de movimientos en masa. El espesor de los suelos de las áreas con este nivel de susceptibilidad varían desde muy profundos (margen oriental del Macizo de Santander) hasta bajos y menos evolucionados (en el área de la Sierra Nevada de El Cocuy). El clima de estas zonas es frío y oscila desde seco a muy húmedo y pluvial.

Los movimientos en masa que se registran en las áreas con este nivel de susceptibilidad son de tipo deslizamiento traslacional planar y en cuña, caída de roca, flujo de detritos y reptación en los alrededores de los centros urbanos de

Chiscas y Las Mercedes (Municipio de Chiscas); en los sitios conocidos como Puente Grande, La Burriera, San Antonio y Loma de Bogarito y en los alrededores del centro urbano El Espino (Municipio El Espino); en los alrededores del centro urbano Güicán y el sitio conocido como La Unión (Municipio de Güicán); en los alrededores del centro urbano El Cocuy (Municipio El Cocuy); en los alrededores del centro urbano de Panqueba y en los sitios conocidos como El Goche y Chiveche (Municipio de Panqueba); en los alrededores del centro urbano Guacamayas y en las veredas Chichimita, Güiragón, La Palma y La Laguna (Municipio de Guacamayas) y en las veredas Vijal, Lagunitas y Centro (Municipio de San Mateo).

### 1.3.2 Susceptibilidad Media

Las áreas de susceptibilidad media cubren el 57,93% del área total de esta plancha y están localizadas de forma muy heterogénea y abarcando grandes áreas en los Municipios de Cubará, Tame, Güicán, Chiscas, Carcasí, San Mateo, Guacamayas, Panqueba, El Espino y El Cocuy.

Estas zonas se caracterizan por desarrollar suelos muy variables, debido a la amplia distribución espacial que presenta. Según lo anterior, se desarrollan texturas desde gruesas (en el margen occidental) hasta finas (en el sector suroccidental), en suelos que varían desde arcillosos, con bajo contenido de materia orgánica (de órdenes vertisoles y aridisoles) hasta suelos orgánicos de muy baja evolución (de asociaciones inceptisoles, entisoles e histosoles), predominando materiales moderadamente gruesos, pero con presencia de arcillas, de órdenes vertisoles y aridisoles, con buenos sistemas de drenaje. Los espesores de estos suelos son bajos, desde 25 cm a 50 cm (en la región occidental) y altos, de 100 cm a 150 cm (sobre el área noroccidental) predominando profundidades moderadas (espesores entre 50 cm y 1 m). El clima varía desde templado seco hasta extremadamente frío en ambientes húmedos.

Los movimientos en masa registrados en este nivel de susceptibilidad son de tipo deslizamiento indiferenciado, deslizamiento traslacional planar y caída de rocas, caracterizados por erosión laminar y surcos de intensidad moderada. Están localizados en la vereda Tapias y Salado del Pueblo – Municipio de Chiscas; en los alrededores del centro urbano Güicán – Municipio de Güicán; en los alrededores del centro urbano El Cocuy – Municipio El Cocuy; en el sitio conocido como La Ovejera y La Tribuna – Municipio Panqueba y en los sitios conocidos como El Molino y San Isidro – Municipio de Guacamayas.

### 1.3.3 Susceptibilidad Baja

Las zonas que integran el rango de susceptibilidad baja a partir de la variable suelos edáficos cubren el 1,06% del área total de la Plancha 137 – El Cocuy y

se encuentran ubicadas sobre el sector occidental de esta plancha, en las veredas La Leona, Cañada Raíces Cinchos, San Luis y Montañas del Sur en el Municipio de Carcasí.

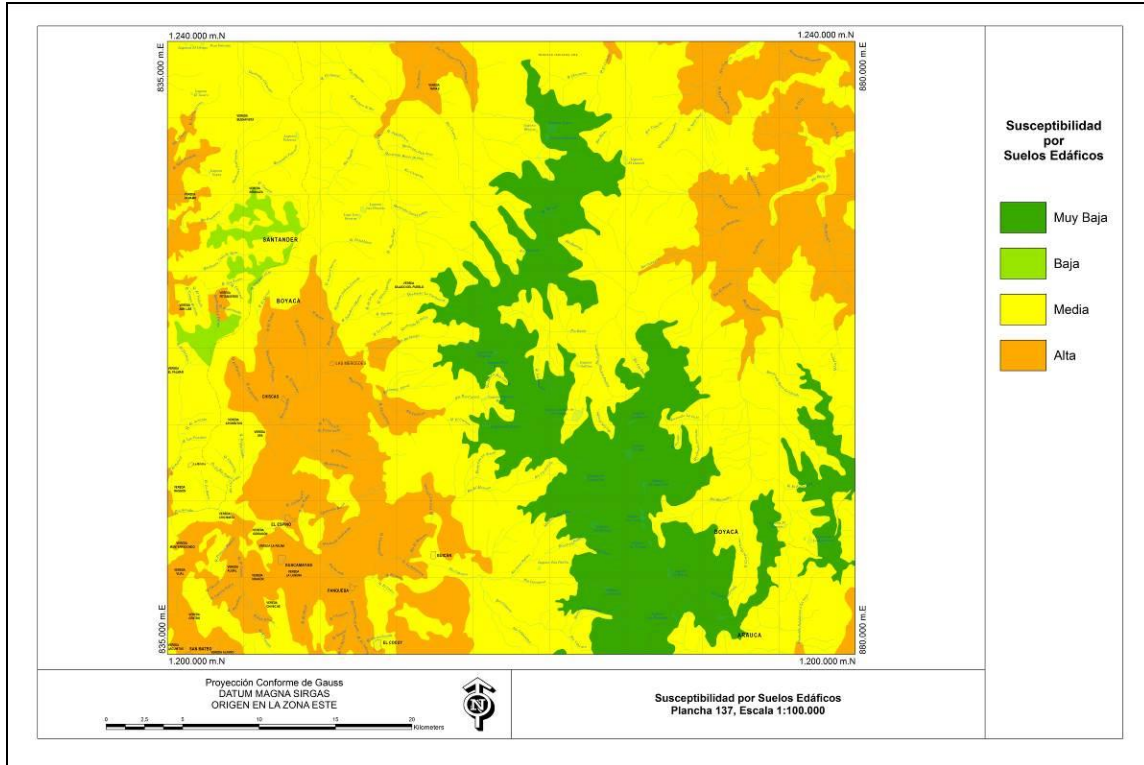
Estas áreas se caracterizan por desarrollarse en climas extremadamente fríos y húmedos. La evolución de los suelos varía desde alta a moderada, presentando asociaciones de órdenes molisoles, andisoles y espodosoles, con texturas gruesas y espesores superficiales (profundidades desde 25 cm hasta 50 cm), asociados al grupo de arcillas tipo Halloysita. Los sistemas de drenaje son moderadamente excesivos, es decir, no retienen agua para la cobertura vegetal después de las precipitaciones, favoreciendo la estabilización del terreno. No se registran movimientos en masa en este nivel de susceptibilidad.

#### **1.3.4 Susceptibilidad Muy Baja**

El área de susceptibilidad muy baja representa el 17,29% del total de esta plancha y corresponde a los sectores más estables de la zona de interés, de acuerdo a la variable suelos. Se encuentra distribuida en las regiones altas y medias de la Sierra Nevada de El Cocuy, localizada sobre el sector suroriental y en el margen central de la Plancha 137 - El Cocuy, en jurisdicción de los municipios de Chiscas, Güicán y Tame.

Los suelos presentes sobre este rango de calificación desarrollan texturas muy gruesas (arenas y gravas), de órdenes oxisoles y ultisoles, con profundidades muy bajas o superficiales (espesores menores a 25 cm) y sistemas de drenaje excesivos. El clima que predomina para esta clasificación varía desde nieves perpetuas hasta subniveles en ambientes pluviales. No se registran movimientos en masa en este rango de susceptibilidad.

La calificación de la susceptibilidad para la variable suelos edáficos se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Calificación de la susceptibilidad de la variable Suelos Edáficos.

#### 1.4 SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURAS DE LA TIERRA

Las coberturas vegetales constituyen un elemento del paisaje que coadyuva a la protección del suelo y en cierta medida a su estabilidad, entre menos intervención humana tenga un terreno, persistirán mejores condiciones en la estabilidad de éste, por lo cual se procura el desarrollo sostenible de las regiones, lo cual encierra un equilibrio entre los componentes sociales, económicos, ambientales y ecológicos. Un aporte de la vegetación es la regulación del ciclo hidrológico, que mitiga en gran medida grandes avenidas o crecientes, la cual es una de las principales causas de las inundaciones en poblaciones y áreas estratégicas.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede deducir que las conjeturas son coherentes para la evaluación de susceptibilidad (número de estratos, evapotranspiración, drenaje profundo y profundidad radicular), manteniéndose de igual forma las coberturas boscosas y de cuerpos de agua en susceptibilidad baja y muy baja, y zonas de intervención antrópica con susceptibilidad alta y muy alta (Figura 7).

La descripción, cálculo y desarrollo metodológico de esta variable se presenta en el ANEXO D.

La zonificación de susceptibilidad por cobertura de tierra para la Plancha 137 – El Cocuy presenta cuatro categorías: muy baja, baja, media y alta. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede deducir que los sectores con susceptibilidad media son los más representativos con el 72,81% del área total de esta plancha con coberturas como arbustales. En general, Las coberturas predominantes en esta plancha son herbazales, mosaicos de pastos, mosaicos de cultivos, pastos y bosques, ubicados heterogéneamente en los departamentos de Arauca, Boyacá y Santander.

A continuación se describe cada nivel de susceptibilidad

#### **1.4.1 Susceptibilidad Alta**

Las zonas de susceptibilidad alta ocupan el 13,74% (247,42 Km<sup>2</sup>) del área total de esta plancha y están localizadas en los municipios de Tame (Departamento de Arauca), Chiscas, Cubará, El Cocuy, El Espino, Guacamayas, Güicán, Panqueba y San Mateo (Departamento de Boyacá), Carcasí, Concepción y Macaravita (Departamento de Santander).

Estas áreas se caracterizan por coberturas como arbustales, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto arenoso, herbazal abierto rocoso, mosaico de pastos y cultivos, pastos (limpios y enmalezados), tejido urbano discontinuo, turberas, vegetación secundaria o en transición, zonas arenosas naturales y zonas glaciales y nivales.

Los movimientos en masa registrados en este nivel de susceptibilidad analizado a partir de la variable cobertura de la tierra son de tipo deslizamiento traslacional planar y deslizamiento indiferenciado. Estos movimientos en masa están localizados en los alrededores del centro urbano Chiscas (Municipio de Chiscas); al suroeste del centro urbano de El Espino y en los sitios conocidos como La Burriera, San Antonio, Loma de Bogarito y El Zarno (Municipio El Espino); en el centro urbano Güicán y en el sector conocido como Loma Redonda (Municipio de Güicán); en el centro urbano Panqueba y en los sitios conocidos como La Ovejera, El Rosal y Chiveche (Municipio de Panqueba) y en el centro urbano Guacamayas y en la vereda La Palma (Municipio de Guacamayas).

#### **1.4.2 Susceptibilidad Media**

Las áreas de susceptibilidad media comprenden el 72,81% (1309,98 Km<sup>2</sup>) del área total de la Plancha 137 – Cocuy y están localizadas en los municipios de Concepción, Carcasí, San Mateo, Guacamayas, Panqueba, El Cocuy, El Espino, Chiscas, Cubará, Güicán y Tame.

Estas áreas se caracterizan por coberturas como arbustales, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosques, herbazales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos (limpios y enmalezados), vegetación secundaria o en transición.

Los movimientos en masa registrados en este nivel de susceptibilidad son de tipo deslizamiento, caída y reptación y están localizados en la vereda Tapias y los sitios conocidos como La Meseta, Tarazona, Adorosal y La Herrera (Municipio de Chiscas); en los alrededores del centro urbano de El Espino y en los sectores llamados La Burriera y La Laguna (Municipio El Espino); al este del centro urbano Güicán y en el sitio conocido como La Unión (Municipio de Güicán); al noreste del centro urbano El Cocuy y en el sitio conocido como La Laguna (Municipio El Cocuy); en los sectores conocidos como La tribuna y Güiragón (Municipio de Panqueba); en las veredas Chichimita, Güiragón, Uragón y La Laguna (Municipio de Guacamayas) y en las veredas Centro, Vija y Lagunitas (Municipio de San Mateo).

#### **1.4.3 Susceptibilidad Baja**

Las zonas de susceptibilidad baja ocupan el 8,18% (147,28 km<sup>2</sup>) del área total de la Plancha 137 – El Cocuy y se localizan en los municipios de Chiscas, Cubará, El Cocuy, El Espino, Guacamayas, Güicán, Panqueba y San Mateo (Departamento de Boyacá), Carcasí, Concepción y Macaravita (Departamento de Santander)

Estas zonas se caracterizan las coberturas de áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosques, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos con espacios naturales y tejido urbano continuo.

Los movimientos en masa registrados en estas áreas son de tipo deslizamiento y se ubican en el sitio conocido como San Joaquín – Municipio El Espino, en la vereda La Palma – Municipio Guacamayas, en el sector el Obraje – Municipio

#### **1.4.4 Susceptibilidad Muy Baja**

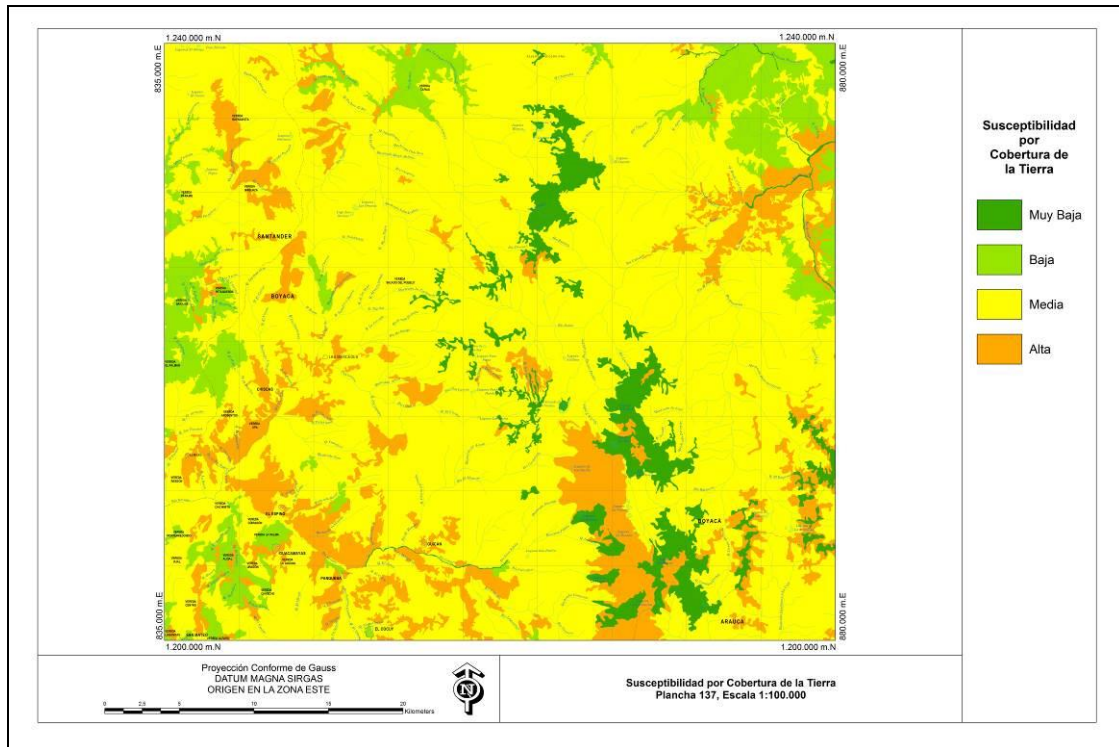
Las zonas de susceptibilidad muy baja ocupan el 5,29% (95,32 Km<sup>2</sup>) del área total de la Plancha 137 – El Cocuy y se localiza en los municipios de Tame (Departamento de Arauca), Chiscas, Cubará, Güicán y Panqueba (Departamento de Boyacá).

Se caracterizan las coberturas de afloramientos rocosos, cuerpos de agua (ríos, laguna, lagos y ciénagas naturales).

Se registra un movimiento en masa de tipo deslizamiento traslacional planar en el sitio conocido como El Rosal en el Municipio de Panqueba.



La susceptibilidad por cobertura de la tierra se presenta en la Figura 7.



**Figura 7.** Calificación de la susceptibilidad de la variable Cobertura de Tierra.

## 1.5 EVALUACIÓN DE DETONANTES

La predisposición del terreno a favorecer los movimientos en masa, se ve amplificada por factores externos de acuerdo a la magnitud de su incidencia aumentan la potencialidad del terreno a los movimientos en masa, estos factores se denominan detonantes y son en esencia el factor clima (temperatura media anual, precipitación media anual y lluvia máxima diaria) y la energía provista por un sismo. Las variables físicas tomadas en cuenta para la caracterización de los detonantes de los movimientos en masa por el factor clima y la energía provista por un sismo o sismos se basa en la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2013). En el ANEXO E y ANEXO F, respectivamente, se presentan los resultados parciales de zonificación de los detonantes Climático y Sismo.

En los siguientes párrafos se analizan los detonantes, Climático y Sismo.

### 1.5.1 Detonante Climático

Para determinar la incidencia del detonante clima se utilizaron los mapas de zonificación climática del Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2007), como

son, Precipitación Media Anual y Temperatura Media Anual, los cuales fueron a su vez calificados de acuerdo con su contribución a la generación de movimientos en masa, mientras que la distribución espacial de la lluvia máxima diaria se analizó entre los años 1987 y 2011, para un período de retorno de 25 años, valores a partir de los cuales se realizó la distribución espacial para la zona Andina.

El mapa obtenido mediante la calificación de precipitación media anual y la temperatura media anual y el mapa de isoyetas de lluvias diarias máximas para un período de retorno de 25 se interceptan y se califican de 1 a 5 de acuerdo a su contribución a los movimientos en masa, dando lugar al mapa final del detonante por factor clima (Figura 8), el cual está compuesto por cuatro cinco categorías: muy baja, baja, media, alta y muy alta, con dominio de la categoría alta, caracterizada por las tendencias de la pluviosidad que se presentan en muchos de estos sectores, que actúan fuertemente sobre los suelos, saturándolos y generando intensos procesos erosivos en cárcavas y surcos sobre geformas de ambiente denudacional asociadas a depósitos coluviales subrecientes y de ambientes estructurales relacionadas a estructuras mayores de anticlinales y sinclinales localizadas al noreste del área de estudio, sobre rocas del Grupo Cáqueza y fallas satélites de la Falla de Sácama. Sin embargo el detonante clima no presenta una relación directa con la densidad de movimientos en masa para esta plancha, los movimientos en masa registrados tienen causas relacionadas al detonante sismo y a las variables geomorfología, cobertura, suelos edáficos y geología. En seguida se realiza el análisis del detonante clima para cada categoría.

La categoría de calificación muy alta presenta el 9,41% del área total de la Plancha 137 – El Cocuy y se localizan en el sector nororiental del área de interés, ubicada en jurisdicción de los municipios de Chiscas, Cubará y Güicán, en el Departamento de Boyacá. Esta área indica muy alta infiltración del agua lluvia, se registran precipitaciones máximas diarias mayores a 220 mm, en zonas de climas fríos y pluviales, donde se presentan suelos poco profundos, con espesores entre 25 cm y 50 cm, cubiertos por bosques densos de tierra firme, principalmente, así como por pastos y arbustos. A pesar de esto, las laderas, moldeadas sobre material clástico cementado (Formación Río Negro o Grupo Cáqueza) y algunos tipos de depósitos recientes (coluviales, fluvio-glaciales y glaciales), no se registran movimientos en masa, pero si depósitos subrecientes coluviales asociados a laderas de pendiente abrupta a escarpada, se encuentran afectadas por procesos erosivos (de tipo gelifracción) con intensidades moderadas y severas, afectando a las unidades geomorfológicas de los ambientes glacial – periglacial y denudacional.

La categoría de calificación alta representa el 46,39% del área total de esta plancha y se presentan a manera de corredor o franja, con un orientación NW –

SE, abarcando todo el sector central de la Plancha 137 – El Cocuy, en algunos sectores de los municipios de Carcasí, Concepción (Departamento de Santander), Chiscas, Güicán y Cubará (Departamento de Boyacá) y Tame (Departamento de Arauca). Corresponde a la categoría más extensa de la Plancha 137 – El Cocuy, donde la influencia del detonante clima varía desde baja (valores para las precipitaciones máximas diarias de 50 mm) hasta alta (valores para las precipitaciones máximas diarias de 220 mm). El clima, la cobertura vegetal y el espesor del suelo son muy variables. En los climas fríos y húmedos, las coberturas vegetales corresponden a herbazales densos de tierra firme, y se desarrollan en suelos moderadamente profundos (50 cm – 100 cm); mientras que en los climas subnivales y pluviales (zonas glaciales en las partes altas de la Sierra Nevada de El Cocuy) no se presenta cobertura vegetal (afloramientos rocosos y zonas arenosas naturales) y el espesor del suelo no supera los 25 cm. La cantidad de agua es un potencial detonante para movimientos en masa, sin embargo no se registran movimientos en masa en las áreas con esta categoría.

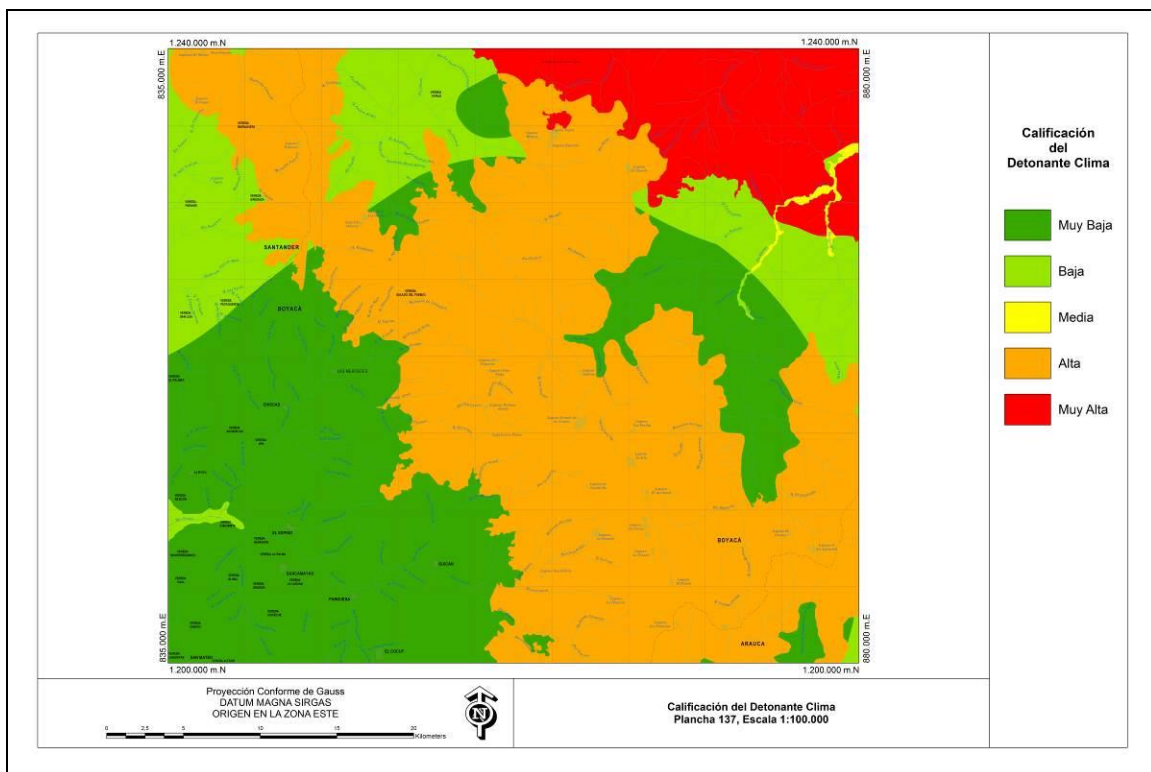
La categoría de calificación media cubre el 0,28% del área total de esta plancha y se localiza al noreste de la Plancha 137 – El Cocuy a lo largo del cauce de los ríos Bachirá, Royata y Sinsiga. Estas zonas se desarrollan sobre suelos de espesores muy variables (desde muy superficiales hasta muy profundos), cubiertos en su mayoría por mosaicos de pastos y cultivos. El clima presente en la zona, oscila desde seco a pluvial y desde extremadamente frío a templado, con predominio de los rangos muy frío y muy húmedo, en zonas donde las precipitaciones máximas diarias abarcan valores desde menos de 50 mm hasta 100 mm. No se registran movimientos en masa en este nivel de susceptibilidad pero si desarrollo de procesos erosivos de tipo laminar, surcos y cárcavas, de intensidades moderadas a severas.

La categoría de calificación baja cubren el 13,07% del área total de esta plancha, se localiza en una franja irregular y discontinua con dirección W – E en la parte norte de la Plancha 137 – El Cocuy, incluye los municipios de Carcasí, Chiscas y Güicán principalmente. También, al sur de esta plancha, en el límite entre los municipios Macaravita y Guacamayas y en el Municipio de Tame. Se caracteriza porque el efecto detonante clima es muy bajo (precipitaciones máximas diarias menores a 50 mm). Estas áreas con rango de calificación baja, se presentan sobre planos o llanuras de inundación de origen fluvial – lagunar constituida por depósitos aluviales recientes y subrecientes, asociadas a los ríos Cobugón, Chuscal, Nevado, La Unión, Orozco, Pantano Grande y Ratoncito y de las quebradas Colorada y La Salvia. Las áreas pertenecientes a esta categoría presentan un movimiento en masa de tipo caída de roca en la vereda Rasgón del Municipio de Macaravita, aunque la causa de este movimiento está asociada a otras causas como la morfogénesis de la geoforma que es un cono glacio-fluvial, y no al detonante clima. Las coberturas vegetales

no presentan gran desarrollo y los suelos no generan espesores prominentes, condiciones que favorecen a la estabilidad del terreno. El clima predominante para esta clasificación de susceptibilidad, corresponde a frío seco.

La categoría de calificación muy baja cubre el 30,90% del área total de esta plancha y se localiza en los municipios de San Mateo, Panqueba, Guacamayas, El Cocuy, El Espino, Macaravita, Chiscas, Güicán y Tame. Estas áreas presentan precipitaciones menores a 50 mm y se relacionan con unidades geomorfológicas de génesis denudacional, estructural y glacial. En esta área se presenta una alta densidad de movimientos en masa de tipo deslizamiento, caída, flujo y reptación, por causas asociadas a la susceptibilidad de las variables geomorfología y suelos edáficos y no al detonante clima.

La calificación del detonante por factor clima se muestra en la Figura 8.



**Figura 8.** Mapa final del detonante por Factor Clima.

### 1.5.2 Detonante Sismo

La cobertura del detonante sismo obedece a la hipótesis de que a mayor aceleración sísmica horizontal basal (a nivel de roca), se incrementarán las fuerzas actuantes y se reducirán las fuerzas resistentes debido al incremento de las presiones de poros, lo cual no solamente depende del entorno

sismotectónico existente, sino de otras condiciones como la topografía del terreno y la características de los materiales que conforman el terreno.

Las zonas de mayor contribución como detonantes coinciden con la localización de las estructuras geológicas y fuentes sismogénicas de mayor actividad y recurrencia sísmica, las cuales están marcadas por grandes estructuras como es el caso del occidente colombiano, la zona centro - oriental andina y la Cordillera Oriental.

El elemento físico para establecer las posibilidades de influencia de los sismos corresponde a la Aceleración Máxima Horizontal PGA a nivel de roca calificada con base en su contribución a la generación de movimientos en masa, los valores de PGA son tomados del documento “Actualización del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica, INGEOMINAS & Universidad Nacional, 2008 - 2010”.

La calificación del detonante sismo según su contribución a los movimientos en masa, da lugar al mapa final del detonante por factor sismo que se presenta en la Figura 9. Este mapa para la Plancha 137 – El Cocuy registra tres rangos de calificación: medio, alto y muy alto, donde la clasificación más representativa corresponde al rango alto con el 50,35% de esta plancha. Estos rangos se describen a continuación.

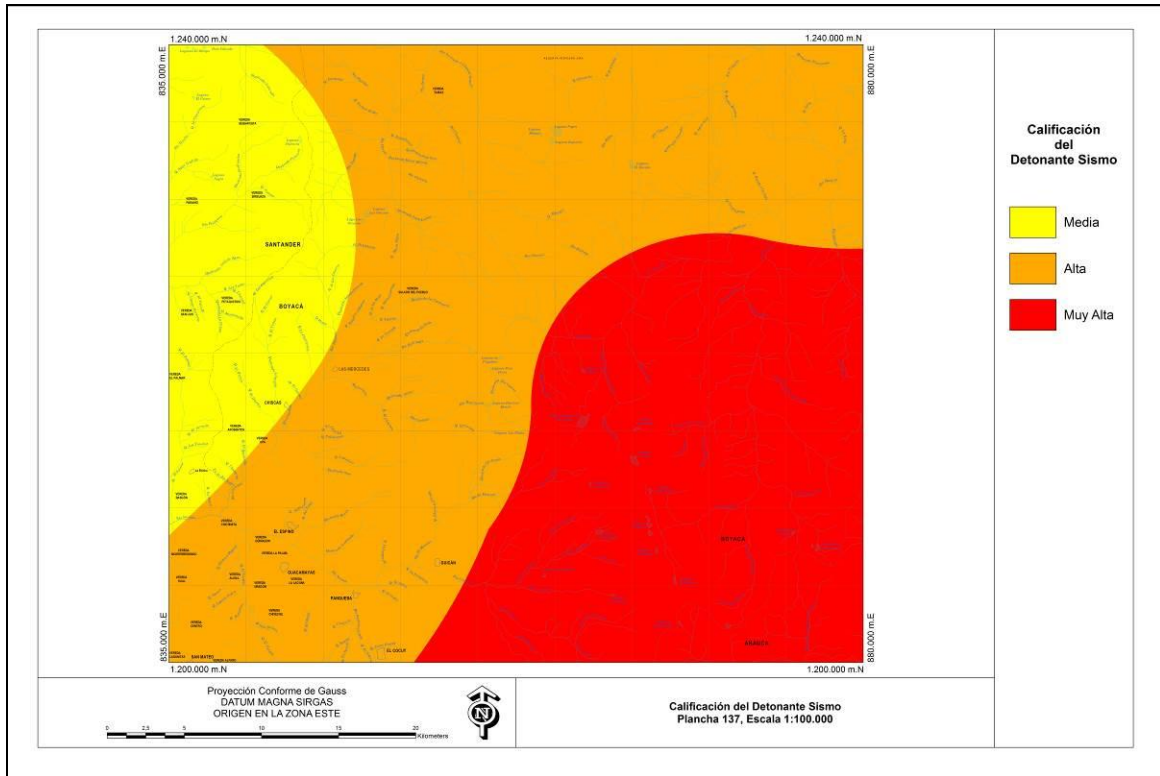
La calificación muy alta del detonante sismo comprende el 34,12% del área total de esta plancha, se localiza al sureste de la Plancha 137 – El Cocuy, en los municipios de Güicán, Tame y El Cocuy. Esta categoría se presenta sobre unidades geomorfológicas de génesis glacial de pendientes abruptas y muy escarpadas y de origen denudacional geformas de depósitos coluviales subrecientes; presentan relieves muy altos y morfologías montañosas. Posee valores de PGA expresados en velocidades de desplazamiento horizontal mayores a  $300 \text{ cm/seg}^2$ . En las áreas de esta calificación de detonante sismo no se registran movimientos en masa; sin embargo, se registran procesos erosivos de tipo gelifracción y de socavación, de intensidades moderadas a severas. Por ende, estas zonas deberían tener una prelación en cuanto a estudios de geotecnia y una escala de trabajo más detallada para sectorizar las áreas de mayor impacto por la actividad sísmica.

La calificación alta del detonante sismo comprende el 50,35% del área total de esta plancha, se localiza en una franja de dirección SW – NE, estrecha al sur (17 km de ancho) y amplia al norte (32 km de ancho), sobre los municipios de Cubará, Chiscas, Güicán, El Espino, Guacamayas, San Mateo, Panqueba y El Cocuy. Esta categoría se presenta sobre unidades geomorfológicas de génesis glacial, estructural y denudacional; asociado a laderas erosivas y escarpadas, asociadas o no a estructuras mayores de tipo sinclinal, anticlinal y homoclinal.

Estas geoformas se localizan sobre suelos de espesores muy bajos (profundidades menores a 25 cm), cubiertos, en su mayoría, por arbustales densos y abiertos, herbazales densos de tierra firme no arbolados, así como por mosaicos de cultivos, pastos (limpios y enmalezados) y espacios naturales. Se presentan movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional (planares y en cuña), flujos de detritos y caída de rocas, algunos de ellos de grandes dimensiones, con el desarrollo de surcos y cárcavas, de intensidades moderadas a severas; situados en la vereda Tapias, los sitios conocidos como Tarazona, La Meseta y La Cuadra y en los alrededores de los centros urbanos Chiscas y Las Mercedes (Municipio de Chiscas); en los sitios conocidos como Méjico, Puente Grande, La Burriera, San Antonio, La Laguna y Llano Grande y en los alrededores del centro urbano El Espino (Municipio El Espino); en el centro urbano Güicán y el sitio conocido como La Unión (Municipio de Güicán); en los alrededores del centro urbano El Cocuy (Municipio El Cocuy); en el centro urbano Panqueba y en los sitios conocidos como El Obraje, Goche, La Ovejera y La Tribuna (Municipio de Panqueba); en las veredas Chichimita, Alisal, La Palma y La Laguna (Municipio de Guacamayas) y las veredas Vija, Centro y Lagunitas (Municipio de San Mateo).

La calificación media del detonante sismo comprende el 15,57% del área total de esta plancha, se localiza al oeste de esta plancha sobre los municipios de Concepción, Carcasí, Chiscas y Macaravita. Esta categoría de susceptibilidad se presenta sobre unidades geomorfológicas glaciales (como morrenas de fondo, los conos glaciofluviales y lagunas glaciales), estructurales (asociadas a la Falla de Chiscas y pliegues relacionadas al Sinclinal de La Bricha) y denudacionales (por la presencia de geoformas formadas por depósitos coluviales subrecientes). Tiene valores de PGA, expresados en velocidades de desplazamiento horizontal desde 200 cm/seg<sup>2</sup> a 300 cm/seg<sup>2</sup>. Se presenta suelos con espesores que oscilan desde bajos (profundidades entre 25 y 50 cm) hasta altos (profundidades de 100 cm hasta 150 cm). Presenta suelos cubiertos principalmente por arbustales densos y abiertos, así como por mosaicos de cultivos, pastos (limpios y enmalezados) y espacios naturales, en zonas donde impera un clima muy variable, el cual oscila de seco a pluvial y desde subnival hasta templado. Los movimientos en masa en este nivel de susceptibilidad son de tipo deslizamiento, en los sitios conocidos La Herrera, La Primavera y La Cuadra y los alrededores del centro urbano de Chiscas (Municipio de Chiscas).

La calificación del detonante por factor clima se muestra en la Figura 9.



**Figura 9.** Mapa final del detonante por Factor Sismo.

## 2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

### 2.1 SUSCEPTIBILIDAD

La calificación del Mapa de Susceptibilidad Total a los Movimientos en Masa de la Plancha 137 – El Cocuy generó cinco categorías: muy alta, alta, media, baja y muy baja (Figura 10), donde sobresale la susceptibilidad media que tiene la mayor extensión y se distribuye por toda la plancha, especialmente en el Departamento de Boyacá.

Los diferentes niveles de susceptibilidad determinados para esta plancha se describen a continuación.

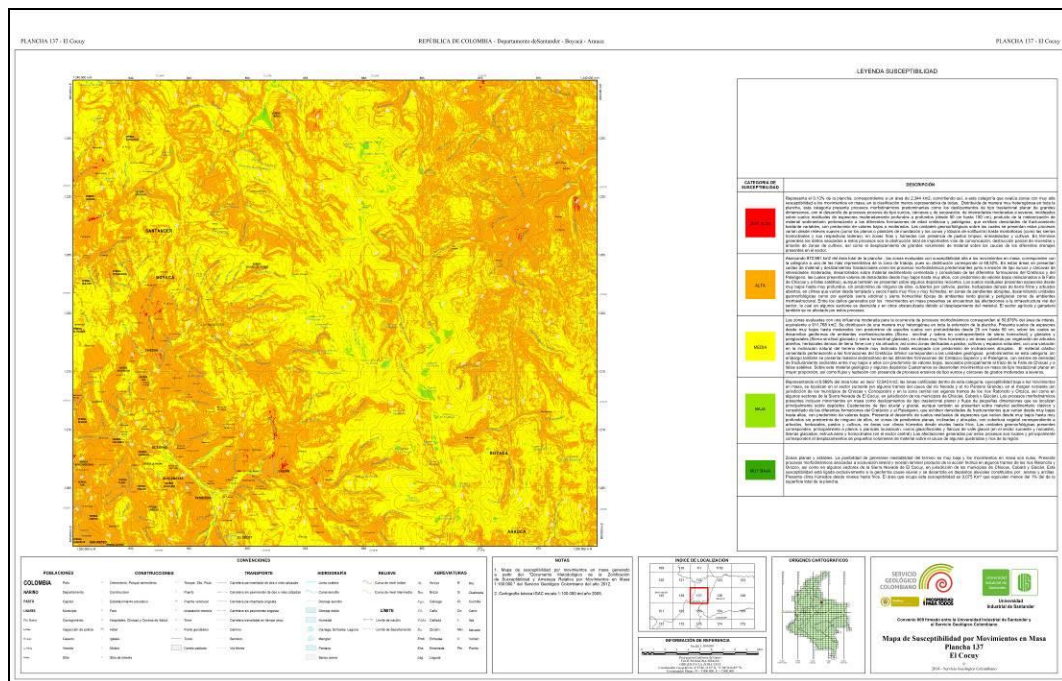


Figura 10. Mapa de susceptibilidad total para la Plancha 137 – El Cocuy.

#### 2.1.1 Susceptibilidad Muy Alta

Las áreas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango muy alta cubren el 0,13%, se distribuye en pequeñas áreas, de forma muy heterogénea en los municipios Güicán, Carcasí y Chiscas.



Corresponde a pequeños segmentos donde el procesamiento del modelo digital de terreno (DEM) enmarca errores que al momento de generar el cálculo de la variable, se toman como regiones de muy alta susceptibilidad, estos sectores no generan información útil al momento de la interpretación, pero cuantifican estas zonas con valores de susceptibilidad muy alto. Los puntos que no se encuentran agrupados, formando polígonos extensos sobre este tipo de error. Las áreas relativamente amplias de este rango de susceptibilidad se encuentran asociado a materiales no consolidados, de composiciones heterogéneas y de tamaños variables, compuesto principalmente por bloques angulares de grandes dimensiones (depósitos coluviales), los cuales se encuentran afectados por procesos de fallamiento y plegamiento, donde la Falla del Río Nevado – Río Cóncavo, así como algunas fallas satélites a la Falla de Chiscas y diferentes pliegues locales, son las estructuras más representativas; generando valores de densidad de fracturamiento muy bajos, bajos y moderados.

Los diversos procesos de meteorización, erosión, transporte y deposición de materiales, desarrollados en el área, son llevados a cabo por medio de diferentes agentes (como el agua, la gravedad y hasta la intervención antrópica) en diversos grados de intensidad y durante diferentes intervalos de tiempo, generando la modificación de las geoformas preexistentes y propiciando la formación de nuevas unidades, esta vez, de origen denudacional, donde los conos, los lóbulos coluviales de solifluxión y los conos de deslizamiento indiferenciado, son las geoformas más representativas. A su vez, sobre estas unidades geomorfológicas, se registran procesos morfodinámicos de tipo deslizamientos traslacionales (planares y en cuña), flujo de rocas y detritos, estos movimientos en masa están localizados al suroeste del Municipio de Chiscas y al oeste del Municipio Güicán.

Del mismo modo, estas áreas presentan calificación por susceptibilidad de acuerdo a los atributos de geología y geomorfología sea muy alta. También, presentan suelos de espesores altos o profundos (entre 100 cm y 150 cm), clasificados taxonómicamente como vertisoles y aridisoles y texturalmente como materiales finos, con la presencia de arcillas, materia orgánica y limo, los cuales producen el aumento de la inestabilidad, el incremento a la susceptibilidad para movimientos en masa. La cobertura vegetal presente (pastos limpios, mosaicos de cultivos, espacios naturales, y ocasionalmente, arbustales abiertos), desarrollada en climas fríos de ambientes secos, húmedos muy húmedos y pluviales, es utilizada, principalmente, para diferentes actividades económicas como la ganadería y la agricultura, realizadas en zonas de alta pendiente, sin prácticas de conservación de suelos y en áreas no aptas para este fin, generando así, conflictos de uso por la sobre - explotación severa de los suelos.

Es recomendable mayor seguimiento y estudios de mayor detalle de los procesos denudativos presentes en el sector, debido a la cantidad, a la extensión que abarcan cada uno de ellos y a la cantidad de daños que puedan llegar a generar. Un control sobre estos procesos será el punto de partida para la planeación de proyectos de infraestructura y desarrollo regional, así como para la implantación de planes de mitigación.

### **2.1.2 Susceptibilidad Alta**

Las zonas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango alta cubren 48,55% del área total de esta plancha, se localizan principalmente en el borde suroccidental (zona del Macizo de Santander) y en el costado nororiental (en el área de la Sierra Nevada de El Cocuy), así como en algunas pequeñas regiones del margen central.

Se encuentran moldeadas por material sedimentario de tipo clástico cementado, clástico consolidado y cristalino masivo, de resistencias duras a moderadamente duras, pertenecientes a las diferentes Formaciones del Cretáceo (superior e inferior) y del Paleógeno. Así mismo, los depósitos recientes de tipo morrénico, fluvio-glacial y de neviza.

La zona del Macizo de Santander se caracteriza por presentar densidades de fracturamiento muy bajas, bajas (relacionado, al Sinclinal de Las Mercedes y al Anticlinal de Güicán), moderadas (asociado a la Falla del río Nevado – Río Cóncavo, así como a fallas satélites a esta), altas y muy altas (relacionado a la Falla de Chiscas y fallas satélites a esta), donde predominan las geoformas morfoestructurales (sierras y lomos de presión, sierras homoclinales y sierras anticlinales) y denudacionales (cono y lóbulo de flujo indiferenciado). En la Sierra Nevada de El Cocuy la densidades de fracturamiento desde muy bajas hasta muy altas, asociadas a la Falla de Sácama – Gibraltar y a la Falla del río Cobugón, así como a fallas satélites de estas, junto a determinadas estructuras como el Anticlinal del Río Sinsiga y otros pliegues de importancia local. Morfogénicamente, se asocia a unidades pertenecientes a los de ambientes glacial – periglacial (masa glacial, conos o lóbulos de gelifracción y algunas laderas estructurales de sierra anticlinal glaciada), morfoestructural (lomos de obturación y escarpe de línea de falla) y denudacional (sierras denudadas).

Los suelos son moderadamente finos y finos, donde predominan las asociaciones de órdenes vertisoles y aridisoles, con buenos sistemas de drenaje y espesores bajos (profundidades menores de 25 - 100 cm). La cobertura vegetal que presenta abarca pastos limpios, arbustos abiertos, herbazales y mosaicos de cultivos y espacios naturales, en áreas donde el clima es frío y los ambientes oscilan desde secos hasta muy húmedos. Debido a lo anterior, se registra, para estas zonas, calificaciones muy heterogéneas (desde muy bajas hasta altas) en cuanto a los atributos de suelos y cobertura; a

pesar de esto, se desarrollan algunos procesos morfodinámicos, de tipo deslizamientos y caídas de material (principalmente detrítico), junto a procesos erosivos de tipo surcos y cárcavas de intensidades moderadas a severas.

En la Sierra Nevada de El Cocuy se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional planar y caídas de detritos; con el desarrollo de procesos erosivos de intensidades moderadas, de tipo gelifracción principalmente, surcos y cárcavas. En los municipios de Chiscas, El Espino, Güicán, Guacamayas, Panqueba y El Cocuy.

### 2.1.3 Susceptibilidad Media

Las áreas e susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango medio cubren el 50,64% del área total de la Plancha 137 – El Cocuy. Se localiza principalmente en algunas áreas del borde noroccidental (flanco oriental del Macizo de Santander), en varias regiones del margen suroriental (Cuenca del Cocuy) y en pequeñas zonas del sector central.

Se encuentra relacionada a material sedimentario, de tipo clástico cementado, clástico consolidado y cristalino masivo; de resistencias duras a moderadamente duras, pertenecientes a las diferentes formaciones del Cretáceo (superior e inferior) y del Paleógeno. Así mismo, el material no consolidado (de edad Cuaternario) de tipo aluvial, glacial y de terraza.

Las unidades litológicas que integran este rango de susceptibilidad, hacia el flanco oriental del Macizo, se encuentran afectadas por un amplio rango de valores de densidad de fracturamiento (desde muy bajos hasta muy altos), con predominio de valores altos, asociados a la actividad de las fallas de Chiscas, Río Pantano Grande y Río Nevado, así como a fallas satélites de estas y algunos pliegues como el Sinclinal de Las Mercedes. Predominan las unidades de ambiente morfoestructural como laderas a favor y en contrapendiente, relacionadas a sierras sinclinales y homoclinales, así como algunas pequeñas geformas de los ambientes denudacional (terrazas sobreelevadas “colgadas”) y fluvial – lagunar (planos o planicies de inundación). Para el área de la Sierra Nevada de El Cocuy, los valores de densidad de fracturamiento varían entre muy bajos hasta altos, sin embargo predominan los valores moderados, en comparación a los rangos altos presentes en el sector del Macizo de Santander. Estos valores están influenciados, principalmente por el trazo de la Falla de Sácama – Gibraltar y la Falla del río Cobugón, así como por el Sinclinal de Blanquiscal; estructuras que afectan a las unidades geomorfológicas allí, donde el ambiente morfogenético principal, corresponde a glacial – periglacial, expresado en las unidades geomorfológicas sierras glaciadas y en las laderas a favor y en contrapendiente de sierras anticlinales.

Sobre estas unidades geomorfológicas se desarrollan deslizamientos traslacionales, algunos flujos y procesos de reptación, donde el material predominante de estos, corresponde a suelos (tierra), con la presencia de procesos erosivos, de tipo surcos, de intensidades suaves o bajas. En los municipios de Chiscas, El Espino, Güicán, Guacamayas, Panqueba y El Cocuy.

En el Macizo de Santander los suelos se caracterizan por ser jóvenes (poco evolucionados), por poseer texturas gruesas, con alto contenido en arcillas y poca materia orgánica, de profundidades muy bajas a bajas (menos de 50 cm de espesor). Cubiertos por herbazales densos de tierras firme, así como por mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, se encuentran ubicados en ambientes húmedos de climas fríos y extremadamente fríos. En la Sierra Nevada de El Cocuy el atributo edafológico corresponde fundamentalmente a suelos bien evolucionados, de texturas gruesas, con bajos espesores y buenos sistemas de drenaje, con poca cobertura vegetal, salvo algunos herbazales, debido a presentar, en su mayoría, zonas arenosas naturales y afloramientos rocosos. A pesar de no registrar procesos morfodinámicos, se observa fuertes procesos erosivos de tipo glacial (gelifracción), de intensidades moderadas a severas, donde el clima (subnival pluvial), puede debilitar las condiciones físicas de la roca, aumentando la intensidad de este proceso.

#### **2.1.4 Susceptibilidad Baja**

Las áreas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango bajo cubren el 0,66% del área total de la Plancha 137 – El Cocuy. Están localizadas en el Municipio de Chiscas, sobre las lagunas Negra y Espinela.

Las áreas que integran el rango de susceptibilidad muy baja no presentan movimientos en masa y se asocian a cuerpos de agua perenne. Estas áreas se caracterizan por presentar suelos pantanosos muy superficiales, con poca cobertura (a excepción de algunos pocos arbustos y vegetación herbácea) en clima frío - húmedo.

#### **2.1.5 Susceptibilidad Muy Baja**

Las áreas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango muy bajo cubren el 0,07 km<sup>2</sup> del área total de la Plancha 137 – El Cocuy. Están localizadas en los municipios de Chiscas, Güicán y Tame, en una franja discontinua e irregular en dirección SSE – NNW.

Las áreas que integran el rango de susceptibilidad baja frente a la ocurrencia de procesos morfodinámicos, se asocian a las diferentes quebradas y ríos de importancia regional, así como a diferentes cuerpos de agua y/o zonas circundantes a ellas, distribuidas de forma muy heterogénea dentro de la Plancha 137 – El Cocuy.

Estas áreas se caracterizan por presentar suelos muy superficiales, con poca cobertura (a excepción de algunos pocos arbustos y vegetación herbácea) en climas que varían desde frío seco (en el borde occidental, sobre la región del Macizo de Santander) hasta subnival pluvial (en la zona oriental, en la Sierra Nevada de El Cocuy). No se registran movimientos en masa en esta categoría de susceptibilidad.

## 2.2 AMENAZA RELATIVA TOTAL

En el Mapa de Amenaza Relativa Total por Movimientos en Masa a escala 1:100.000 de la Plancha 137 – El Cocuy se establecieron tres categorías de amenaza: muy alta, alta y media (Figura 11). Las áreas de amenaza alta tienen la mayor cobertura en esta plancha y están localizadas al oeste de esta plancha. A continuación se describen las características de cada categoría.

### 2.2.1 Amenaza Muy Alta

Las zonas identificadas con amenaza muy alta presentan una extensión del 19,85% del área total de esta plancha. Se localiza en parte de la Sierra Nevada de El Cocuy, sobre áreas específicas: en algunos sectores de los cauces de los ríos (de importancia regional o local) y de sus principales afluentes y quebradas, distribuidos sobre los municipios de Cubará (río Cobaría), Chiscas (río Rifles, quebradas Chuscales y El Caliche), Güicán (ríos Bachirá, Cóncavo, El Mosco, Lagunillas, Ratoncito, Royata, Rudiván y Sinsiga, quebradas La Caja y Los Pájaros) y Tame (Quebrada Paloblanco o La Ceja). El rango Muy alto, también se halla presente en las zonas topográficamente más altas de esta importante cadena montañosa (Sierra Nevada de El Cocuy).

La influencia de los detonantes clima y sismo, son muy diferentes entre ellos; mientras el detonante sismo exhibe sus mayores valores (rangos altos y muy altos, es decir valores de la aceleración máxima horizontal a nivel de roca (PGA), desde 200 cm/s<sup>2</sup> hasta 300 cm/s<sup>2</sup> y superiores a este valor, respectivamente), el detonante clima presenta todos los valores de clasificación, es decir rangos desde muy bajos (precipitaciones máximas diarias menores a 50 mm) hasta muy altos (precipitaciones máximas diarias superiores a 220 mm), donde predominan los valores altos (precipitaciones máximas diarias entre 150 mm y 220 mm). Según lo anterior, se observa la fuerte influencia del detonante sísmico, en comparación al detonante clima.



### 2.2.2 Amenaza Alta

Las zonas identificadas con amenaza alta presentan una extensión del 63,39% del área total de esta plancha. Su distribución es heterogénea y se localiza en el sector oriental (sobre la Cuenca del Cocuy), al centro y suroccidente (Cocuy, Panqueba, Guacamayas, El Espino, Chiscas), asociada al Macizo de Santander.

La influencia de los detonantes clima y sismo, siendo el primero de ellos, el de mayor influencia en la zona (rangos desde bajos hasta muy altos), alcanzando precipitaciones máximas superiores a 220 mm diarios, en los casos más extremos. Por su parte, el detonante sísmico, desarrolla calificaciones desde medias a muy altas, donde los valores predominantes corresponden a altos, es decir se presentan rangos de aceleraciones máximas horizontales a nivel de roca (PGA), desde 200 cm/s<sup>2</sup> a 300 cm/s<sup>2</sup>.

Estas áreas se caracterizan por presentar susceptibilidad baja a alta en geología por rocas areniscas y shales clásticas, cementadas y consolidados de las formaciones Río Negro, Chipaque, Colón – Mito Juan y Areniscas de Socha y depósitos glaciofluviales y glaciolacustres. La variable geomorfología tiene susceptibilidad media a muy alta sobre geoformas de génesis glacial y estructural. Asimismo, susceptibilidades media a alta por suelos edáficos cuyo material parental son rocas sedimentarias clásticas arenosas y depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas sedimentarias, con erosión moderada a ligera, clima frío muy húmedo, sobre cobertura con susceptibilidad media a alta, sobre coberturas de pastos limpios, mosaico de pastos con esquistos naturales y herbazal denso de tierra firme no arbolado.

Los movimientos en masa en este nivel de amenaza son de tipo deslizamiento traslacional planar, caída de detritos, reptación de suelos y flujo, con el desarrollo de procesos de meteorización y procesos erosivos de tipo surcos y cárcavas, de intensidades moderadas a severas. En términos generales, los daños asociados a estos procesos son severos y pueden generar pérdidas de vidas humanas, destrucción parcial o total de la infraestructura vial y de las viviendas del sector (principalmente de tipo rural); así mismo algunas actividades económicas como la ganadería y la agricultura pueden verse seriamente afectadas o comprometidas.

### 2.2.3 Amenaza Media

Las zonas identificadas con amenaza media presentan una extensión del 16,78% del área total de esta plancha. Se presenta en dos franjas discontinuas e irregulares paralelas entre sí, con dirección SE – NW; la franja oriental sobre la Sierra Nevada de El Cocuy y la occidental sobre el Macizo de Santander. En

los municipios de Chiscas, Güicán, Tame, Carcasí, Macaravita, El Espino, Guacamayas, Panqueba, El Cocuy y San Mateo.

La influencia de los detonantes clima y sismo, los cuales presentan calificaciones desde muy bajas hasta altas y desde medias a muy altas respectivamente; en general, los valores predominantes corresponden a muy bajos (para el detonante clima) y altos (para el detonante sismo), es decir se presentan precipitaciones máximas diarias menores a 50 mm, mientras que los rangos para la aceleración máxima horizontal a nivel de roca (PGA), oscilan desde 200 cm/s<sup>2</sup> hasta 300 cm/s<sup>2</sup>.

Estas zonas se encuentran moldeadas por rocas clásticas consolidadas de arenisca de Formación Une, shale de las formaciones Colón y Chipaque, lodolitas de la Formación Los Cuervos y fragmentos de arenisca lítica de grano fino a medio con matriz arcillosa de depósitos glaciales till basales. Estas litologías generan susceptibilidad por geología es media. También, las geofomas asociadas a este nivel de amenaza son de origen glacial, denudacional y estructural que generan susceptibilidades baja a alta. Asimismo, la susceptibilidad de los suelos edáficos es baja a alta en estas áreas; relacionada con relieve de montaña y crestones, muy frío - húmedo, intensidad de erosión moderada a ligera y su material parental son areniscas, arcillolitas calcáreas, lutitas calcáreas y rocas sedimentarias clásticas cementadas. Además, la susceptibilidad de la variable coberturas es baja a media en este rango de amenaza, debido a que presenta cobertura de áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal denso de tierra firme con arbustos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, arbustal abierto, bosque denso alto de tierra firme y herbazal denso de tierra firma.

En esta categoría de amenaza se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional planar, caídas, reptación de suelo y flujo de detritos, desarrollando procesos de meteorización y procesos erosivos de tipo laminar, surcos, cárcavas y gelifracción, de intensidades moderadas. Localizados en las veredas Tapias y los alrededores del centro urbano Las Mercedes (Municipio de Chiscas); en los sitios conocidos como Puente Grande, San Ramón y San Antonio y los alrededores del centro urbano El Espino (Municipio El Espino); en los alrededores de los centros urbanos de los municipios El Cocuy, Panqueba y Guacamayas.



## CONCLUSIONES

La zonificación de la amenaza obtenida, indica la potencialidad de ocurrencia de movimientos en masa categorizada por rangos y que para la escala de análisis, presenta una coherencia general de las zonas en las que los movimientos en masa tienen mayor potencial de ocurrencia.

En el proceso de formación de la susceptibilidad de la variable geología se determina que los materiales como areniscas clásticas cementadas de la Formación Rio Negro y cantos redondeados de areniscas, limos y arcillas de depósitos glaciofluviales son los más susceptibles a generar procesos erosivos intensos y movimientos en masa de tipo deslizamiento al sureste del Municipio de Chiscas. Considerando que los atributos resistencia y fábrica se califican asumiendo que dichos materiales no están degradados, reflejando una limitación de la cartografía existente; debido a la posición geográfica de Colombia es de esperar que las rocas tengan estadios de degradación que van de muy baja a muy alta degradación, siendo posible el aumento del nivel de amenaza en determinados tipos de rocas, especialmente al este de la Plancha 137 – El Cocuy cerca al Sinclinal de Las Mercedes y algunos plegamientos asociados y la Falla de Sácama y fallas satélites a esta.

Morfogenéticamente la región presenta una influencia de ambientes glaciales y estructurales, su expresión está definida por la acción combinada de moderados a severos procesos de meteorización, erosión y transporte de origen fluvio-glacial, que han dejado remanentes de las geoformas pre – existentes. Los movimientos en masa registrados en esta plancha están sobre geoformas de conos de deslizamientos indiferenciados y conos o lóbulos de gelifracción de origen glacial; cono o lóbulo coluvial y de soliflucción de origen denudacional y ladeas estructurales a favor y contrapendiente asociados a pliegues sinclinales y anticlinales de génesis estructural como el Sinclinal de La Bricha.

La susceptibilidad de la variable de suelos presenta cuatro rangos: muy bajo, bajo, medio y alto, siendo la susceptibilidad media la de mayor extensión de área; corresponden generalmente con texturas finas, arcillosas y con bajo contenido de materia orgánica, tiene buen sistema de drenaje, su espesor varía entre 25 – 150 cm y el clima es frío - húmedo. La susceptibilidad alta representa una cuarta parte del área de estudio, tiene relieves de montaña y loma, clima frío. Presenta material de texturas finas, franco - arcillosos y arcillas franco –

arcillo – arenosa y franco – arcillo – limosa. Las áreas de susceptibilidad baja y muy baja por suelos edáficos presentan espesores superficiales menores a 50 cm y clima frío a nieves perpetuas.

Las unidades de cobertura presentes en esta plancha son en total 30, siendo las de mayor representatividad las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, Herbazal denso de tierra firme no arbolado y bosque denso. En la Plancha 137 – El Cocuy se presentan cuatro categorías de susceptibilidad: muy baja, baja, media y alta. La susceptibilidad media tiene la mayor extensión con coberturas de herbazales. En esta plancha la susceptibilidad alta y media representan el 86,55% de toda el área de estudio.

Las categorías de la susceptibilidad de los diferentes atributos de los suelos edáficos ha permitido identificar la amenaza relativa a movimientos en masa, por lo tanto se pueden identificar zonas prioritarias para el manejo y prevención de este tipo de eventos naturales. Para esta plancha se puede observar que hay una susceptibilidad del 85.55% entre media y alta, lo cual es un indicador para tomar medidas de mitigación y planificación. Las variables: clima y pendiente, no evaluadas en la temática de suelos para este proyecto, constituyen los mayores detonantes de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

Finalmente con base en los resultados de la susceptibilidad de todas las variables que influyen en su cálculo (geología, geomorfología, suelos y cobertura) de la Plancha 137 – El Cocuy, los rangos de susceptibilidad varían en gran parte de la zona de estudio entre media a alta. Las áreas con susceptibilidad baja se encuentran sobre algunas pequeñas zonas a lo largo de las principales corrientes de agua como los ríos Orozco y Los Frailes y lagunas Negra, Espinela, El Duende, Grande de Las Verdes y La Isla.

La susceptibilidad total presenta cinco categorías: muy alta, alta, media, baja y muy baja. Siendo las áreas de susceptibilidad media abarca la mayor extensión sobre la Plancha 137 – El Cocuy, estas zonas se caracterizan por presentar una susceptibilidad en la variable geología media a alta predominantemente, debido en gran parte a areniscas clásticas cementadas y depósitos aluviales y glaciofluviales; la susceptibilidad por geomorfología son predominantemente medias a altas laderas estructurales inclinadas a favor y en contra de la pendiente topográfica de ambientes estructurales y glaciales, además de movimientos en masa de tipo deslizamiento, flujo y caída, que se encuentran más acentuados en los municipios de Chiscas, El Espino, San Mateo, Guacamayas, Panqueba, Güicán y El Cocuy; en suelos edáficos se presentan susceptibilidades muy bajas a altas por las zonas climáticas frías - húmedas principalmente y su taxonomía de ordenes inceptisoles y entisoles; finalmente, en su categoría de susceptibilidad por cobertura se encuentra entre muy baja a

alta, siendo predominantes las coberturas como pastos limpios y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva. Estas cualidades generan condiciones propicias para una clasificación por susceptibilidad total de rango alto.

El mapa de zonificación de amenaza relativa total por movimientos en masa muestra tres rangos de calificación: media, alta y muy alta, predominando en gran parte del área de estudio la calificación alta, con un porcentaje del 63,39%, lo cual indica que en general la Plancha 137 – El Cocuy tiende a ser muy susceptible a la generación de movimientos en masa de tipo deslizamiento, caída, flujo y reptación.

Los movimientos en masa registrados en campo se concentran al suroccidente de esta plancha, entre los municipios de Chiscas, El Espino, Guacamayas y Panqueba. Estos movimientos en masa se reflejan en el análisis del Mapa Nacional de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa a Escala 1:500.000 generado por el SGC (2010).

En este capítulo de conclusiones es muy importante tener presente, que el proyecto desarrollado por el Servicio Geológico Colombiano representa un trabajo sistemático para la creación o la consolidación de cartografía temática del territorio andino colombiano enfocada al estudio de la amenaza por movimientos en masa lo cual implica que los resultados presentados para la Plancha 137 – El Cocuy tienen continuidad con planchas adyacentes garantizando de esta manera el conocimiento integral del territorio específicamente en cuanto a los aspectos correlativos con la amenaza natural por movimientos en masa.

Esta memoria explicativa y el mapa concentra e integra nueva información temática fundamental (geológica, geomorfológica, edáfica y de cobertura del suelo) en el conocimiento de la amenaza por movimientos en masa; como consecuencia, esta zonificación servirá de guía para las instituciones públicas y privadas, de orden regional y nacional, interesados en el diagnóstico, planificación y desarrollo territorial que conlleven a un mejor uso del suelo de acuerdo a sus potencialidades y restricciones.

El presente estudio a escala 1:100.000 tiene una mejor resolución comparado con estudios anteriores y posibilita el análisis a nivel de regiones, provincias e incluso de cuencas hidrográficas, potencializando diagnósticos sobre la degradación del medio natural y estructurar políticas para su prevención y mitigación; sin embargo, se recomienda realizar estudios a escalas 1:25.000 o mayores, en especial en las zonas de amenaza muy alta y alta, para establecer con mayor detalle las acciones a emprender sobre los usos del suelo y la gestión sostenible del territorio.

El proyecto ha sido desarrollado con el concurso de los departamentos de Geología o Ciencias de la Tierra de universidades importantes del país, con lo cual se garantiza la transferencia de conocimiento en este campo y la ampliación de masa crítica sobre la temática.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HOEK, E. & BROWN, E. T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, 34(8), 1165 - 1186.
- HUGGERT, R. 2007. Fundamentals of Geomorphology. Edited by John Gerrard. Ed. 2. 483 p. ISBN 0 - 203 - 94711 - 8. Routledge Editions, New York, Estados Unidos.
- IGAC. 1986. Estudio General de Suelos del Departamento de Arauca. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI. Bogotá DC.
- IGAC. 2003. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Santander, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá DC.
- IGAC. 2003. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Norte de Santander, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá DC.
- IGAC. 2004. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI. Bogotá DC.
- IGAC. 2005. Hoja No. 137 – El Cocuy escala 1:100.000. Subdirección de geografía y cartografía. Bogotá.
- INGEOMINAS. 1981. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas. Geología regional de la Sierra Nevada de El Cocuy, plancha 137, El Cocuy. Departamento de Boyacá e Intendencia de Arauca. Bogotá, D.C.
- INGEOMINAS. 1985. Instituto Colombiano de Geología y Minas. Reseña explicativa mapa geológico preliminar plancha 137 El Cocuy. Escala 1:100.000. Bogotá, D.C.
- INGEOMINAS. 2000. Instituto Colombiano de Geología y Minas. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Arauca. Escala 1:250.000. Memoria Explicativa. Bogotá, Colombia.

- INGEOMINAS. 2004. Instituto Colombiano de Geología y Minas. Desarrollo Metodológico y Estándares de la Zonificación Geomecánica teniendo en cuenta la Variable Edáfica, Volumen V. 24p.
- PMA - GCA. 2007. PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO. Geociencias para las comunidades Andinas. Movimientos en masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería. Publicación Geológica Multinacional, 4.
- SGC. 2012. Propuesta Metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. 88p. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá - Colombia.
- SGC. 2012. Documento metodológico para la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimiento en masa, escala 1:100.000, Versión 1. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C.
- SGC. 2013a. Documento metodológico para la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimiento en masa, escala 1:100.000, Versión 2. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C.
- SGC. 2013. SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Estándares de Cartografía Geomorfológica Aplicada a Movimientos en Masa para Planchas a Escala 1:100.000. Versión 1, 44p. Bogotá. Colombia.
- SUÁREZ, J. 2001. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga: UIS.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, UNAM. 1989. Diccionario geomorfológico. Coordinación de Ciencias. Instituto de geografía. 337 p. ISBN: 968 – 36 - 0862 - 0. México, D.F, México.
- USDA. 2010. Clave para la Taxonomía de suelos. Onceava Edición. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de los Recursos Naturales. Traducción de CARLOS Ortiz - Solorio y Ma. Del Carmen Gutiérrez - Castorena. México. 366 pág.
- ZINCK, J. 2012. Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. Faculty of Geo - Information Science and Earth Observation. 123 p. ISBN: 90 6164 339 2. Enschede, Holanda.