



**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN  
No. 041 DE 2013**

***MEMORIA EXPLICATIVA DE LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y  
LA AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000  
PLANCHA 138 – TAME***

**Bucaramanga, Mayo de 2015**



**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN  
No. 041 DE 2013**

**MEMORIA EXPLICATIVA DE LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y  
LA AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000  
PLANCHA 138 – TAME**

**EQUIPO EJECUTOR – UNIVERSIDAD**

**Ph. D. Juan Diego Colegial Gutiérrez**  
Dirección Proyecto  
**Ph. D. Giovanni Jiménez**  
Dirección Técnica Proyecto  
**Geol. Javier Jairth Reyes G.**  
**Geol. Jorge Leonardo Chaparro**  
**Geol. Jorge Leonardo Camargo**  
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  
**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 2015**

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	11
ANTECEDENTES.....	12
CONTEXTO GENERAL DE LOS ESTUDIOS .....	13
1 METODOLOGÍA APLICADA .....	15
1.1 SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA .....	18
1.1.1 Susceptibilidad Muy Alta .....	18
1.1.2 Susceptibilidad Alta .....	19
1.1.3 Susceptibilidad Media .....	19
1.1.4 Susceptibilidad Baja.....	20
1.1.5 Susceptibilidad Muy Baja.....	20
1.2 SUSCEPTIBILIDAD POR GEOMORFOLOGÍA.....	21
1.2.1 Susceptibilidad Muy Alta .....	22
1.2.2 Susceptibilidad Alta .....	22
1.2.3 Susceptibilidad Media .....	23
1.2.4 Susceptibilidad Baja.....	23
1.2.5 Susceptibilidad Muy Baja.....	24
1.3 SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS.....	25
1.3.1 Susceptibilidad Alta .....	26
1.3.2 Susceptibilidad Media .....	26
1.3.3 Susceptibilidad Muy Baja.....	27
1.4 SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURAS DE LA TIERRA .....	28
1.4.1 Susceptibilidad Muy Alta .....	29
1.4.2 Susceptibilidad Alta .....	29
1.4.3 Susceptibilidad Media .....	30
1.4.4 Susceptibilidad Baja.....	30
1.4.5 Susceptibilidad Muy Baja.....	30
1.5 EVALUACIÓN DE DETONANTES.....	31
1.5.1 Detonante Climático .....	32
1.5.2 Detonante Sismo .....	34
2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA .....	37

<b>2.1</b>	<b>SUSCEPTIBILIDAD.....</b>	<b>37</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Susceptibilidad Muy Alta .....</b>	<b>38</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Susceptibilidad Alta .....</b>	<b>38</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Susceptibilidad Media .....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Susceptibilidad Baja.....</b>	<b>40</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Susceptibilidad Muy Baja.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2</b>	<b>AMENAZA RELATIVA TOTAL .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Amenaza Muy Alta .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Amenaza Alta.....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Amenaza Media.....</b>	<b>43</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Mapa de localización de la Plancha 138 - Tame.....	11
<b>Figura 2.</b> Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:500.000 de la Plancha 138 – Tame. Adaptado de la Plancha 5 - 13 y 5 - 14 (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. ....	16
<b>Figura 4.</b> Calificación de la susceptibilidad de la variable Geología. ....	21
<b>Figura 5.</b> Calificación de la susceptibilidad de la variable Geomorfología. ....	24
<b>Figura 6.</b> Calificación de la susceptibilidad de la variable Suelos. ....	28
<b>Figura 7.</b> Calificación de la susceptibilidad de la variable Cobertura de Tierra. ....	31
<b>Figura 8.</b> Mapa final del detonante por Factor Clima. ....	34
<b>Figura 9.</b> Mapa final del detonante por Factor Sismo. ....	36
<b>Figura 10.</b> Mapa de susceptibilidad total para la Plancha 138 – Tame. ....	37
<b>Figura 11.</b> Mapa de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa de la Plancha 138 – Tame. ....	41

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<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. ....	17

## 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 presentan los resultados correspondientes a la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa generada para la Plancha 138 - Tame, departamentos de Arauca y Boyacá, 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” versiones de 2012 y 2013, elaborados por el Servicio Geológico Colombiano.

La superficie total de la Plancha 138 - Tame corresponde principalmente al territorio del Departamento de Arauca y una mínima parte al Departamento de Boyacá, incluye los municipios de Tame, Fortul y Saravena en el Departamento de Arauca, y los municipios de Cubará y Güicán en el Departamento de Boyacá.

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 sismo, se generó la zonificación de amenaza, definiéndose para esta plancha tres categorías de amenaza: amenaza media, amenaza alta y amenaza muy alta, siendo la amenaza alta la de mayor ocurrencia con un cubrimiento del 57,42% de la superficie total de la Plancha 138 - Tame.



## **ABSTRACT**

This explanatory document provides results of the susceptibility and relative hazard zoning by mass movement for the sheet 138 - Tame, Arauca and Boyacá departments, based on the methodology referred to 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 138 - Tame, most corresponds to part of the Arauca Department territory and a minimal part to Boyacá Department, includes Tame, Fortul and Saravena municipalities in the Arauca Department, and Cubará and Güicán municipalities in the Boyacá Department.

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 plate.

Based on 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 detonating factors as climate and seismicity, the threat zoning was generated, defining three categories of threat for this map, which are: medium, high, and very high, where the medium threat level is the predominant, covering a 57.42% of the total surface of the sheet 138 – Tame.

## INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de movimientos del terreno ha despertado 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 de vidas humanas, ambientales y económicas.

Para distinguir estos fenómenos o 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, 2012). 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, 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 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 138 - Tame, 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

La Plancha 138 - Tame se encuentra ubicada en el sector nororiental del territorio colombiano, limitado al occidente por el Departamento de Boyacá y al este por el Departamento de Arauca. La zona del Departamento de Boyacá presente en el área de estudio se encuentra dentro de los límites del Parque Nacional El Cocuy, y el resto de la zona de estudio abarca parte del occidente del Departamento de Arauca (Figura 1).

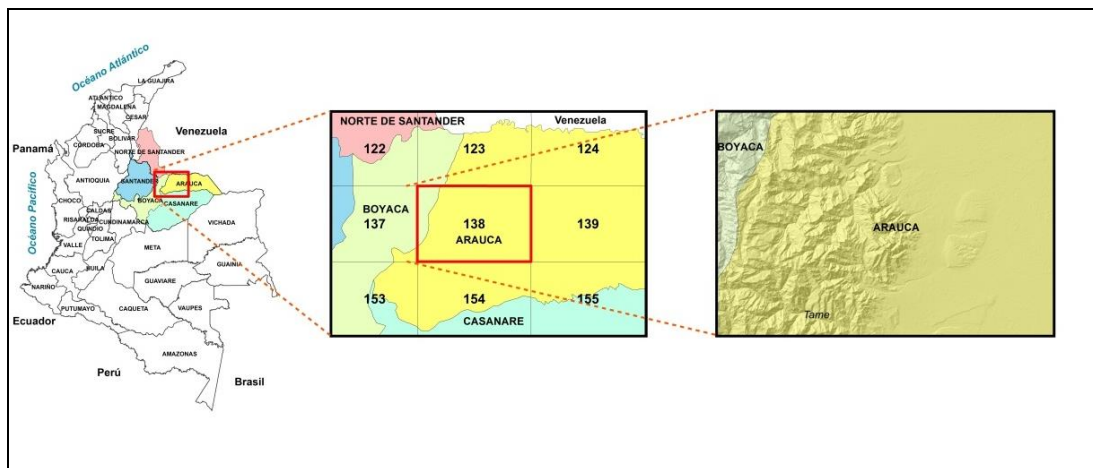


Figura 1. Mapa de localización de la Plancha 138 - Tame.

Dentro de su fisiografía son claramente distinguibles dos zonas: un área montañosa al occidente con alturas de hasta 4.200 metros sobre el nivel del mar (msnm) en la Sierra Nevada de El Cocuy, y una zona plana que constituye la mayor parte del territorio, la cual inicia desde el piedemonte cordillerano y se extiende hacia el oriente hasta el límite con Venezuela.

Está referenciada según Datum Magna – Sirgas con origen Bogotá, con coordenadas geográficas 4°35'46".3215 latitud norte y 74°04'39".0285 longitud oeste y coordenadas planas:

NW: X: 880.000 - - Y: 1.240.000

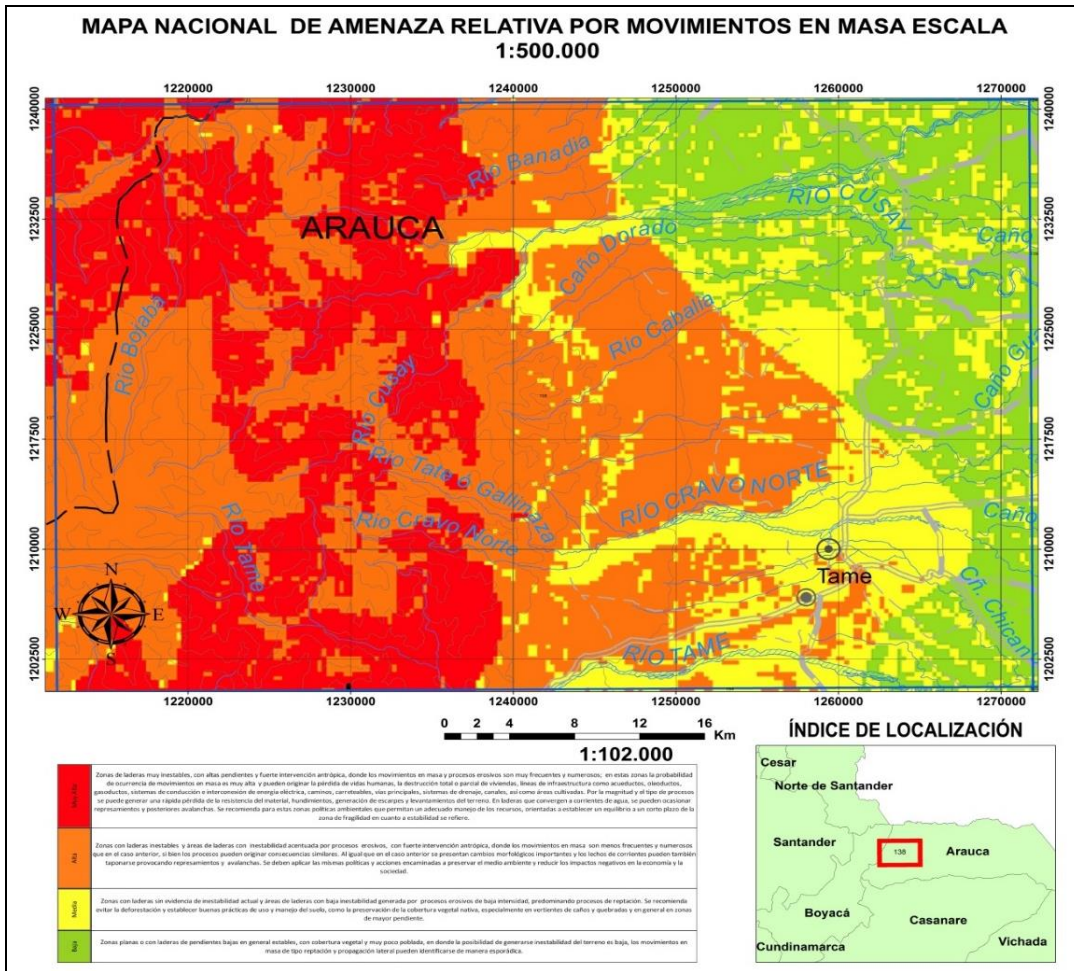
NE: X: 940.000 – Y: 1.240.000

SW: X: 880.000 – Y: 1.200.000

SE: X: 940.000 – Y: 1.200.000

## **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 138 - Tame varían desde muy altas a bajas (Figura 2). En el primer caso, las calificaciones altas y muy altas se restringen a la zona montañosa y la zona del piedemonte que es controlada estructuralmente por fallas locales y regionales como la Falla Guaicáramo dentro de los límites del Parque Nacional El Cocuy sobre rocas de edad Cretácico pertenecientes a la Formación Río Negro. Las áreas de amenaza relativa baja tienen una extensión menor y se relacionan con las zonas planas y semiplanas localizadas al este de la Plancha 138 - Tame, sobre depósitos recientes depositados por los cauces: río Cusay, río Cravo Norte y río Tame. Las áreas con amenaza relativa media, están relacionadas esencialmente a la incisión que generan los cauces activos en la zona del piedemonte y el control estructural que ejerce el Sistema de Fallas de Guaicáramo sobre los materiales depositados en el área más proximal.



**Figura 2.** Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:500.000 de la Plancha 138 – Tame. Adaptado de la Plancha 5 - 13 y 5 - 14 (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 las decisiones en los departamentos e instituciones como la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia; 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 que describen con detalle la forma como se determinó la susceptibilidad a partir de cada una de las variables involucradas, y los resultados obtenidos a partir del procesamiento de calificación, estos insumos al igual que los datos de campo, con el debido procesamiento analítico.

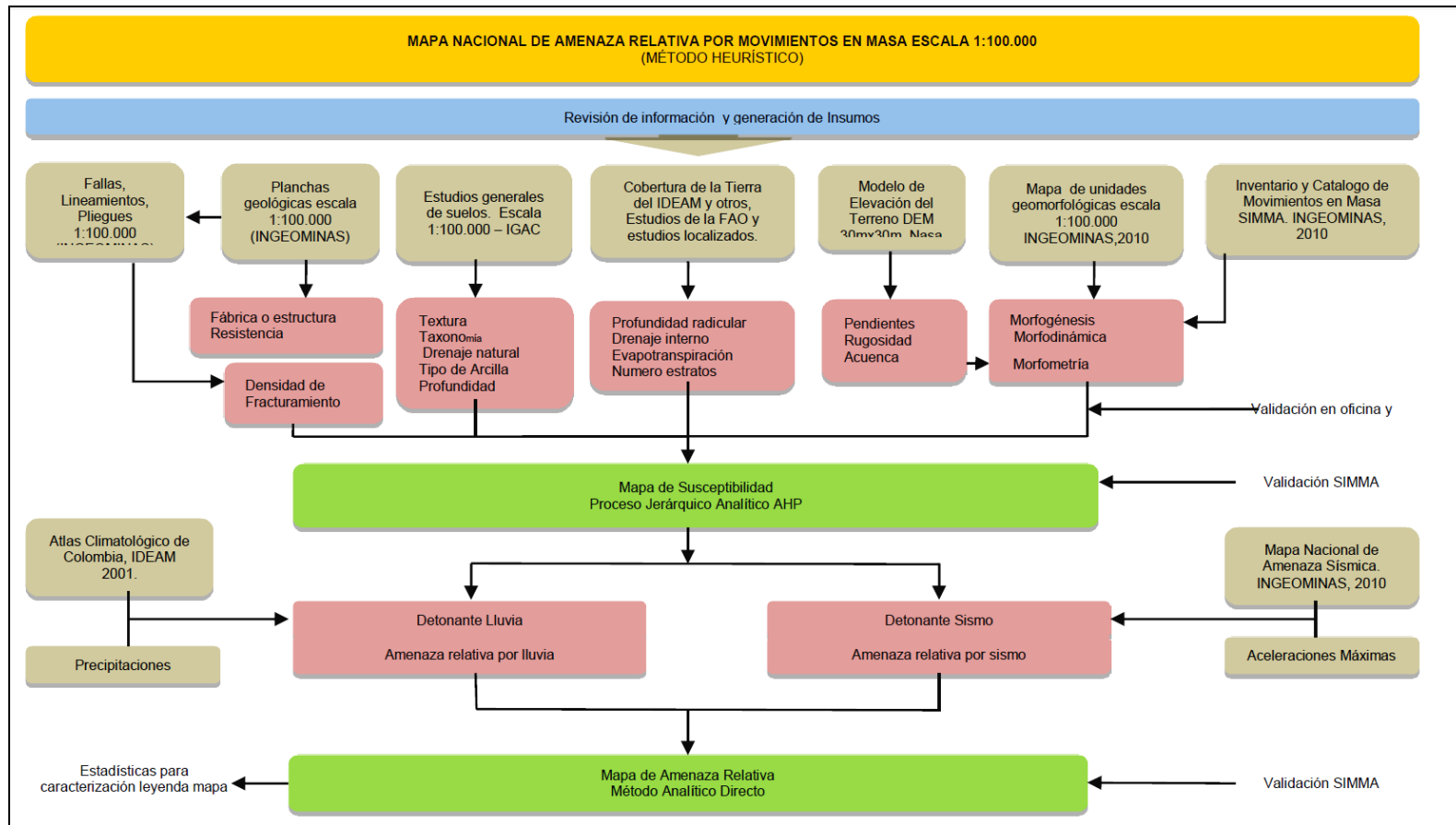
## 1 METODOLOGÍA APLICADA

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 los municipios de Tame, Fortul y Saravena en el Departamento de Arauca y los municipios de Cubará y Güicán en el Departamento de Boyacá, 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.

## Servicio Geológico Colombiano – Universidad Industrial de Santander



**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.



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

**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 metros 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

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

## **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 138 - Tame a escala 1:100.000 (*Murillo, A., et al, 1982*) 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 138 - Tame la susceptibilidad por geología se presenta en la Figura 4, donde se registraron cinco categorías: muy baja, baja, media, alta y muy alta, siendo las áreas de susceptibilidad media por geología las más extensas. Cada uno de estos niveles de susceptibilidad obedece a la influencia de los diferentes aspectos litológicos y estructurales que se presentan en esta plancha, caracterizado por presentar material clástico cementado.

A continuación se describe cada nivel de susceptibilidad.

### **1.1.1 Susceptibilidad Muy Alta**

Las zonas de susceptibilidad muy alta comprenden el 0,18% del área total de la Plancha 138 - Tame y se localizan al noreste del Municipio de Güicán (Departamento de Boyacá) y en los municipios de Fortul y Tame (Departamento de Arauca).

Estas áreas corresponden a sitios muy inestables sobre material de edad reciente de tipo coluvial compuesto por bloques, gravas, arenas y limos. A pesar de abarcar valores de densidad de fracturamiento, desde muy bajos hasta medios (con predominio de rangos bajos), estas áreas se encuentran afectadas por procesos de fallamiento a causa del Sistema de Fallas del Borde Llanero, así como por fallas satélites a estas. En este nivel de susceptibilidad por geología no se registran movimientos en masa.

### **1.1.2 Susceptibilidad Alta**

Las zonas de susceptibilidad alta comprenden el 14,93% del area total de la Plancha 138 - Tame y se localiza al sureste del Municipio de Cubará y en los depositos en los bordes de los lechos de los rios Cubugón y Sinsiga en el Municipio de Güicán (Departamento de Boyacá). Tambien, en los municipios de Fortul y Tame en el centro de esta plancha y al limite este en forma de una franja de dirección N – S de 10 km de ancho.

Estas areas se caracterizan por presentan cantos redondeados de areniscas, limos y arcillas de origen fluvio-glacial y glaciofluvial y lodolitas moderadamente duras, clasticas, consolidadas de la Formación Caja principalmente, Formación Colon Mito – Juan y Formacion Capacho. El material esta afectado por el Sistema de Fallas del Borde Llanero y plegamietnos relacionados con el Anticlinal de Tame, donde los valores de densidad de fracturamiento oscilan desde muy bajos hasta muy altos.

Los movimientos en masa son de tipo deslizamiento traslacional, caída de rocas, y fllujo de detritos principalmente, con el desarrollo de procesos erosivos de tipo surcos y cárcavas de intensidades bajas a moderadas. Estan localizados en la vereda San Antonio en el Municipio de Tame.

### **1.1.3 Susceptibilidad Media**

Las zonas con susceptibilidad media comprenden el 79,53% del area total de la Plancha 138 - Tame y cubre el occidente y centro de esta plancha.

El material constituyente corresponde en su mayoría a rocas clásticas cementadas de resistencia dura, pertenecientes a las diferentes formaciones del Cretácico (Formación Rio Negro o Grupo Cáqueza y Formación Aguardiente o Une), Neogeno (Formacion Guayabo, Formacion Corneta), depositos cuaternarios (Depositos de abanicos aluviales) y 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 los diferentes rasgos y tendencias estructurales como son las fallas de Guaicáramo, Aguafría, Aguablanca, Tate, el Sistema de Fallas del Borde Llanero y el Anticlinal de Tame.

Los movimientos en masa son de tipo deslizamiento traslacional y flujo de detritos en su mayoría, con el desarrollo de procesos erosivos de tipo surcos de intensidad suave a moderada. Se presentan al suroccidente del Municipio de Fortul, en el limite oeste del

Municipio de Tame con los municipios de Güicán y Fortul y en las veredas Angosturas y Altamira (Municipio de Tame) en el Departamento de Arauca.

#### **1.1.4 Susceptibilidad Baja**

Las zonas con susceptibilidad baja comprende el 1,01% del area total de esta plancha y se localiza en los municipios de Cubará (Departamento de Boyacá) en inmediaciones de los ríos Calafitas y Cusay; Fortul en alrededores del río Bojabá y algunas quebradas menores y Tame en cercanías de los ríos Tame y Cravo Norte (Departamento de Arauca).

Este nivel de susceptibilidad se presenta sobre calizas y chert negros con foraminíferos, laminación paralela muy delgada y algunas intercalaciones de shales de edad Cretáceo de la Formación La Luna; depósitos cuaternarios de tipo terraza, cauce y llanura aluvial, compuestos por gravas, arenas y limos. El material esta afectado por estructuras como el Sistema de Fallas del Borde Llanero (y fallas satélites a esta) así como al Anticlinal de Tame, las densidades de fracturamiento registradas para este rango de clasificación, abarcan desde valores bajos hasta valores medios, con el predominio de los valores bajos. En las areas con este nivel de susceptibilidad no se registran movimientos en masa.

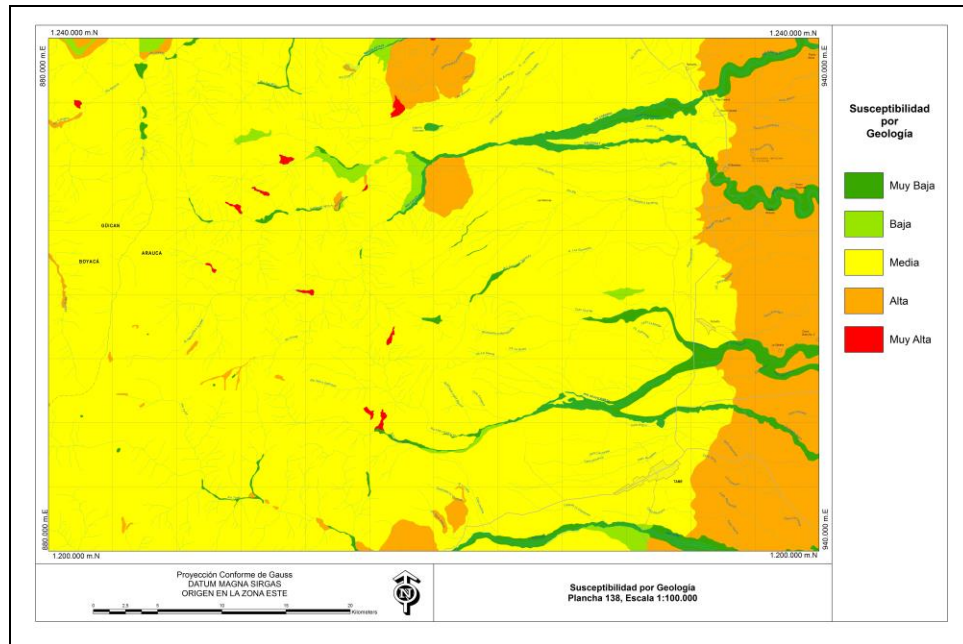
#### **1.1.5 Susceptibilidad Muy Baja**

Las zonas con susceptibilidad baja comprende el 4,34% del area total de esta plancha y se localiza asociada a cuerpos de agua, en el margen nororiental, a lo largo de los ríos Caranal y Cusay; al suroriente y al suroccidente en algunos tramos del río Tame; en la parte oriental sobre algunos sectores de los ríos Cabalia o Tamacay, Tate o Gallinaza y Cravo Norte; en la zona noroccidental sobre sectores del río Bojabá; en la parte central sobre algunos tramos de la quebrada Agua Fria ó Tuneba y al norte en algunos sectores del río Calafitas, río San Miguel y la laguna Colorada.

Esta clasificación de susceptibilidad se encuentra distribuida sobre depósitos cuaternarios lagunares y de tipo aluvial, estas areas se caracterizan por tener densidad de fracturamiento muy baja a alta asociadas principalmente al trazo del Sistema de Fallas del Borde Llanero.

En el Municipio de Tame se presentan procesos morfodinamicos en pequeñas areas del río Tate o Gallinaza, con presencia de movimientos en masa de tipo deslizamiento de tierra (suelo); producto de procesos de meteorización y procesos erosivos (de tipo surcos) de intensidades bajas a moderadas.

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 alta y alta en unidades geomorfológicas denudacionales, estructurales y glacial; media en geoformas de ambiente fluvial como terrazas fluviales y llanuras de inundación y susceptibilidad baja y muy baja en geoformas de ambiente denudacional y fluvial (Figura 5). Siendo las áreas de susceptibilidad media las más extensas. El borde occidental de esta plancha (Sierra Nevada de El Cocuy) presenta rango alto y el margen oriental (área del piedemonte y de planicie) valores de susceptibilidad media y baja.

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 variable 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 áreas de susceptibilidad muy alta cubren el 11,51% de la Plancha 138 - Tame y se localiza en la Sierra Nevada del Cocuy, al occidente de esta plancha.

Estas zonas están presentes sobre las unidades geomorfológicas de origen glacial y periglacial como ladera contrapendiente de sierra homoclinal glaciada, ladera estructural de sierra homoclinal glaciada, sierra glaciada, espolón estructural glaciado y sierra homoclinal glaciada; de origen denudacional como escarpe de erosión mayor, lomo denudado moderado de longitud larga y sierra denudada y de origen estructural como sierra y lomo de presión, sierra homoclinal, faceta triangular, sierra, ladera estructural de sierra sinclinal, ladera de contrapendiente de sierra homoclinal, ladera estructural de sierra homoclinal y gancho de flexión. En áreas donde los atributos morfométricos (pendientes, rugosidad y acuenca) para este rango de calificación exhiben valores muy altos.

Se registran procesos morfodinámicos de tipo deslizamiento traslacional (planar y en cuña) de grandes dimensiones, caída de rocas y flujo de detritos en menor proporción; presenta desarrollo de procesos erosivos de tipo laminar, surcos y cárcavas de intensidades moderadas a severas. Están localizados al suroccidente del Municipio de Fortul y al noroccidente del Municipio de Tame.

### **1.2.2 Susceptibilidad Alta**

Las áreas de susceptibilidad alta cubren el 34,46% de la Plancha 138 - Tame y se localiza hacia el margen occidental en la Sierra Nevada del Cocuy, además de algunos pequeños sectores del sector centro – oriental.

Estas áreas se caracterizan tienen pendiente abrupta y escarpada, así como valores desde muy bajos hasta muy altos para la rugosidad y acuenca (con predominio del rango bajo para la rugosidad y de muy alto para el atributo acuenca). Las unidades geomorfológicas son de origen estructural como sierra y lomo de presión, ladera estructural de sierra homoclinal, sierra homoclinal, ladera estructural de sierra sinclinal, sierra, lomos, sierra anticlinal, escarpe de meseta y gancho de flexión; de origen glacial y periglacial como ladera estructural de sierra homoclinal glaciada, espolón estructural glaciado, ladera contrapendiente de sierra homoclinal glaciada, conos glaciofluviales, sierra glaciada y de origen denudacional sierra denudada, ladera erosiva, escarpe de erosión menor, colina remanente disectada y escarpe de erosión mayor.

Sobre estas unidades geomorfológicas se presentan movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional y flujo de detritos, con procesos de meteorización y de erosión de surcos y cárcavas, que afectan a estas geoformas con intensidades que varían desde moderadas hasta severas.

### **1.2.3 Susceptibilidad Media**

Las áreas de susceptibilidad media cubren el 36,37% de la Plancha 138 - Tame y se localiza en sector centro oriental principalmente; también, se registra en algunas pequeñas áreas del margen occidental (Sierra Nevada del Cocuy).

Las zonas que integran este rango desarrollan pendientes entre planas a muy inclinadas, cuyos atributos de rugosidad y acuenca presentan valores desde muy bajos a bajos y desde muy bajos a muy altos respectivamente. El atributo morfogenético se encuentra representado fundamentalmente por las unidades geomorfológicas de ambiente fluvial – lagunar abanico aluvial actual, abanico aluvial antiguo, abanicos aluviales coalescentes no diferenciados, bajadas, abanico aluvial sub – reciente; de ambiente denudacional como sierra denudada, ladera de contrapendiente de sierra anticlinal, escarpe de erosión menor, colina remanente disectada, sierra y lomo de presión; de origen glacial y periglacial como ladera contrapendiente de sierra homoclinal glaciada, morrena de fondo, flancos de valle glacial, espolón estructural glaciado y de origen estructural como ladera estructural de sierra homoclinal, sobre las cuales se desarrollan procesos erosivos de tipo surcos de intensidad suave a moderada. Las áreas con este nivel de susceptibilidad no presentan movimientos en masa.

### **1.2.4 Susceptibilidad Baja**

Las áreas de susceptibilidad baja cubren el 17,05% del área total de la Plancha 138 - Tame, estas zonas están localizadas a las diferentes quebradas y ríos; como en algunos tramos de los ríos Cravo Norte y Tame al sur, también sobre la laguna Colorada y algunos tramos de los ríos Caranal y Cusay al norte de esta plancha y algunas áreas altas pero planas (Sierra Nevada de El Cocuy).

Las zonas con este nivel de susceptibilidad se caracterizan por tener rangos muy bajos para los atributos rugosidad y pendientes y una influencia muy baja de acuerdo al atributo acuenca. Sobre estas áreas se desarrollan unidades geomorfológicas de ambiente fluvial – lagunar como plano o llanura de inundación, terraza de acumulación sub - reciente, terraza de acumulación antigua, planicie aluvial confinada, barra compuesta, terraza de erosión, laguna y cauce aluvial; de origen denudacional como planicie, ladera erosiva, lomo denudado bajo de longitud larga y también, sobre

unidades de origen estructural como meseta estructural. Estas geoformas tienen desarrollo de procesos erosivos de tipo fluvial, pluvial, cárcavas y de socavación de intensidad moderada a severa. No se registran movimientos en masa en este nivel de susceptibilidad.

### 1.2.5 Susceptibilidad Muy Baja

Las áreas de susceptibilidad muy baja cubren el 0,61% de la Plancha 138 - Tame y se distribuye de manera muy heterogénea sobre algunos cuerpos de agua (lagunas y ríos), localizados en los municipios de Fortul (Laguna Colorada y río Caranal), Tame (río Cusay, río Cravo Norte y río Tame).

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 para la variable geomorfología se muestra en la Figura 5.

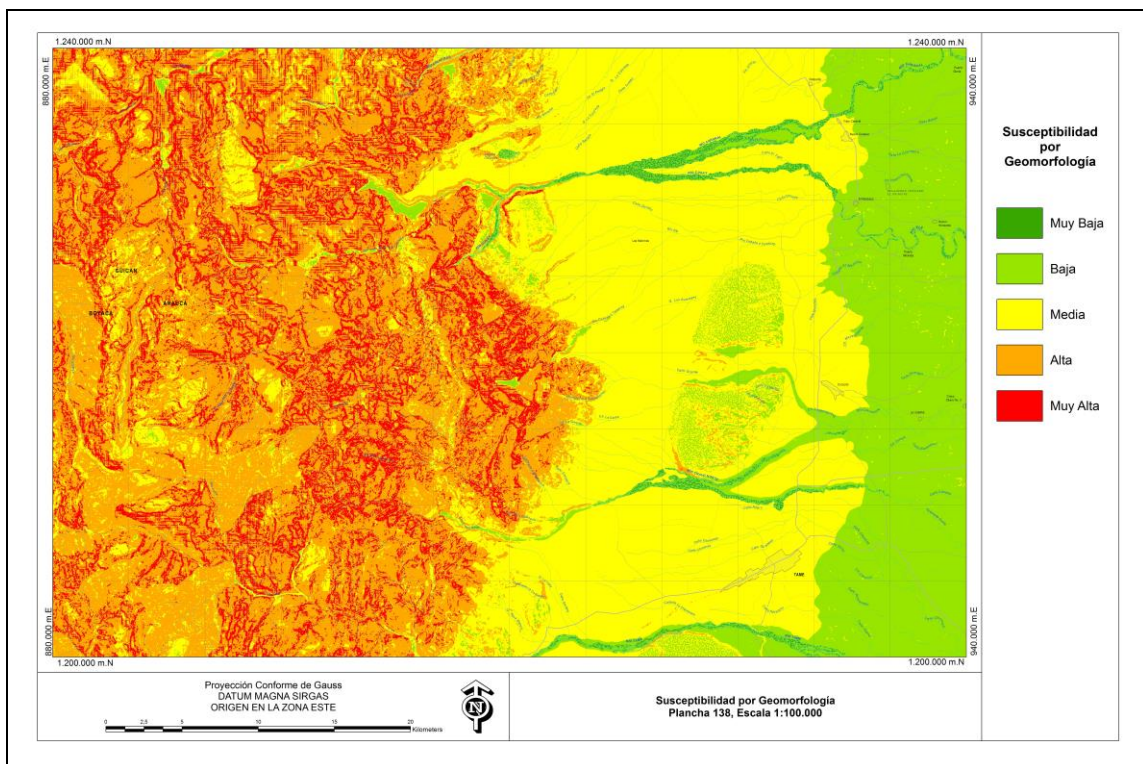


Figura 5. Calificación de la susceptibilidad de la variable Geomorfología.



### 1.3 SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS

Las variables físicas tomadas en cuenta para la caracterización de los suelos con fines de 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 de la Plancha 138 - Tame presentan variabilidad en paisajes como lo son montañas estructurales, sistema de lomerío, piedemonte, planicie aluvial y valles, que corresponden a la Cordillera Oriental. El relieve que lo caracteriza son las crestas y los espinazos en la zona de montaña, lomas y colinas en el lomerío, conos de deyección en el piedemonte, las terrazas en la planicie aluviales y en los valles, los planos de inundación. Los materiales son de origen sedimentario y metamórfico, que se caracterizan principalmente los depósitos aluviales heterométricos de origen fluvio-glaciar constituidos por cantos redondeados, en matriz franco arenosa, igualmente se presentan intercalaciones de areniscas cuarzosas, con interestratificaciones delgadas de lodolitas, yeso y lutitas fosilíferas y rocas sedimentarias clásticas arenosas con interestratificaciones delgadas de lodolitas, yeso y lutitas fosilíferas. No se evidencia procesos erosivos en los diferentes paisajes presentados en la zona de estudio. Aunque se pueden observar zonas con alta intensidad de actividad antrópica por las diferentes actividades productivas como ganadería y agricultura, esto puede incrementar procesos de degradación de los suelos.

El clima predominante es cálido húmedo a muy húmedo, en las zonas de la planicie aluvial y parte del piedemonte; clima frío a extremadamente frío, húmedo a pluvial se presenta el paisaje de montaña, la cual hace parte el Departamento de Boyacá. Se presenta también, clima templado muy húmedo a pluvial hacia los piedemontes. Igualmente hay pequeñas áreas con clima nival, ya que hacen parte de la Sierra Nevada del Cocuy. Las zonas de vida que predominan son el bosque muy húmedo tropical y bosque muy húmedo pre - montano, bosque pluvial montano bajo y bosque pluvial montano.

La Plancha 138 - Tame registra tres niveles de susceptibilidad: muy bajo, medio y alto, siendo dominante las áreas de susceptibilidad media, caracterizándose por tener texturas moderadamente finas a finas.

A continuación se describe cada nivel de susceptibilidad.

### **1.3.1 Susceptibilidad Alta**

Las áreas de susceptibilidad alta cubren el 24,24% de la Plancha 138 - Tame y está localizada en los municipios de Cubará, Güicán, Saravena, Fortul y Tame.

Se caracteriza por presentar zonas de montaña, arcillolitas, limolitas y areniscas con intercalaciones de areniscas conglomeráticas e intercalaciones de areniscas cuarzosas con interestratificaciones delgadas de lodolitas, yeso y lutitas fosilíferas. En las zonas de valle se da en los planos de inundación y terrazas agradacionales con depósitos aluviales recientes compuestos de limo, arcilla y arena. En la planicie aluvial se da principalmente en las terrazas con depósitos aluviales constituidos por acumulaciones de limo, arcilla y arena. Las zonas de susceptibilidad alta presentan texturas moderadamente finas a finas (arcillo - arenosas, franco - arenosas, arcillo - limosas, francas), en las diferentes unidades paisaje (montaña, planicie aluvial y valle), las cuales pueden limitar la infiltración, en los primeros horizontes del perfil de suelos, los órdenes que predomina es la asociación inceptisoles y entisoles, estos suelos son bien drenados, pero en la planicie aluvial y el valle son moderado a imperfectos en los planos de inundación y desborde. Estos suelos son profundos a muy profundos, generando inestabilidad en las zonas de ladera y zonas cercanas a las fuentes hídricas. Las arcillas que predominan son la caolinita y montmorillonita, que son capaces de retener agua y aumentar la susceptibilidad sobre todo en los periodos lluviosos a secos.

Estas áreas presentan movimientos en masa de tipo deslizamiento y flujo al suroccidente del Municipio Fortul y deslizamiento, caída y flujo al noroccidente del Municipio de Tame.

### **1.3.2 Susceptibilidad Media**

Las áreas de susceptibilidad media cubren el 73,54% de la Plancha 138 - Tame y se localizan en los municipios de Cubará y Güicán (Departamento de Boyacá) y Saravena, Fortul y Tame (Departamento de Arauca).

Se presenta en los paisajes de montaña y piedemonte; en la montaña se presentan en abanicos y crestas, con materiales de areniscas cuarzosas, con interestratificaciones delgadas de lodolitas, yeso y lutitas fosilíferas. También, se presentan rocas sedimentarias clásticas arenosas con interestratificaciones delgadas de lodolitas, yeso y lutitas, este rango de susceptibilidad presenta texturas moderadamente finas a finas (arcillo - arenosas, franco - arenosas, arcillo - limosas, francas), las cuales pueden limitar la infiltración, en los primeros horizontes del perfil de suelos, en algunas zonas de montaña, especialmente en los abanicos de terraza y los espinazos. Los órdenes que

predominan es la asociación inceptisoles y entisoles o andisoles, los cuales tienen menor estabilidad en las zonas de mayor pendiente, incrementándose en las zonas húmedas. Estos suelos son bien drenados en la zona de montaña, piedemonte y lomerío. Los suelos son profundos en los vallecitos y crestones (montaña) y los lomerío, moderadamente profundos en los conos de deyección (piedemonte), donde se incrementa se incrementa la susceptibilidad. Las arcillas que predominan son la caolinita y montmorillonita, que retiene agua y aumentar la susceptibilidad sobre todo en los periodos lluviosos a secos, al ser expansiva.

En las áreas con este nivel de susceptibilidad se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento al suroccidente del Municipio de Fortul y de tipo deslizamiento y caída al norte del Municipio de Tame.

### **1.3.3 Susceptibilidad Muy Baja**

Las áreas de susceptibilidad muy baja cubren el 2,23% de la Plancha 138 - Tame y se localizan al suroeste del Municipio de Güicán (Departamento de Boyacá) y sobre cuerpos de agua como los ríos Calafitas y Caranal y la laguna Colorada en el Municipio de Fortul y los ríos Cusay, Cravo Norte y Tame y los centros urbanos de Coroncito, Tame en el Municipio de Tame (Departamento de Arauca).

La susceptibilidad muy baja se da en las zonas de montaña en rocas sedimentarias clásticas mixtas y depósitos superficiales clásticos hidrogravitacionales, son suelos superficiales, las texturas son gruesas y las arcillas que predominan son las caolinitas, este rango de susceptibilidad corresponde a cuerpos de agua, ciénagas, zonas urbanas y zonas de cumbres alpinas.

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

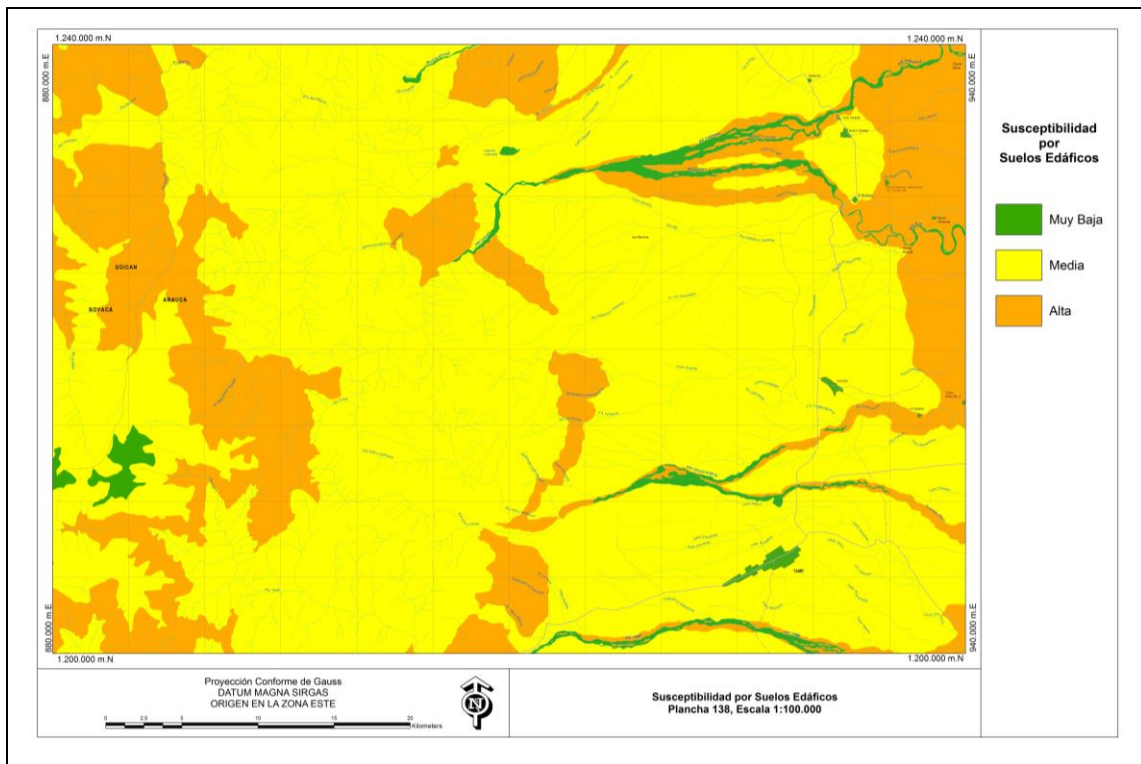


Figura 6. Calificación de la susceptibilidad de la variable Suelos.

#### 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 los sectores con susceptibilidad alta y muy alta se caracterizan por la presencia de coberturas como afloramientos rocosos, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, pastos limpios, tejido urbano discontinuo, tierras desnudas y degradadas y vegetación secundaria o en transición y zonas arenosas naturales; las zonas de susceptibilidad baja y muy baja se caracterizan por unidades de cobertura como aeropuertos, arbustal, bosque de galería

y ripario, bosque denso, bosque fragmentado, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, red vial, ferroviarias y terrenos asociados y tejido urbano continuo, cuerpos de agua (ríos, laguna, lagos y ciénagas naturales) y zonas pantanosas, este tipo de coberturas no representa riesgo debido a su estabilidad estructural, caso contrario de las coberturas antropizadas las cuales se ven modificadas constantemente aumentando la susceptibilidad, ejemplo de ello son la talas de bosque para el establecimiento de zonas de ganadería y cultivos (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 138 - Tame presenta cinco categorías: muy baja, baja, media, alta y muy alta. De acuerdo a los resultados obtenidos los sectores con susceptibilidad baja cuya cobertura son aeropuertos y arbustales cubren la mayor extensión de área (38,60%).

A continuación se describe cada nivel de susceptibilidad.

#### **1.4.1 Susceptibilidad Muy Alta**

Las áreas de susceptibilidad muy alta ocupan el 0,614% del área total de la Plancha 138 - Tame y se localiza en los municipios de Tame y Fortul (Departamento de Arauca) y Güicán (Departamento de Boyacá). Caracterizándose por unidades de cobertura como afloramientos rocosos, tejido urbano discontinuo y zonas arenosas naturales.

En este nivel de susceptibilidad se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento al noroccidente del Municipio de Tame.

#### **1.4.2 Susceptibilidad Alta**

Las zonas de susceptibilidad alta ocupan el 22,40% del área total de esta plancha y se localiza en los municipios de Tame, Saravena y Fortul (Departamento de Arauca) y Güicán (Departamento de Boyacá). Caracterizándose por coberturas como afloramientos rocosos, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, pastos limpios, tejido urbano discontinuo, tierras desnudas y degradadas, vegetación secundaria o en transición.

En este nivel de susceptibilidad se presentan movimientos en masa de tipo caída en la vereda Altamira en el Municipio de Tame y en el límite noroeste de este municipio con el Municipio de Fortul.

### **1.4.3 Susceptibilidad Media**

las zonas de susceptibilidad media ocupan el 36,45% del área total de la Plancha 138 - Tame y se localiza en los municipios de Tame, Saravena y Fortul (Departamento de Arauca), Cubará y Güicán (Departamento de Boyacá). Caracterizándose por coberturas como arbustal, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosques, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos (enmalezados y arbolados), plantación forestal y vegetación secundaria o en transición.

En este nivel de susceptibilidad se presentan movimientos en masa de tipo caída en el sector La Fría en el Municipio de Tame.

### **1.4.4 Susceptibilidad Baja**

Las zonas de susceptibilidad baja ocupan el 38,60% del área total de la Plancha 138 - Tame y se localizan en los municipios de Tame, Saravena y Fortul (Departamento de Arauca), Cubará y Güicán (Departamento de Boyacá). Se caracterizan las coberturas de áreas con aeropuertos, arbustal, bosque de galería y ripario, bosque denso, bosque fragmentado, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, red vial, ferroviarias y terrenos asociados y tejido urbano continuo.

En este nivel de susceptibilidad se presentan movimientos en masa de tipo caída y deslizamiento en las veredas Angostura y Naranjito en el Municipio de Tame.

### **1.4.5 Susceptibilidad Muy Baja**

Las zonas de susceptibilidad muy baja ocupan el 1,94% del área total de la Plancha 138 - Tame y en los municipios de Tame, Saravena y Fortul (Departamento de Arauca), Cubará y Güicán (Departamento de Boyacá). Se caracterizan las coberturas de afloramientos rocosos, cuerpos de agua (ríos, laguna, lagos y ciénagas naturales) y zonas pantanosas. En este nivel de susceptibilidad no se registran movimientos en masa.

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

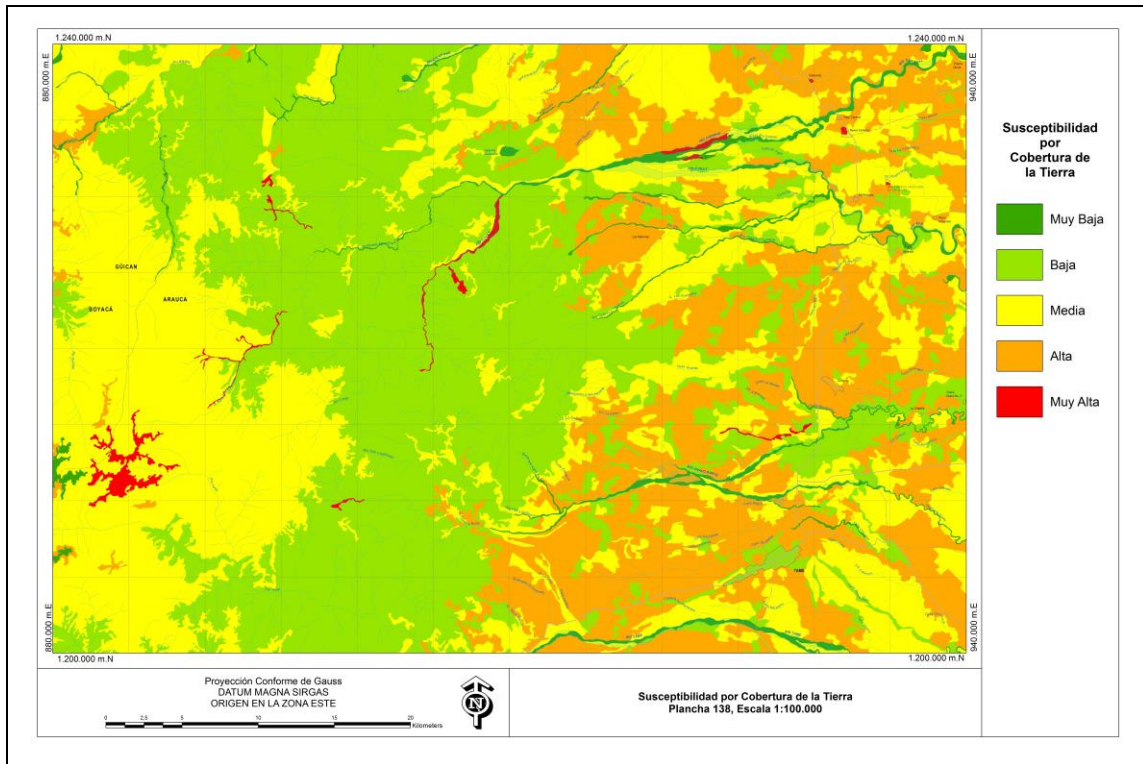


Figura 7. Calificación de la susceptibilidad de la variable Cobertura de Tierra.

## 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 categorías: muy baja, baja, media y alta, con dominio de la categoría media, 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 geoformas de ambiente denudacional, como sierras denudadas. En seguida se realiza el análisis del detonante clima para cada categoría.

La categoría de calificación muy alta corresponde al 40,72% de la Plancha 138 - Tame y se localiza al occidente de esta plancha en una franja de forma irregular en sentido N – S y al norte en una franja irregular y discontinua en sentido W – E. En jurisdicción de los municipios de Tame, Saravena y Fortul (Departamento de Arauca), Cubará y Güicán (Departamento de Boyacá). Agrupa zonas con muy alto grado a la inestabilidad del terreno, por efecto de la infiltración del agua lluvia y las condiciones climáticas. Se registran precipitaciones máximas diarias mayores a 220 mm, en zonas de climas muy fríos y pluviales, se presentan suelos poco profundos, con espesores entre 25 cm y 50 cm, cubiertos por arbustales principalmente, zonas arenosas naturales y bosque denso. A pesar de esto, las áreas que presentan este rango de susceptibilidad son altamente afectadas por movimientos en masa de tipo deslizamientos traslacionales (planares y en cuña) y flujos de detritos, se encuentran afectadas por procesos erosivos (de tipo gelifracción) con intensidades moderadas y severas. Estos movimientos en masa están localizados en el límite occidental de los municipios de Fortul y Tame (Departamento de Arauca).

La categoría de calificación alta corresponde al 53,44% de esta plancha y se localiza principalmente en el sector este de la Plancha 138 - Tame, en el Municipio de Tame y en algunos tramos de la zona de influencia de los ríos Caranal, Cravo Norte y Tame.



Distribuida sobre algunos sectores de los municipios de Tame, Saravena y Fortul (Departamento de Arauca), Cubará y Güicán (Departamento de Boyacá). Los valores para las precipitaciones máximas diarias entre 150 mm y 220 mm, el clima, la cobertura vegetal y el espesor del suelo son muy variables. En los climas muy fríos y húmedos (zonas glaciares en las partes altas de la Sierra Nevada de El Cocuy) las coberturas vegetales corresponden a áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y se desarrollan en suelos moderadamente profundos (50 cm – 100 cm); mientras que en el clima cálido – húmedo se presenta cobertura vegetal de pastos (arbolados, enmalezados y limpios) principalmente y el espesor del suelo es profundo (100 cm - 150 cm). Todas estas características configuran a estas áreas como zonas medianamente y altamente susceptibles a los procesos morfodinámicos, presentando movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional y flujo de detritos en las veredas San Antonio, Altamira, Angostura y Legía en el Municipio de Tame.

La categoría de calificación baja corresponde al 5,83% de la Plancha 138 - Tame y se localiza en los municipios de Güicán y Tame al oeste de esta plancha. Se desarrollan en las regiones donde el efecto del detonante clima es bajo (precipitaciones máximas diarias entre 50 mm y 100 mm), distribuidas en algunos sectores del borde suroccidental. Estos sectores se presentan sobre depósitos de tipo aluvial y unidades geomorfológicas de ambiente fluvial – lagunar como planicie aluvial confinada asociada al río Tame. Las áreas pertenecientes a estas categorías desarrollan cierta estabilidad a los movimientos en masa, dado que la cantidad de agua infiltrada no desestabiliza las condiciones genéticas del depósito, 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 en las áreas con esta clasificación de susceptibilidad es templado - muy húmedo y pluvial. Los movimientos en masa registrados en este nivel de susceptibilidad son de tipo flujo y deslizamiento en el límite suroeste de esta plancha en el Municipio de Tame.

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

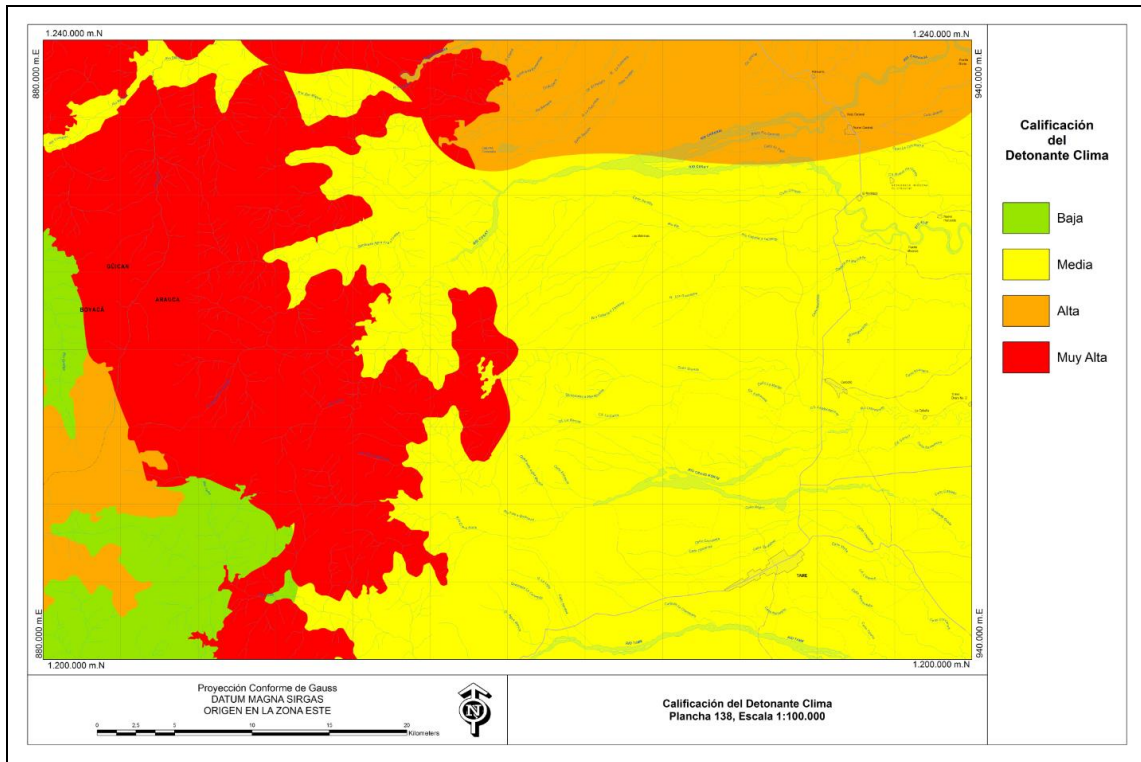


Figura 8. Mapa final del detonante por Factor Clima.

### 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 138 - Tame registra tres rangos de calificación: media, alta y muy alta.

La calificación muy alta del detonante sismo comprende el 69,89% del área total de esta plancha, se localizan en el sector central y occidental de la zona de estudio; en los municipios de Saravena, Fortul, Güicán y Tame. Las áreas de esta categoría del detonante sismo se caracterizan por su relieve alto a muy alto, morfología colinada a montañosa, pendientes abruptas a escarpadas y valores de PGA expresados en velocidades de desplazamiento horizontal mayores a 300 cm/seg<sup>2</sup>. Sobre este rango de clasificación se desarrollan suelos de espesores que varían desde bajos (profundidades entre 25 cm y 50 cm) al occidente, hasta altos (profundidades entre 100 cm y 150 cm) en la parte central, cubiertos en su mayoría por bosque denso, arbustales y vegetación secundaria o en transición principalmente. Se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional (planares y en cuña), flujo de detritos y caída, algunos de ellos de grandes dimensiones, con el desarrollo de surcos y cárcavas de intensidad moderada a severa; localizados en los municipios de Fortul y Tame – Departamento de Arauca.

La calificación alta del detonante sismo comprende el 30,89% del área total de esta plancha y se localiza al oriente del área de estudio en forma de una franja sinuosa, entre los municipios de Tame y Fortul – Departamento de Arauca. También, al noroccidente en el área limítrofe entre los municipios Cubará – Güicán (Departamento de Boyacá) y Saravena – Fortul (Departamento de Arauca). Se presenta en unidades geomorfológicas de ambientes morfogenéticos glacial – periglacial, morfoestructural, denudacional y fluvial – lagunar). Estas zonas se caracterizan por su relieve bajos a alto, de morfología colinadas a montañosa y pendiente que varía desde inclinada hasta abrupta. Del mismo modo, este nivel tiene valores de PGA en las áreas de esta calificación están expresados en velocidades de desplazamiento horizontal desde 200 cm/seg<sup>2</sup> a 300 cm/seg<sup>2</sup>; Los suelos tienen espesores que oscilan desde moderados (profundidades entre 50 y 100 cm) hasta altos (profundidades de 100 cm hasta 150 cm); cubiertos principalmente por bosque denso, zonas arenosas naturales, vegetación secundaria o en transición y pastos (arbolados y limpios) principalmente y clima frío - pluvial y cálido - húmedo. En las áreas con este nivel de detonante por sismo no se registran movimientos en masa, sin embargo si procesos erosivos de tipo surcos de intensidad moderada.

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

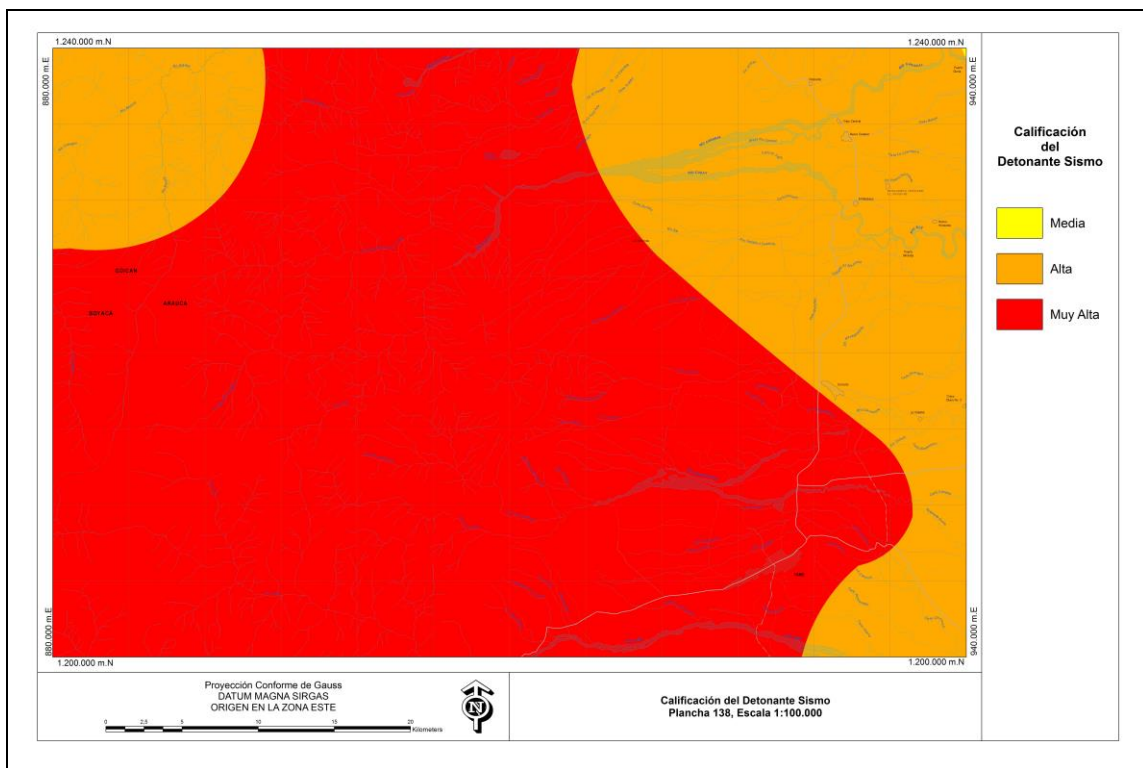


Figura 9. Mapa final del detonante por Factor Sismo.

## 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 138 - Tame 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 al este del área de estudio, donde la topografía es suavemente ondulada a plana.

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

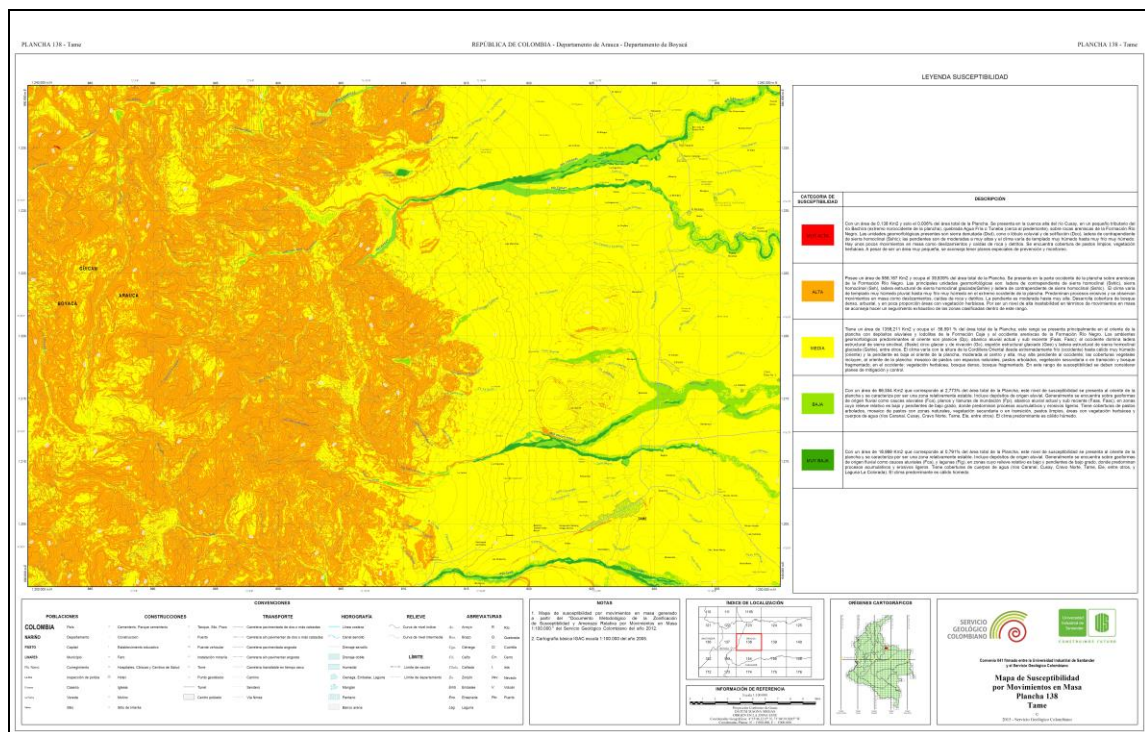


Figura 10. Mapa de susceptibilidad total para la Plancha 138 – Tame.

### **2.1.1 Susceptibilidad Muy Alta**

Las áreas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango muy alto cubren el 0,009% de la Plancha 138 - Tame y se localiza al noreste del Municipio de Güicán – Departamento de Boyacá.

Estas zonas comprenden suelos transportados recientes, no consolidados, de tipo coluvial con materiales como bloques angulares, gravas, arenas y limos, de composición heterogénea y de tamaños variables, compuesto principalmente; el material se encuentra afectado por procesos de fallamiento y plegamiento, donde el Sistema de Fallas del Borde Llanero, así como algunas fallas satélite a esta y diferentes pliegues locales, son las estructuras más representativas; generando valores de densidad de fracturamiento altos y muy altos. Los diversos procesos de meteorización, erosión, transporte y depositación de materiales del área, son llevados a cabo por medio de diferentes agentes (como el agua, la gravedad y hasta la intervención antrópica), generando la modificación del paisaje. Las geoformas preexistentes y en formación más representativas son de origen denudacional como lóbulos coluviales y de solifluxión y sierras denudadas.

Presenta suelos de espesores altos o profundos (entre 100 cm y 150 cm), clasificados taxonómicamente como inceptisoles, entisoles e histosoles y texturalmente como materiales finos con la presencia de arcillas, materia orgánica y limo. Las áreas con este rango de susceptibilidad tienen cobertura vegetal de pastos limpios, zonas arenosas naturales y bosque fragmentado; clima templado pluvial y cálido - muy húmedo; el uso de los suelos es de 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 detalle de los procesos de erosión presentes en esta área, no se registran movimientos en masa en este nivel de susceptibilidad.

### **2.1.2 Susceptibilidad Alta**

Las áreas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango alto cubren el 40,99% del área total de esta plancha y se localizan al este del Municipio de Güicán y al oeste de los municipios de Fortul y Tame.

Las áreas de susceptibilidad alta se encuentran moldeadas por material sedimentario de tipo clástico cementado y clástico consolidado, de resistencias duras a moderadamente duras, pertenecientes a rocas de formaciones del Cretáceo, Neógeno

y depósitos coluviales recientes y de abanicos aluviales. Presenta densidades de fracturamiento muy bajas a muy altas asociadas al Sistema de Fallas del Borde Llanero y fallas satélites a estas, pliegues como el Anticlinal de Tame y otros plegamientos de importancia local. Morfogenéticamente, se asocia a unidades pertenecientes a los ambientes glacial – periglacial como espolón estructural glaciado, ladera estructural de sierra homoclinal glaciada, ladera contrapendiente de sierra homoclinal glaciada, sierra glaciada, flancos de valle glacial, aguja glacial, sierra homoclinal glaciada, cono y lóbulo de gelifración; de ambiente morfoestructural como ladera de contrapendiente de sierra homoclinal, lomos, sierra y lomo de presión, sierra, lomo de falla, gancho de flexión, sierra homoclinal y escarpe de meseta; de ambiente denudacional como terrazas sobreelevadas “colgadas”, lomo denudado moderado de longitud larga, escarpe de erosión menor, escarpe de erosión mayor y sierra denudada. Se desarrolla sobre suelos de órdenes de inceptisoles, entisoles e histosoles; texturas gruesas a moderadamente finas; tiene buenos sistemas de drenaje y profundidades bajas a altas (espesores entre 25 cm y 100 cm). Presenta coberturas son arbustales, área con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque fragmentado y pastos limpios, clima muy frío – muy húmedo y pluvial a cálido – húmedo.

En el sector de la Sierra Nevada de El Cocuy se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional, flujo de detritos y caída de roca, con el desarrollo de procesos erosivos, de surcos y cárcavas de intensidades severa y moderada.

### **2.1.3 Susceptibilidad Media**

Las áreas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango medio tienen la mayor extensión sobre la Plancha 138 - Tame, ocupa el 56,02% del área total. Se localizan principalmente al este, entre los municipios de Fortul y Tame y al occidente se distribuye heterogéneamente entre los municipios de Cubará, Güicán, Saravena, Fortul y Tame.

Se encuentra relacionada a material sedimentario de tipo clástico cementado y clástico consolidado, de resistencia dura a moderadamente dura, de edad Cretáceo, Neógeno y Cuaternario de tipo aluvial, glacial y de terraza. Las unidades litológicas que integran este rango de susceptibilidad se encuentran afectadas por densidades de fracturamiento bajas hasta altas, asociados al Sistema de Fallas del Borde Llanero y fallas satélites a esta y algunos pliegues como el Anticlinal de Tame. Morfogenéticamente, predominan las unidades pertenecientes al ambiente fluvial – lagunar, como lo son abanico aluvial sub - reciente, abanico aluvial antiguo, escarpe de abanico fluvial y escarpe de terraza de erosión; también, se presentan geoformas pertenecientes al ambiente morfoestructural como sierra anticlinal, ladera estructural

de sierra anticlinal, meseta estructural y laderas a favor y en contrapendiente, relacionadas a sierras sinclinales y homoclinales; así como geoformas del ambiente denudacional (planicie, lomo denudado bajo de longitud larga, ladera erosiva) y el ambiente glacial – periglacial como espolón estructural glaciado, ladera estructural de sierra homoclinal glaciada, ladera contrapendiente de sierra homoclinal glaciada, sierra glaciada, flancos de valle glacial, aguja glacial, sierra homoclinal glaciada, cono y lóbulo de gelifracción. Los suelos se caracterizan por poseer texturas gruesas con alto contenido en arcillas y poca materia orgánica y de profundidades bajas a altas (desde 25 cm hasta 150 cm de espesor); cubiertos por vegetación secundaria o en transición, pastos arbolados, pastos enmalezados, bosque fragmentado, pastos limpios y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, se encuentran ubicados en ambientes húmedos de climas que varían desde subnival muy húmedo y pluvial a cálido – húmedo.

Los movimientos en masa son de tipo deslizamiento traslacional de detritos, con la presencia de procesos erosivos de tipo surcos y de intensidades bajas, se localizan principalmente en el sector occidental (área de piedemonte y planicie) y en menor proporción en pequeñas áreas del sector occidental (área de la Sierra Nevada de Cocuy).

#### **2.1.4 Susceptibilidad Baja**

Las áreas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango bajo ocupan el 2,98% del área total y está localizada sobre cuerpos de agua como quebradas y ríos como los ríos Tame, Cravo Norte, Cusay, Ele, Caranal, Bojabá; y la laguna Colorada.

Las unidades geomorfológicas más representativas dentro de este rango de clasificación corresponden a cauce aluvial, plano o llanura de inundación, abanico aluvial actual y laguna, se caracterizan por tener morfología suave con índice de relieve menor a 50 m. Asimismo, por tener suelos profundos de 100 cm a 150 cm, con muy poca cobertura, con excepción de algunos mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales y vegetación secundaria o en transición; clima que varían desde templado – muy húmedo y pluvial en la región la Sierra Nevada del cocuy hasta cálido – húmedo en la zona de piedemonte y planicie. No se registran movimientos en masa en este nivel de susceptibilidad.

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

Las áreas de susceptibilidad a presentar movimientos en masa de rango muy bajo ocupan 0,009 km<sup>2</sup> y se localiza en pequeños sectores, en jurisdicción de los municipios de Tame y Fortul (Departamento de Arauca), ubicado en el margen oriental de la



Plancha 138 - Tame sobre cuerpos de agua como la laguna Colorada y los ríos Caranal, Cusay, Cravo Norte, Tame y Ele.

Pertencen a esta clasificación las zonas planas de morfologías suaves, con índice de relieve menor a 50 m. No presentan movimientos en masa, ni procesos erosivos.

## 2.2 AMENAZA RELATIVA TOTAL

En el Mapa de Amenaza Relativa Total por Movimientos en Masa a escala 1:100.000 de la Plancha 138 - Tame, se establecieron tres categorías de amenaza media, alta y muy alta (Figura 11). Las áreas de amenaza alta tienen la mayor cobertura y están localizadas al occidente de esta plancha. A continuación se describen las características de cada categoría.

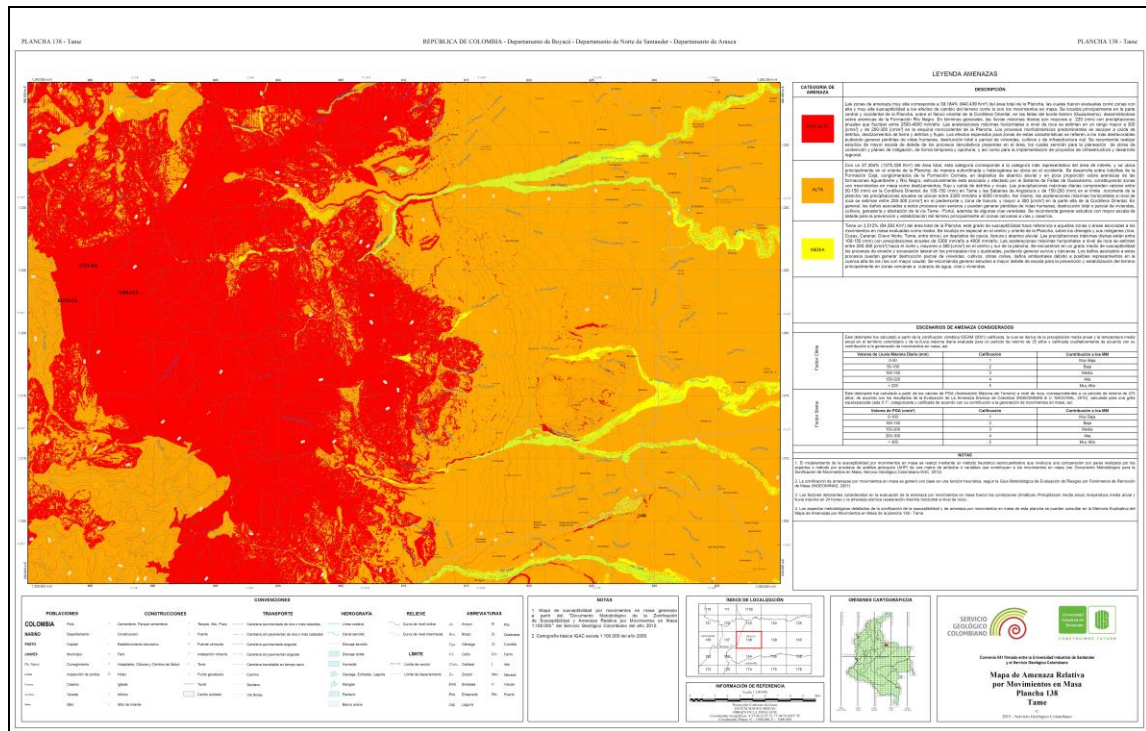


Figura 11. Mapa de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa de la Plancha 138 – Tame.

### 2.2.1 Amenaza Muy Alta

Las zonas identificadas con amenaza muy alta presentan una extensión de 951,78 km<sup>2</sup> (39,66%) del área total de la Plancha 138 - Tame y se localizan en el límite este los

Memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 138 - Tame

municipios de Cubará y Güicán (Departamento de Boyacá) y al oeste de los municipios de Fortul y Tame (Departamento de Arauca); en las zonas topográficamente más altas de Sierra Nevada del Cocuy y en algunos pequeños sectores del área oriental.

La influencia de los detonantes clima y sismo son diferentes; mientras el detonante sismo presenta rangos muy altos, es decir valores de la aceleración máxima horizontal a nivel de roca (PGA) mayores a  $300 \text{ cm/s}^2$  y el detonante clima presenta rangos desde medio con precipitaciones máximas diarias entre 100 mm y 150 mm hasta muy altos con precipitaciones máximas diarias superiores a 220 mm. Aunque, en algunos sectores es producto del 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.

Las zonas con amenaza muy alta presentan susceptibilidad media por geología debido a litologías como areniscas de la Formación Río Negro; conglomerados de la Formación Corneta y gravas, arenas y limos de depósitos de cauce, llanura aluvial y abanicos aluviales. También, susceptibilidad media a alta por geomorfología asociado a geoformas de ambiente estructural, denudacional y glacial. Asimismo, la susceptibilidad de los suelos edáficos es media alta en estas áreas; relacionada con relieves de montaña, clima muy frío a templado – muy húmedo, intensidad de erosión ligera y su material parental son rocas sedimentarias clásticas, areniscas e intercalaciones de areniscas cuarzosas con interestratificaciones de lodolita, yeso y lutita fosilífera. Además, la susceptibilidad de la variable coberturas baja a media en este rango de amenaza debido a que presenta cobertura de arbustal, arbustal con vegetación herbácea y/o arbustiva, zonas arenosas naturales y bosque denso.

Se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento y flujo de detritos entre los municipios de Fortul y Tame (Departamento de Arauca) con el desarrollo de procesos erosivos de surcos y cárcavas de intensidades severas y moderadas. Se recomienda realizar estudios de mayor detalle de los procesos denudativos presentes en el área que servirán para la implementación de acciones de elusión, control, mitigación de forma temprana y oportuna y/o recuperación a partir de políticas ambientales, de uso del suelo y de ordenamiento territorial.

### **2.2.2 Amenaza Alta**

Las zonas identificadas con amenaza alta presentan una extensión de  $1378,11 \text{ km}^2$  (57,42%) del total de la Plancha 138 - Tame y están localizadas en el sector oriental

sobre el área de piedemonte y planicie. También, en la región suroccidental y noroccidental en el área de la Sierra Nevada del Cocuy.

La influencia del detonante sismo tiene especial importancia ya que está alcanzando rangos de aceleraciones máximas horizontales a nivel de roca (PGA), desde 200 cm/s<sup>2</sup> a 300 cm/s<sup>2</sup>. Por su parte el detonante clima, presenta precipitaciones máximas diarias entre 50 mm y 150 mm.

Estas zonas se encuentran moldeadas por material sedimentarios clástico cementado de areniscas de la Formación Río Negro y shale de la Formación Capacho y depósitos fluvioglaciales – glaciofluviales compuestos por cantos redondeados de areniscas, arenas, limos y arcillas; litologías que generan susceptibilidad por geología media a alta. También, las geoformas de ambiente fluvial, denudacional y estructural asociadas a este nivel de amenaza; geoformas que generan susceptibilidades muy baja a muy alta. Asimismo, la susceptibilidad de los suelos edáficos es baja a alta en estas áreas; relacionada con relieve de loma, colina, cuesta y conos de deyección, clima frío – húmedo y cálido – húmedo, intensidad de erosión ligera a moderada y su material parental roca sedimentaria clásticas arenosas, areniscas con intercalaciones de limonitas, areniscas estereométricas, conglomerados con matriz arcillosa y depósitos aluviales heterométricos fluvioglaciales y la susceptibilidad de la variable coberturas es alta en este rango de amenaza debido a que presenta cobertura de pastos arbolados, pastos limpios, pastos enmalezados, vegetación secundaria y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva.

En este nivel de amenaza se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional, flujo de detritos y caída con desarrollo de procesos de meteorización y erosión en surcos y cárcavas de intensidades severas a moderadas. En las veredas Naranjito, Angosturas y Altamira y en al noroccidente del Municipio de Tame – Departamento de Arauca.

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 de 70,16 km<sup>2</sup> (2,92%) del area total de la Plancha 138 - Tame y se localiza principalmente sobre el

sector oriental de la zona de trabajo, relacionado al área de piedemonte y de llanura de inundación; también, se registra en algunas pequeñas áreas de la región occidental de la Sierra Nevada del Cocuy.

Los detonantes clima y sismo presentan calificaciones desde medias hasta altas y desde altas a muy altas respectivamente; en las áreas con este nivel de amenaza se presentan precipitaciones máximas diarias entre 100 mm y 150 mm, mientras que los rangos para la aceleración máxima horizontal a nivel de roca (PGA) son mayores de 300 cm/s<sup>2</sup>.

Estas zonas se encuentran moldeadas por rocas de grava, arena y limo en depósitos de terrazas aluviales y de cauce y llanura aluvial; estas litologías generan susceptibilidad por geología muy baja. También, las geoformas asociadas a este nivel de amenaza son de origen fluvial que generan susceptibilidades bajas a muy bajas. Asimismo, la susceptibilidad de los suelos edáficos es baja y alta en estas áreas; relacionada con relieves como plano de inundación, clima cálido – húmedo, intensidad de erosión ligera y su material parental son depósitos aluviales recientes mezclados de limo, arcilla y arena. Además, la susceptibilidad de la variable coberturas es baja a media en este rango de amenaza, debido a que presenta cobertura de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales y ríos. Sobre estas áreas no se registraron procesos morfodinámicos (ni movimientos en masa ni procesos erosivos).

## 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 coluviales compuestos por bloques, gravas, arenas y limos son los más susceptibles a generar procesos erosivos intensos y potencialmente movimientos en masa. 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. De igual manera, con la influencia de la textura/estructura en los movimientos en masa, hay vulnerabilidad en planos de debilidad explicable por la existencia de la estratificación y las principales fallas en el área de estudio como las fallas Sistema de Fallas del Borde Llanero, Los Colorados, Aguafrías, Aguas Blancas, y Guaicáramo. Geológicamente se presentan unidades sedimentarias clásticas cementadas, clásticas consolidadas y cristalinas masivas; de resistencias duras a moderadamente duras; con edades que varían desde el Cretácico Inferior hasta el Neógeno y depósitos recientes glaciales y fluvio-glaciales.

Morfo-genéticamente la región presenta tres relieves: montañoso, piedemonte y llanura, destacando una influencia de ambientes de tipo fluvial, su expresión está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial, que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas preexistentes. Otros ambientes morfo-genéticos de la Plancha 138 - Tame son el denudacional, glacial y estructural. Los movimientos en masa registrados están en unidades geomorfológicas de ambientes glaciales principalmente y en menor densidad sobre geoformas de génesis denudacional, estructural y fluvial, son de tipo deslizamiento, caída y flujo. Las unidades geomorfológicas con mayor nivel de amenaza son de ambiente estructural y glacial como laderas estructurales asociadas o no a geoformas mayores como sinclinales y anticlinales, sierras estructurales, morfoestructuras relacionadas a fallamientos y plegamientos y unidades denudacionales activas como conos o lóbulos coluviales y de solifluxión.

La susceptibilidad de la variable de suelos presenta tres rangos: muy bajo, medio y alto, siendo la susceptibilidad media la de mayor extensión de área. En esta plancha el relieve es de lomas, crestones, crestas, espinazos, abanicos de terraza, conos de deyección y vallecitos, clima cálido – húmedo a muy húmedo y con una presencia significativa de materiales de texturas moderadamente finas a finas (arcillo - arenosas, franco - arenosas, arcillo - limosas francas) con órdenes de asociación de inceptisoles y entisoles o andisoles. La susceptibilidad media se relaciona con áreas con paisajes de montaña.

Las unidades de cobertura presentes en la Plancha 138 - Tame, son en total 24, siendo las de mayor representatividad: bosque denso, pastos limpios y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva. En el área de recubrimiento de la Plancha 138 - Tame, la susceptibilidad baja tiene la mayor área de extensión con coberturas de aeropuertos y arbustales. En esta plancha la susceptibilidad muy alta, alta y media representan el 59,46% de toda el área de estudio.

Las categorías de la susceptibilidad de los diferentes atributos 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 97,02% entre media, alta y muy 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 138 - Tame, los rangos de susceptibilidad son predominantemente altos al oeste y medios al este. Las áreas con susceptibilidad baja y muy baja se encuentran sobre algunas pequeñas zonas a lo largo de las principales corrientes de agua.

La susceptibilidad total media abarca la mayor área sobre la Plancha 138 - Tame, estas zonas se caracterizan por presentar una susceptibilidad media a alta en la variable geología, debido en gran parte a rocas clásticas consolidadas de lodolitas de la Formación Caja; rocas clásticas cementadas de conglomerados de la Formación Corneta; fragmentos de roca arenisca y arcillolita en matriz fina de depósitos de abanicos aluviales y grava, arena y limo de depósitos de terraza aluvial y depósitos de cauce y llanura aluvial. En geomorfología presenta categorías muy bajas a medias, por la acción de los ambientes denudativos y fluviales; cuyas áreas registran movimientos en masa de tipo caída y deslizamiento localizados en el Municipio de Tame. En la susceptibilidad total la influencia de la variable suelos edáficos se presenta con

susceptibilidades medias a altas con clima cálido - húmedo y su taxonomía de ordenes inceptisoles y entisoles; finalmente, la susceptibilidad por cobertura se encuentra entre baja y alta, siendo predominantes las coberturas como áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y arbustal. Estas cualidades generan condiciones propicias para una clasificación por susceptibilidad total de rango medio.

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 57,42%, lo cual indica que en general la Plancha 138 - Tame 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 en la zona de influencia de las fallas Aguablanca, Aguafria, Tate y Guaicáramo al oeste y la Falla Frontal del Borde Llanero al este, a los costados de la intermunicipales y veredales del Municipio de Tame – Departamento de Arauca. 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 138 - Tame 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

- IGAC. 1986. Estudio General de Suelos del Departamento de Arauca. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN 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. 138 – Tame escala 1:100.000. Subdirección de geografía y cartografía. Bogotá.
- 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.
- INGEOMINAS. 2007. Atlas Geológico de Colombia. Escala 1:500.000. 26 planchas. Bogotá.
- INGEOMINAS. 2010. Actualización del Mapa nacional de Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, Plancha 5 - 08. Bogotá D.C.
- 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.