

ANEXO E
AMENAZA POR DETONANTE CLIMA

1. CONDICIONES DE AMENAZA POR CLIMA

Para el caso específico del detonante por factores climáticos, se utilizaron los mapas de zonificación climática del Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2007 en SGC, 2013), 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 periodo de retorno de 25 años, valores a partir de los cuales se realizó la distribución espacial para la Zona Andina.

1.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Generalmente los movimientos en masa están asociados a las lluvias, es por esto que diversos autores han abordado el tema desde diferentes puntos de vista, tal como se describe en Guzetti et al. (2007), quien recopiló los parámetros tenidos en cuenta para el cálculo de los umbrales por diferentes autores. Algunos presentan ecuaciones universales, independientemente de las condiciones geomorfológicas, litológicas y de uso del suelo, como los propuestos por Caine (1980), otros autores han definido distribuciones espaciales de lluvia, como umbrales, que detonan eventos relacionados con movimientos en masa. Por tanto, no existe una única metodología aplicada a la evaluación de distribuciones de lluvia como detonantes de fallas en taludes, ni se ha usado un único conjunto de medidas de lluvia, razones que conllevan a que los valores obtenidos no sean siempre comparables, aún para una misma región (Guzetti et al., 2007).

En el caso de la región Andina, se ha evaluado la lluvia antecedente como detonante de movimientos en masa por autores como Echeverri y Valencia (2004), INGEOMINAS (2009) en la cuenca del río Combeima y Moreno et al. (2006) en el Departamento de Antioquia, siendo común entre estos la relación entre la lluvia antecedente de 15 días y los movimientos en masa detonados. La evaluación de la lluvia aplicada a la cartografía de susceptibilidad por Mora y Varson (2004), en el mapa de amenazas global por movimientos en masa, se realizó con base en la Precipitación Media Anual, considerada como un indicativo de la humedad antecedente del suelo, en el momento en que se presentan las lluvias máximas diarias.

La cobertura de factores climáticos que inciden en la generación de movimientos en masa aplicada a la zonificación de amenazas, se propuso a partir de las siguientes hipótesis:

- La precipitación media anual y la temperatura media anual influyen en el contenido de humedad del suelo, es decir, en zonas en donde la precipitación media anual sea alta y la temperatura media anual sea baja, la humedad del suelo será mayor, lo cual contribuiría en mayor medida a la generación de movimientos en masa.
- A mayor valor de lluvia máxima diaria, mayor saturación y por ende, mayor probabilidad de que se generen procesos de inestabilidad en las laderas.
- A mayor contenido de humedad antecedente en el suelo y mayor valor de lluvia máxima diaria, se incrementa la probabilidad de generarse movimientos en masa.

1.2 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Teniendo en cuenta la escala de trabajo, se consideró adecuado el uso de la zonificación climática propuesta por IDEAM (2001), la cual es el resultado de la caracterización de los regímenes térmicos y de lluvia propios de la geografía colombiana.

Esta zonificación contiene valores continuos a nivel nacional de precipitación media anual y temperatura media anual. La distribución espacial de la precipitación media anual se obtuvo a partir de 2990 estaciones, por interpolación geoestadística. La temperatura media anual se obtuvo con base en datos registrados por 685 estaciones, a las cuales se le aplicó un análisis estadístico de regresión, que permitió expresar los valores de temperatura en función de la altura sobre el nivel del mar, como un mapa continuo de todo el país.

Con base en las variables Precipitación Media Anual y Temperatura Media Anual, espacializadas para el territorio nacional y según los valores que se observan en la Figura 1, se obtiene un mapa de polígonos por intersección espacial calificado de 1 a 5, tal como se muestra en la Figura 2, el cual es el resultado de la relación entre un rango de precipitaciones con uno de temperaturas calificado, según su contribución a los movimientos en masa, de acuerdo con las hipótesis antes descritas.

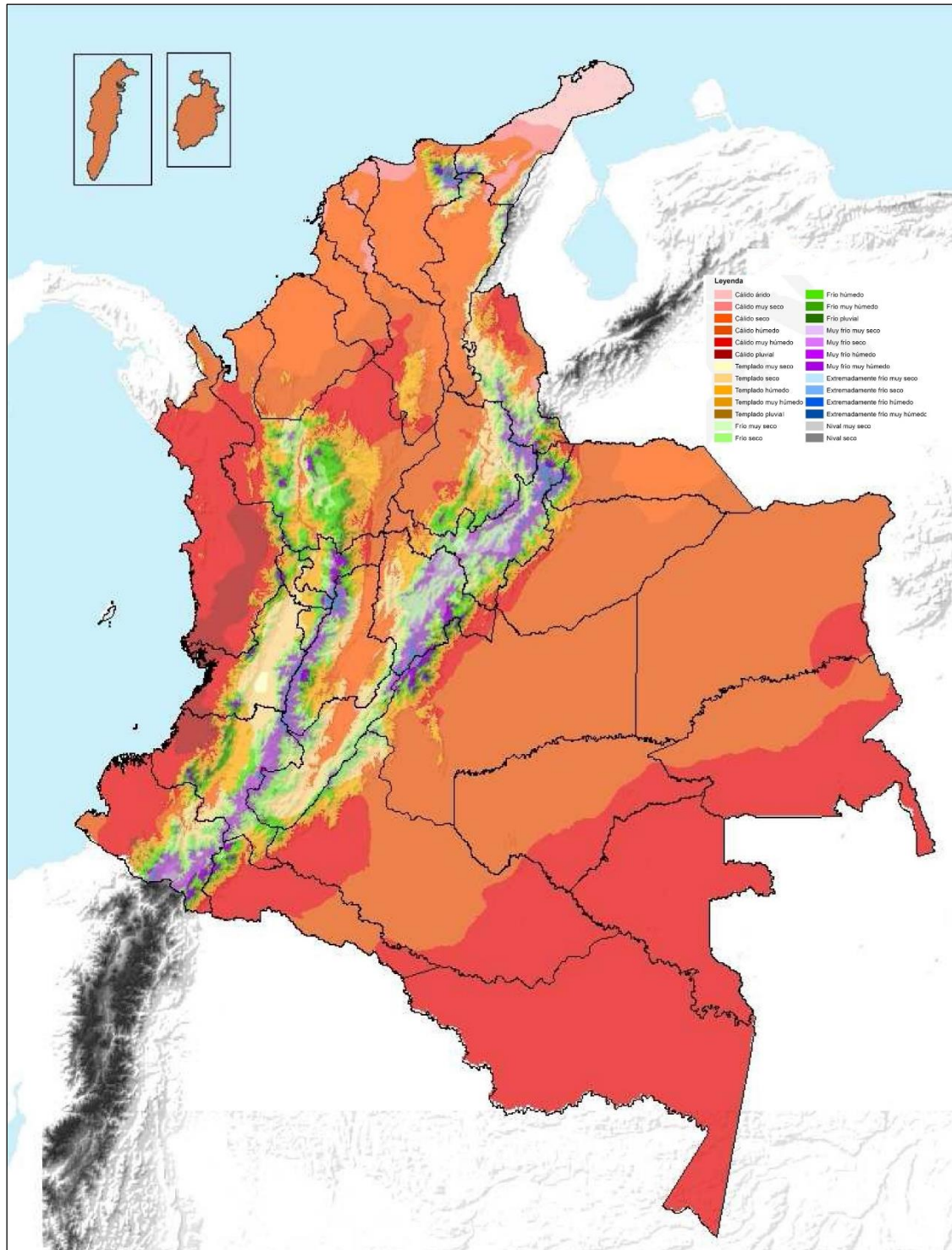


Figura 1. Zonificación climática del Atlas Climatológico de Colombia, IDEAM (2007).

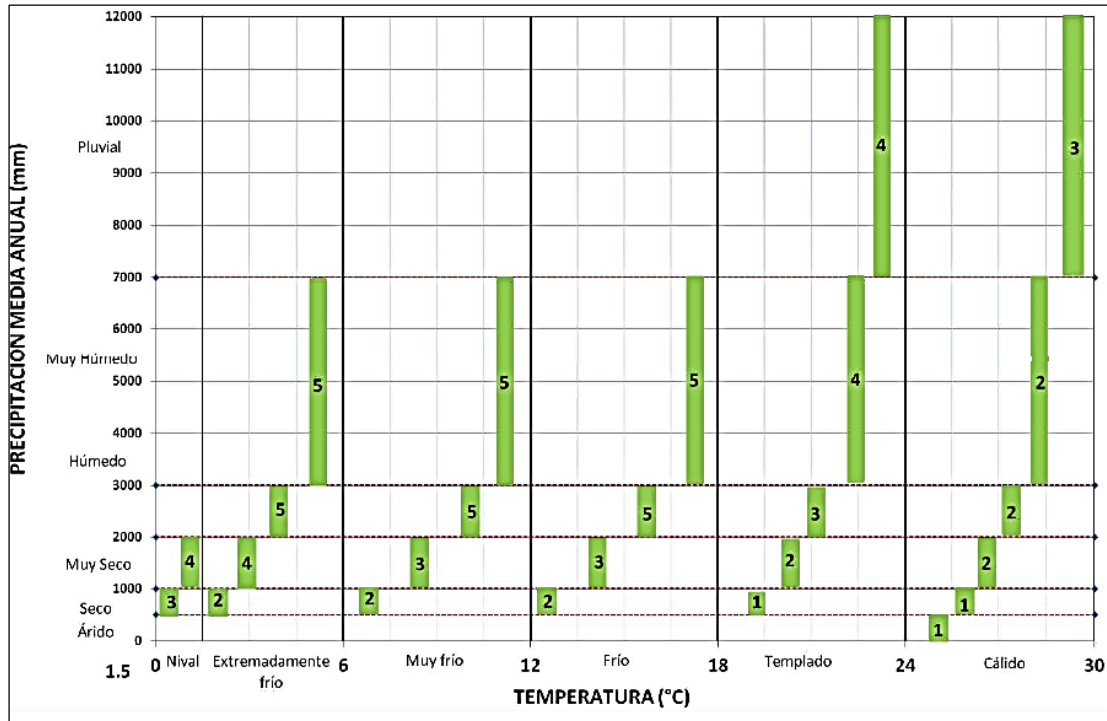


Figura 2. Calificación de la zonificación climática (precipitación media anual y temperatura media anual nacional) con base en su contribución a los movimientos en masa.

1.2.1 Precipitación Máxima Diaria

Partiendo de la hipótesis que a mayor lluvia diaria máxima, mayor es la probabilidad que se detone un movimiento en masa, se generó una cobertura de lluvia máxima en 24 horas, para un periodo de retorno de 25 años, para lo cual se seleccionaron las estaciones meteorológicas que se encuentren dentro de la zona de análisis. El procedimiento para su cálculo se describe a continuación.

A partir de los datos de lluvia máxima en 24 horas, de las estaciones pluviométricas y pluviográficas en la zona de estudio, se realizó un análisis estadístico que contempló un dato anual para el periodo 1987-2011, previo análisis de consistencia de cada uno de los registros. Para el caso de ausencia de algún registro anual, se complementó con el promedio de las lluvias máximas en 24 horas para el periodo de análisis. En caso de que existiera un registro parcial del año, el valor promedio que se indicó, también se usó para suplir la ausencia de este registro.

Los valores de lluvia máxima en 24 horas, para un periodo de retorno de 25 años, se calculó a partir de una distribución Gumbel Tipo I – Extremo para el periodo de análisis (1987-2011) y se espacializó con ArcGIS, utilizando el

método de interpolación IDW, siguiendo la recomendación hecha por Piazza (2011) para la interpolación de valores climáticos como la precipitación. Adicionalmente, al aplicar varios métodos de interpolación como Kriging, Toporaster e IDW, éste último mantuvo los valores máximos y mínimos, mientras en los dos primeros se observaron extrapolaciones de los valores interpolados hasta en un 25% adicional (Figura 3).

La espacialización de los datos se realizó con el fin de obtener un valor de lluvia máxima diaria, correspondiente a un periodo de retorno de 25 años, en cada pixel de 1 arc-sec (30m x 30m aproximadamente), el cual luego es calificado de acuerdo con el rango de precipitaciones que se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa. (Tomado de SGC, 2013)

Valores de Lluvia Máxima Diaria (mm)	Calificación
0-50	1
50-100	2
100-150	3
150-220	4
>220	5

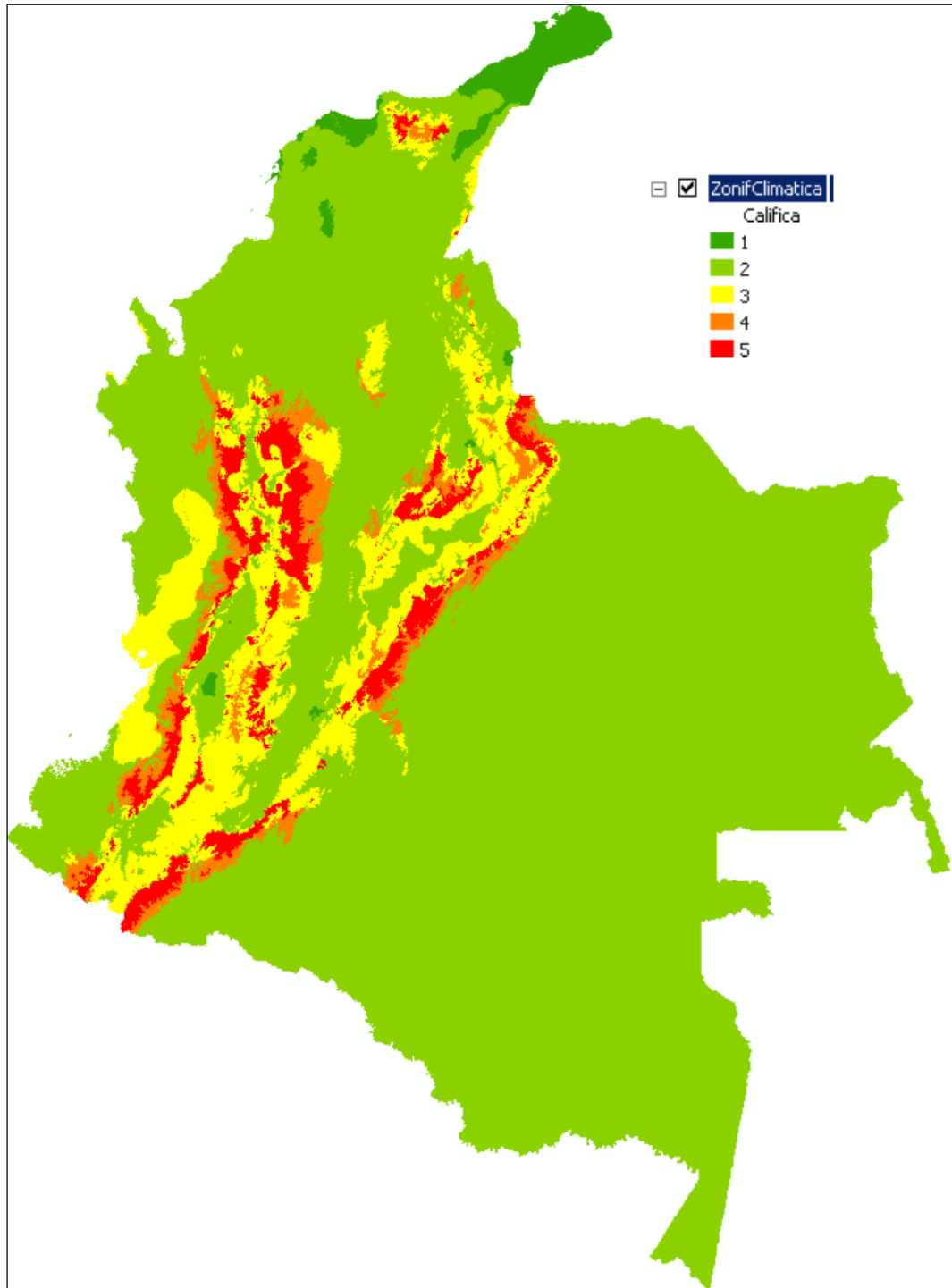


Figura 3. Precipitación media anual y temperatura media anual, calificada con base en su contribución a la generación de movimientos en masa.

1.2.2 Cobertura del detonante clima

El mapa obtenido mediante la calificación de precipitación media anual y la temperatura media anual, el mapa de isoyetas de lluvias máximas diarias, para un periodo de retorno de 25 años, obtenido según la calificación de los rangos, se intersectó y se calificó con un rango de 1 a 5, de acuerdo a su contribución a los movimientos en masa, tal como se presenta en la Tabla 2, dando lugar al mapa final del detonante por factores climáticos.

Tabla 2. Calificación del detonante por clima a partir de la zonificación climática nacional y de las lluvias máximas diarias, de acuerdo con su contribución a los movimientos en masa. (Tomado de SGC, 2013)

Zonificación Climática	Lluvias Máximas Diarias	Detonante por clima
1	1	1
1	2	1
1	3	2
1	4	3
1	5	3
2	1	2
2	2	2
2	3	3
2	4	3
2	5	4
3	1	1
3	2	1
3	3	2
3	4	3
3	5	4
4	1	5
4	2	4
4	3	4
4	4	5
4	5	5
5	1	5
5	2	4
5	3	5
5	4	5
5	5	5

1.3 SÍNTESIS DEL MAPA DE AMENAZA A PARTIR DE LA VARIABLE DEL DETONANTE CLIMA

Las condiciones climáticas presentes en la región de la Plancha 137 – El Cocuy, se analizan a partir del componente detonante clima (Suministrado por el SGC), en el cual se pueden obtener aspectos del comportamiento del terreno, al someterse a factores que producen inestabilidades sobre las laderas y de esta forma generan planos de movimiento en sus diferentes mecanismos. El presente análisis se enfoca en como el detonante clima desfavorece las condiciones del área de estudio, estas condiciones evalúan el terreno para generar diferentes rangos de amenaza, que sectorizan la Plancha 137 – El Cocuy, la cual describe los siguientes parámetros:

Dada la posición geográfica en la cual se encuentra el territorio colombiano, sobre la zona ecuatorial, se sitúa bajo la influencia de los vientos alisios del noroeste y sureste. Estas corrientes de aire cálido y húmedo se encuentran en la zona de confluencia intertropical (Z.C.I.T.), la cual enmarca condiciones climáticas que desarrollan dos tipos de estaciones (invierno y verano); estas condiciones generan un desarrollo con cierta normalidad sobre un registro calendario de un año, en donde los periodos de verano o baja precipitación, se presentan en los primeros tres meses, enero, febrero y marzo, los cuales corresponden no solo con los más secos, sino también a los más fríos del año. Entre tanto los periodos de invierno o alta precipitación, por su parte, se registran para la zona, entre los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre.

En general para la Plancha 137 – El Cocuy, se registran precipitaciones anuales entre 1000 y 3000 mm/año, en áreas donde el clima varía desde cálido hasta nival y con sub – climas que parten desde secos y llegan hasta pluviales, con temperaturas que oscilan desde 24°C, en las zonas adyacentes al curso de los ríos Bachirá, Sinsiga y Royata (Sector nororiental de la Plancha 137 – El Cocuy), hasta temperaturas menores a 1.5°C en el área de la Sierra Nevada de El Cocuy (en el margen sur) (Figura 4).

En un análisis más puntual de la región, donde refleja los parámetros del detonante clima, se observan valores de calificación entre Muy Baja y Muy Alta (Figura 5), en donde el valor más representativo corresponde al rango Alto, que cubre un área de 834,667 km², equivalentes al 46,369% de la Plancha 137 – El Cocuy; mientras el rango menos representativo es aquel de calificación media, cubriendo menos de 1%, es decir aproximadamente 5 km².

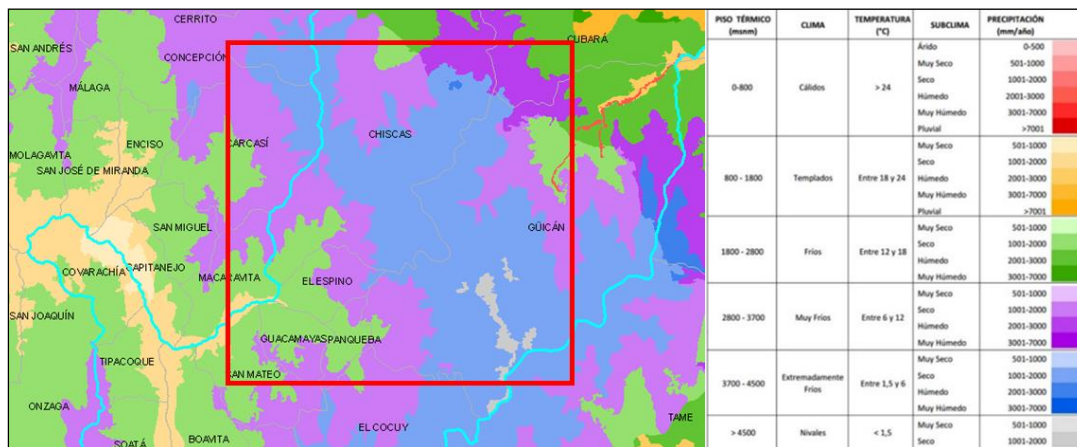


Figura 4. Mapa de zonificación climática. Tomado de: Proyecto sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial, SIGOT. La línea roja delimita el área de estudio.

Las zonas donde la influencia del detonante clima es muy baja, se encuentran distribuidas sobre cuatro sectores de la Plancha 137 – El Cocuy, en el borde suroccidental, sobre pequeñas áreas de la región oriental y la zona norte y en algunos sectores del costado suroriental; caracterizadas por presentar valores de precipitaciones máximas diarias menores a 50 mm. Este rango de calificación cubre el 30,883% de la zona de interés, lo que representa 555,915 Km².

Distribuido en diversos sectores de la Plancha 137 – El Cocuy, el valor de clasificación Bajo, se localiza en algunas regiones del borde suroccidental (en inmediaciones al río Nevado), sobre el margen norte (en la vereda Tapias del Municipio de Chiscas), así como en algunas áreas de la zona oriental (en inmediaciones al sitio conocido como La Quinta, en jurisdicción del Municipio de Guicán) y sobre el costado noroccidental (veredas Páramo, Petaqueros, San Luis y la parte occidental del vereda Sirguaza, en el Municipio de Carcasí), así como en el extremo más suroriental del área de estudio (en área rural del Municipio de Tame, Departamento de Arauca). Presenta precipitaciones máximas diarias entre 50 mm y 100 mm, razón por la cual, la influencia del detonante clima frente a los procesos morfodinámicos, para esta zona, que abarca un área 235,169 km² (13,065%), es baja.

La clasificación media, se localiza sobre el cauce y en inmediaciones de los ríos Bachirá, Sinsiga y Royata, ubicado en el Municipio de Guicán, sobre el costado nororiental, en jurisdicción del Departamento de Boyacá. Los valores de precipitaciones máximas diarias oscilan entre 100 mm y 150 mm. La categoría anteriormente descrita, corresponde al rango menos representativo de toda la

zona de trabajo, debido a que solo ocupa 0,277% de la Plancha 137 – El Cocuy, lo cual equivale a un área de 4,989 km².

Localizado a manera de franja de orientación NW – SE y abarcando todo el centro de la Plancha 137 – El Cocuy, incluyendo las partes medias y altas de la Sierra Nevada de El Cocuy, se presenta el rango de clasificación Alta, caracterizada por exhibir valores de precipitación máxima diaria desde 150 mm hasta 220 mm. Distribuido en algunas regiones de los municipios de Carcasí, Concepción (Departamento de Santander), Chiscas, Guicán (Departamento de Boyacá) y Tame (Departamento de Arauca), corresponde a la categoría más representativa de toda el área de estudio, cubriendo 834,667 km², equivalente a 46,369%.

Con valores de precipitación máxima diaria mayores a 220 mm, la categoría de calificación Muy Alta para la generación y ocurrencia de procesos morfodinámicos, se ubica en el extremo nororiental, distribuido en los municipios de Chiscas (Reserva Indígena Uwa), Cubara (sobre el río Cobaría y sus principales afluentes) y Guicán (en inmediaciones al sitio conocido como Media Mesa y sobre los principales afluentes a los ríos Bachirá y Sinsiga). Representa el 9,406% de la Plancha 137 – El Cocuy, es decir, abarca 169,305 km² de la zona de interés.

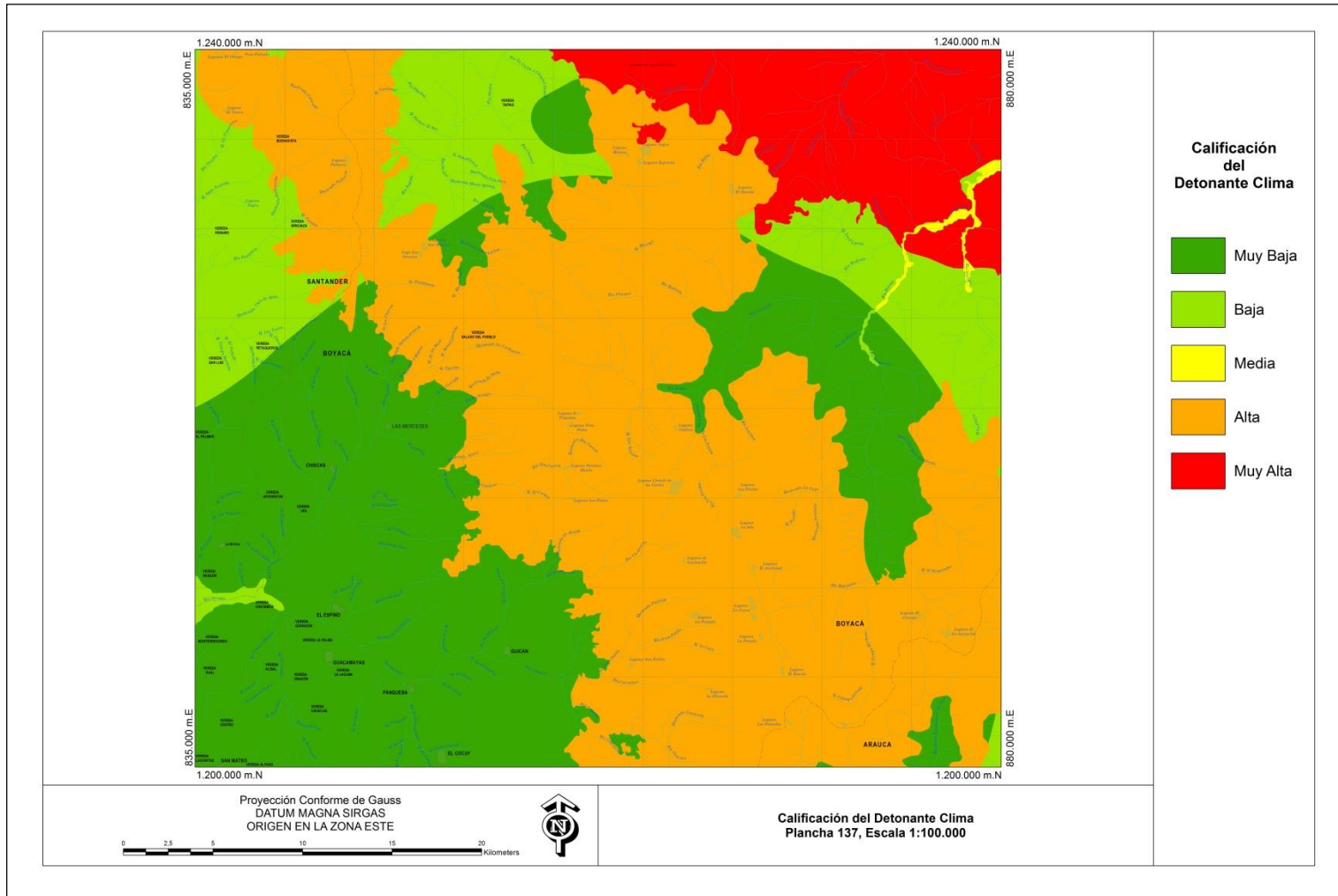


Figura 5. Mapa del detonante clima suministrado por el SGC.

Ya incluyendo el detonante clima a la calificación por susceptibilidad total de la Plancha 137 – El Cocuy, la cual agrupa variables como la Geología, Geomorfología, Suelos y Coberturas, se obtiene la amenaza por detonante clima, como resultado de esta incorporación, en donde se suman las variables, se genera un nuevo mapa con los sectores de mayor y menor influencia a las condiciones climáticas, que a continuación se describe.

1.3.1 Amenaza Baja

Las áreas que presentan rangos de amenaza baja, se desarrollan en las regiones donde el efecto detonante clima es muy bajo (precipitaciones máximas diarias menores a 50 mm), distribuidas en algunos sectores del borde suroccidental y de la región oriental, así como sobre pequeñas áreas de la zona norte y del costado suroriental. Estos sectores se presentan sobre depósitos de tipo aluvial, y donde la unidad geomorfológica Plano o llanura de inundación, perteneciente al ambiente Fluvial – Lagunar, es la geoforma más representativa (asociada a algunos tramos de los ríos Cobugón, Chuscal, Nevado, La Unión, Orozco, Pantano Grande y Ratoncito y de las quebradas Colorada y La Salvia). 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 para esta clasificación de susceptibilidad, corresponde a frío seco.

1.3.2 Amenaza Media

Las zonas que presentan calificación media, para la amenaza por efecto del detonante clima, se desarrollan principalmente hacia el margen suroccidental, el borde occidental, y en zonas del norte y oriente de la plancha. Caracterizadas por presentar geoformas que hacen parte de los cuatro ambientes morfogenéticos que integran la Plancha 137 – El Cocuy (Glacial – Periglacial, Morfoestructural, Denudacional y Fluvial – Lagunar), 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. Las condiciones anteriormente mencionadas, aumentan la inestabilidad de las diferentes laderas, generando procesos morfodinámicos, entre los cuales se incluyen, deslizamientos (traslacionales y planares) y caídas de material principalmente, aunque también se registra reptación de suelos y flujos, pero en menor proporción, donde el material constituyente de estos corresponde a detritos; con el desarrollo de procesos erosivos de tipo laminar, surcos y cárcavas, de intensidades moderadas a severas.

1.3.3 Amenaza Alta

Las áreas que integran los rangos de amenaza por el detonante clima, con calificación alta, se presentan a manera de corredor o franja, con un orientación NW – SE, abarcando todo el sector central de la Plancha 137 – El Cocuy, así como en algunos tramos de los cauces de los ríos Bachirá, Sinsiga y Royata, en el margen nororiental. Distribuida sobre algunos sectores de los municipios de Carcasí, Concepción (Departamento de Santander), Chiscas, Guicán y Cubara (Departamento de Boyacá) y Tame (Departamento de Arauca), corresponde a la categoría más representativa 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 glaciares 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. Todas estas características, configuran a estas áreas como zonas medianamente y altamente susceptibles a los procesos morfodinámicos, sin embargo no se registran ningún proceso.

1.3.4 Amenaza Muy Alta

Todo el sector nororiental del área de interés (a excepción de algunos tramos de los cauces de los ríos Bachirá y Sinsiga), ubicada en jurisdicción de los municipios de Chiscas, Cubará y Guicán, en el Departamento de Boyacá, representa los sectores que registran valores de calificación muy alta, para amenaza por el detonante clima, agrupando 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 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-glaciares y glaciares), no presentan procesos de movimientos en masa, pero 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.

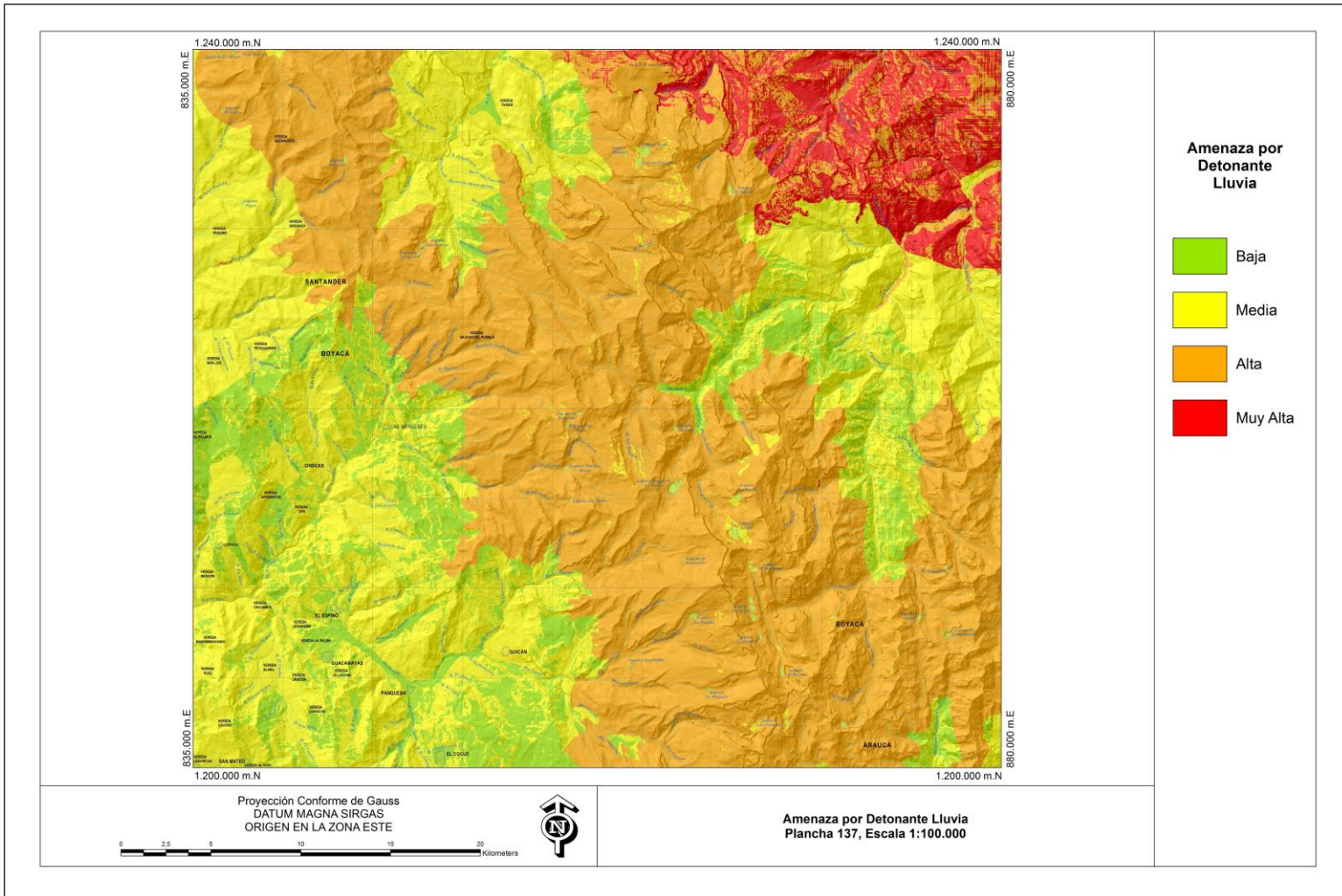


Figura 6. Mapa del resultado del cálculo entre la susceptibilidad total.