

---

***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), 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 Guzzetti *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 (Guzzetti *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:

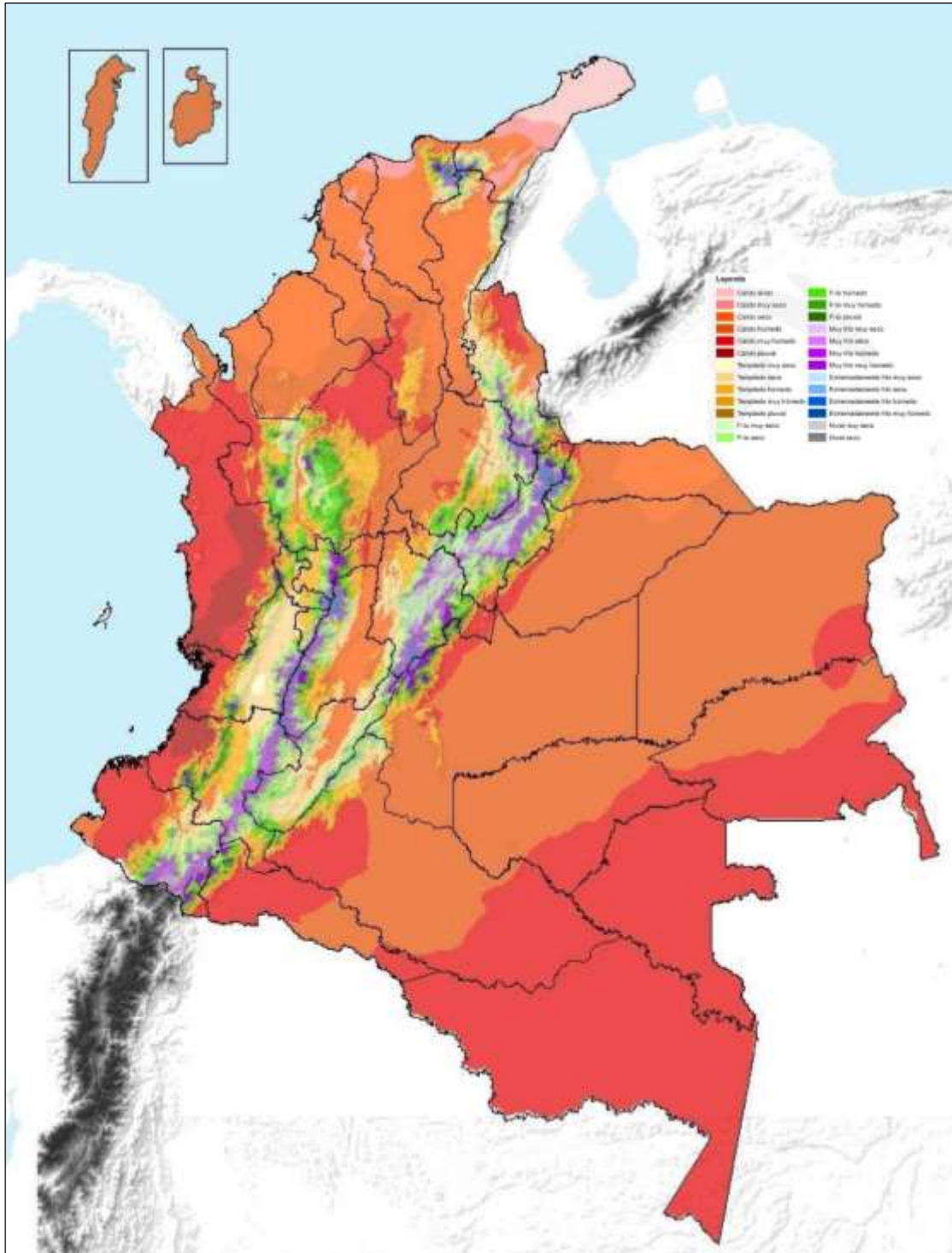
- La precipitación media anual y la temperatura media anual influyen en el contenido de humedad del suelo, es decir, en zonas en donde la precipitación media anual sea alta y la temperatura media anual sea baja, la humedad del suelo será mayor, lo cual contribuiría en mayor medida a la generación de 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

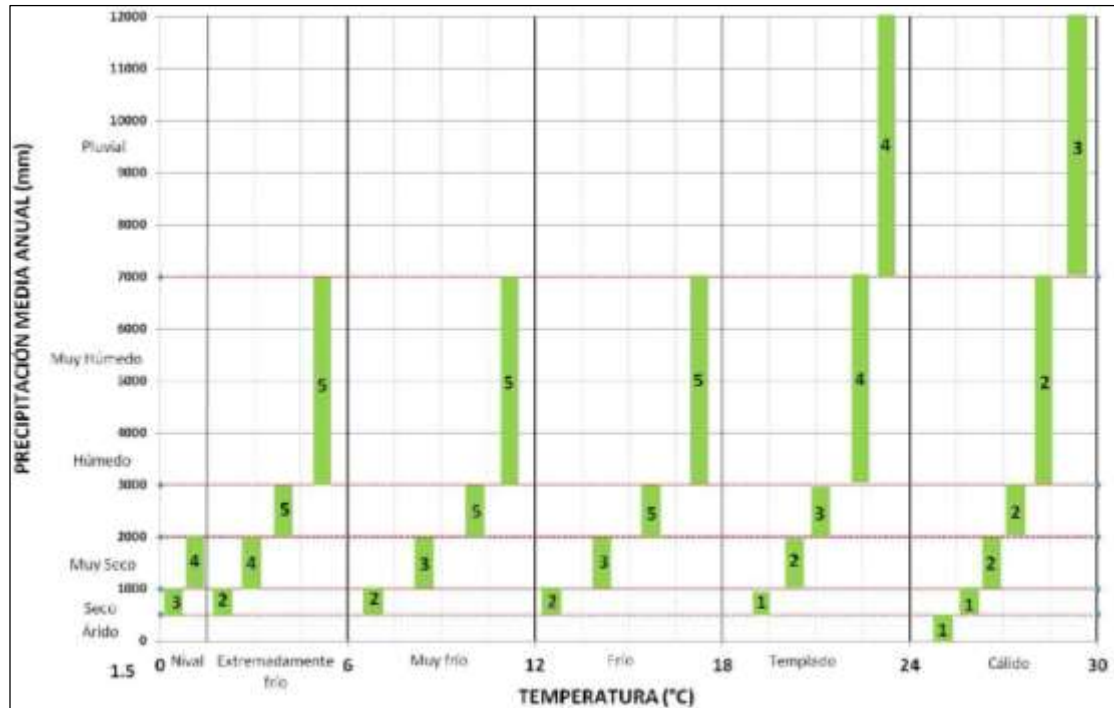
Teniendo en cuenta la escala de trabajo se consideró adecuado el uso de la zonificación climática propuesta por IDEAM (2001), la cual es el resultado de la caracterización de los regímenes térmicos y de lluvia propios de la geografía colombiana.

Dicha 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 los 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.

### 1.1.1 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.

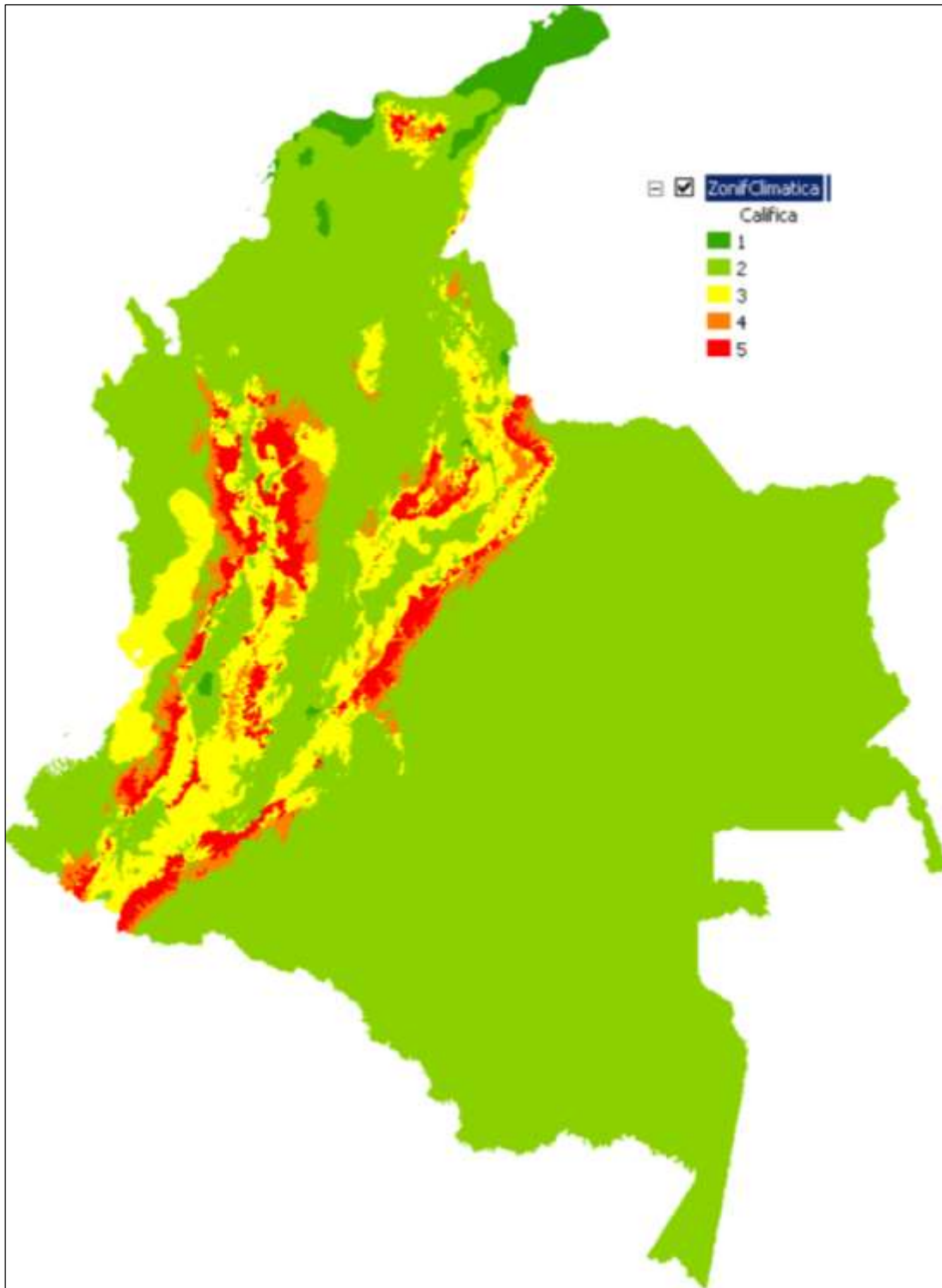
Los valores de lluvia máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 25 años, se calculó a partir de una distribución Gumbel Tipo I – Extremo para el periodo de análisis (1987-2011) y se espacializó con ArcGIS utilizando el

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, 2012).

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.

### 1.1.2 Cobertura del detonante climático

El mapa obtenido mediante la calificación de precipitación media anual y la temperatura media anual, el mapa de isoyetas de lluvias diarias máximas 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 factores climáticos 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, 2012).

Zonificación Climática	Lluvias Máximas Diarias	Detonante por Factores Climáticos
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

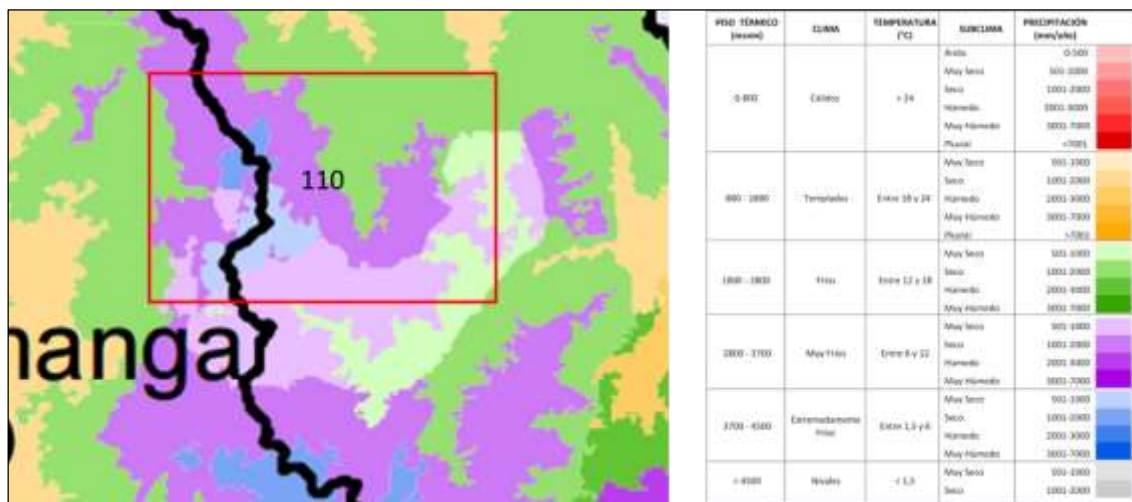
### 1.3 SÍNTESIS DEL MAPA DE AMENAZA A PARTIR DE LA VARIABLE DEL DETONANTE CLIMA

Las condiciones climáticas presentes en la región de la Plancha 110 Pamplona se analizan a partir del componente del detonante clima (Suministrado por SGC), en el cual se pueden obtener aspectos del comportamiento de terreno al



someterse a factores que producen inestabilidades sobre las laderas y de esta forma generar 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, la cual describe los siguientes parámetros:

Dada la posición geográfica en la cual se encuentra el territorio colombiano sobre la zona ecuatorial, lo 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 producen en los meses de diciembre, enero y febrero con un salto hacia los meses de junio, julio y agosto, los periodos de invierno o alta precipitación se registran para la zona en los meses de marzo, abril y mayo con un salto hacia los meses de septiembre, octubre y noviembre. En general la Plancha 110 Pamplona registra precipitaciones anuales entre 500 a 2000 mm/año, en climas que varían desde templados a fríos y subclimas que parten desde los muy húmedos a pluviales con temperaturas que oscilan entre los 6°C en las zonas de páramo (Páramos de Berlín y Santurbán) hasta los 20-24°C en las zonas bajas correspondientes al margen oriental de la plancha en municipios como Pamplonita (Figura 4).



**Figura 4.** Mapa de zonificación climática. Tomado de: Proyecto sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial, SIG-OT.

En un análisis más puntual de la región donde refleja los parámetros del detonante clima, se observa (Figura 5):

Los valores de calificación del detonante clima muy baja, ocupan 287,45 Km<sup>2</sup> (14,37%) del área total de la Plancha y se distribuye hacia el occidente (Suratá, California, parte de Vetas y norte de Berlín; incluye parte de los páramos de Berlín y Santurbán) y nororiente (Pamplona, Pamplonita), con niveles máximos de lluvia que varían de 0 a 50 mm y temperaturas menores a 18°C.

La calificación detonante clima baja, cubre una zona de 1350,87 Km<sup>2</sup> (67,54% del área de la plancha) y se localiza en el área de todos los municipios de la plancha; corresponde a valores diarios de precipitación máxima entre 50 a 100 mm/día. Su condición climática es acorde a las regiones que desarrollan bajas susceptibilidades a la inestabilidad del terreno.

El valor de calificación media cubre un área de 332,41 Km<sup>2</sup> (16,62% del área), y se localiza en una franja SE-E, que incluye los municipios de Cácuta, Chitagá, Cucutilla, Mutiscua, Pamplona, Pamplonita y Silos; también se presenta, en zonas más pequeñas, al SW de Tona (río Tona), vereda Cucano (río Pamplonita), vereda Sanabria (río Zulasquilla) y vereda Lirgua (río Chitagá); esta calificación representa valores de lluvia máxima diaria entre 100 a 150 mm/día; el análisis de la amenaza por acción del detonante clima genera una zona medianamente propensa a desestabilidad de las laderas por la concentración de agua en el subsuelo; ya para este punto de estudio se tendrían también en cuenta las condiciones del terreno en sus variables de uso del suelo y cobertura vegetal del mismo para restringir la variable en zonas de mayor y menor afectación por infiltración de las aguas lluvias.

El rango de calificación alta que comprende zonas con alta condición al detonante clima y que registran precipitaciones máximas diarias entre 150 a 220 mm/día abarcan un área de 29,33 Km<sup>2</sup> (1,47% del área de la plancha), se ubica en límite de los departamentos de Santander y Norte de Santander, al centro-noroeste de la Plancha, asociados al Páramo de Santurbán, en la intersección de los límites municipales de California, Cucutilla, Mutiscua, Suratá y Vetas, estas zonas presentan una tasa de infiltración mayor y son propensas a generar desestabilidad en las laderas por efecto de las aguas lluvias; sumado al factor climático se incluye condiciones propias del terreno como el grado de pendiente y el tipo de roca, el uso del suelo y su cobertura vegetal; es así como los valores de amenaza por el detonante clima de esta región representa un alto grado a posibles movimientos en masa en sus diferentes mecanismos.

Ya incluyendo el detonante clima a la calificación por susceptibilidad total de la plancha, la cual agrupa variables como la Geología, Geomorfología, Suelos y Coberturas se obtiene la amenaza por detonante climático, como resultado de esta incorporación en donde se suman las variables, se genera un nuevo mapa

donde se aprecia los sectores con mayor y menor influencia a la amenaza por detonante clima (Figura 6) y que se describe a continuación.

### **1.3.1 Amenaza Baja**

Las zonas que presentan rangos de amenaza baja, se generan en regiones menos vulnerables a los efectos del detonante clima, aunque es posible encontrar esporádicos movimientos en masa del tipo deslizamientos y reptaciones; se ubican en gran parte sobre la zona occidental de la plancha (Suratá, Vetas, California); esta región se caracteriza por tener un ambiente geomorfológico glacial y estructural, donde priman factores climáticos fríos a extremadamente fríos y precipitaciones máximas diarias que pueden ser >100 mm/día, estas áreas se desarrollan en zonas de las laderas con gradiente bajo a moderado de pendiente, dando como resultado la presencia depósitos glaciares de tipo morrenas (laterales, frontales y de fondo) las cuales se generan por el desgaste de las laderas aledañas, efecto de la erosión por gelifracción a causa de masas de hielo glacial.

También se localiza al sur de Berlín, y entre Pamplona y Pamplonita. Estos depósitos 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 tienen espesores prominentes en algunos sectores, condición que favorece a la estabilidad del terreno.

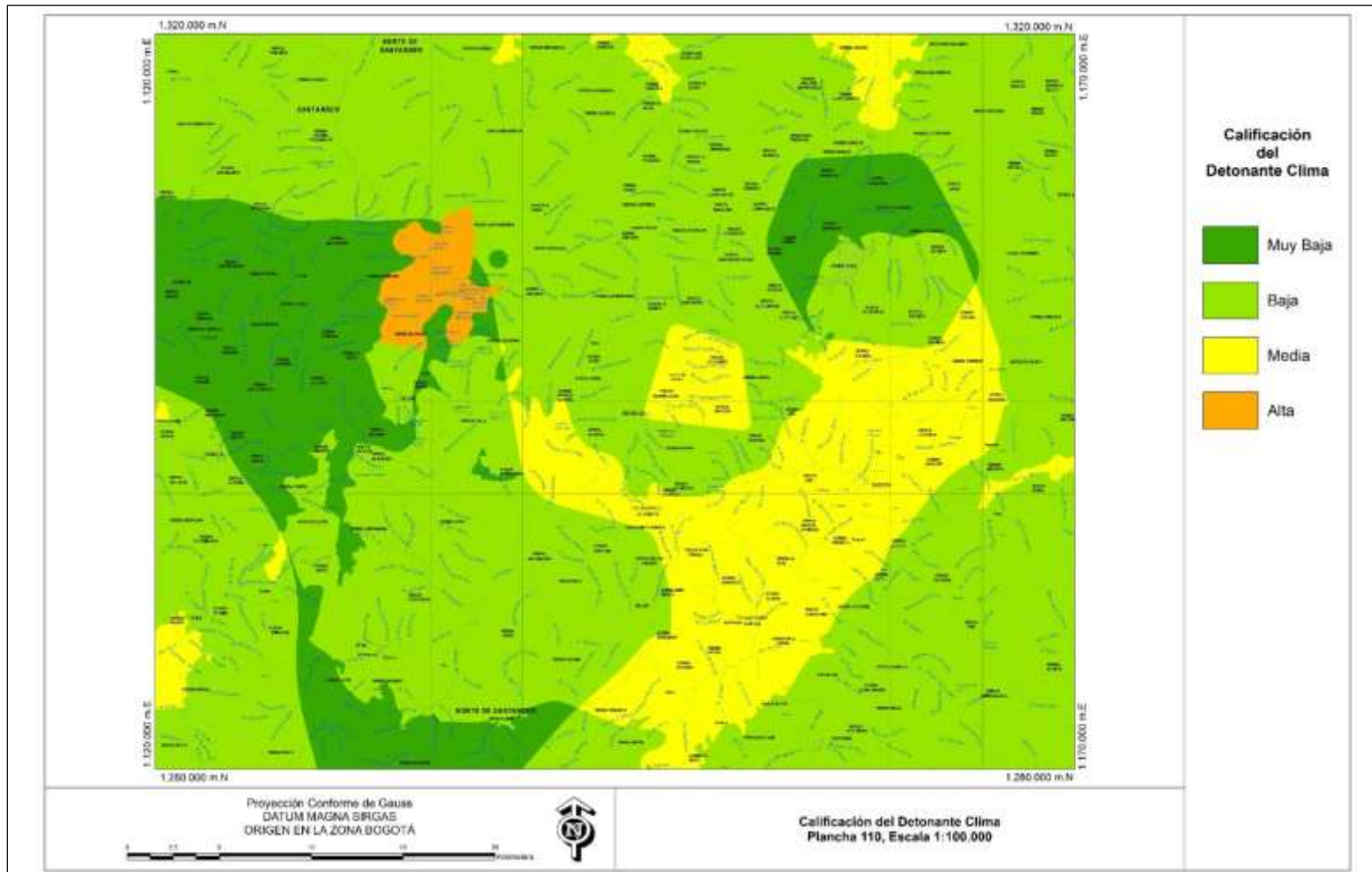
### **1.3.2 Amenaza Media**

Las zonas que presentan calificación de amenaza por detonante clima media se distribuyen de manera dominante y heterogénea sobre toda la plancha, abarcando el área de todos los municipios presentes en la plancha; se caracterizan por tener ambientes geomorfológicos entre glaciares, denudativos y estructurales, los valores de precipitación máxima diaria oscilan entre los 100 a 150 mm/día en climas fríos a muy fríos, con desarrollo de suelos que pueden variar entre los 25 a 100 cm de espesor y coberturas vegetales con moderado desarrollo. Estas condiciones que incrementan la desestabilización del terreno por la cantidad de agua infiltrada en el suelo, producen en algunos sectores como en las cercanías a los centros poblados, deslizamientos de tipo traslacionales, caídas de rocas y reptaciones en menor grado.

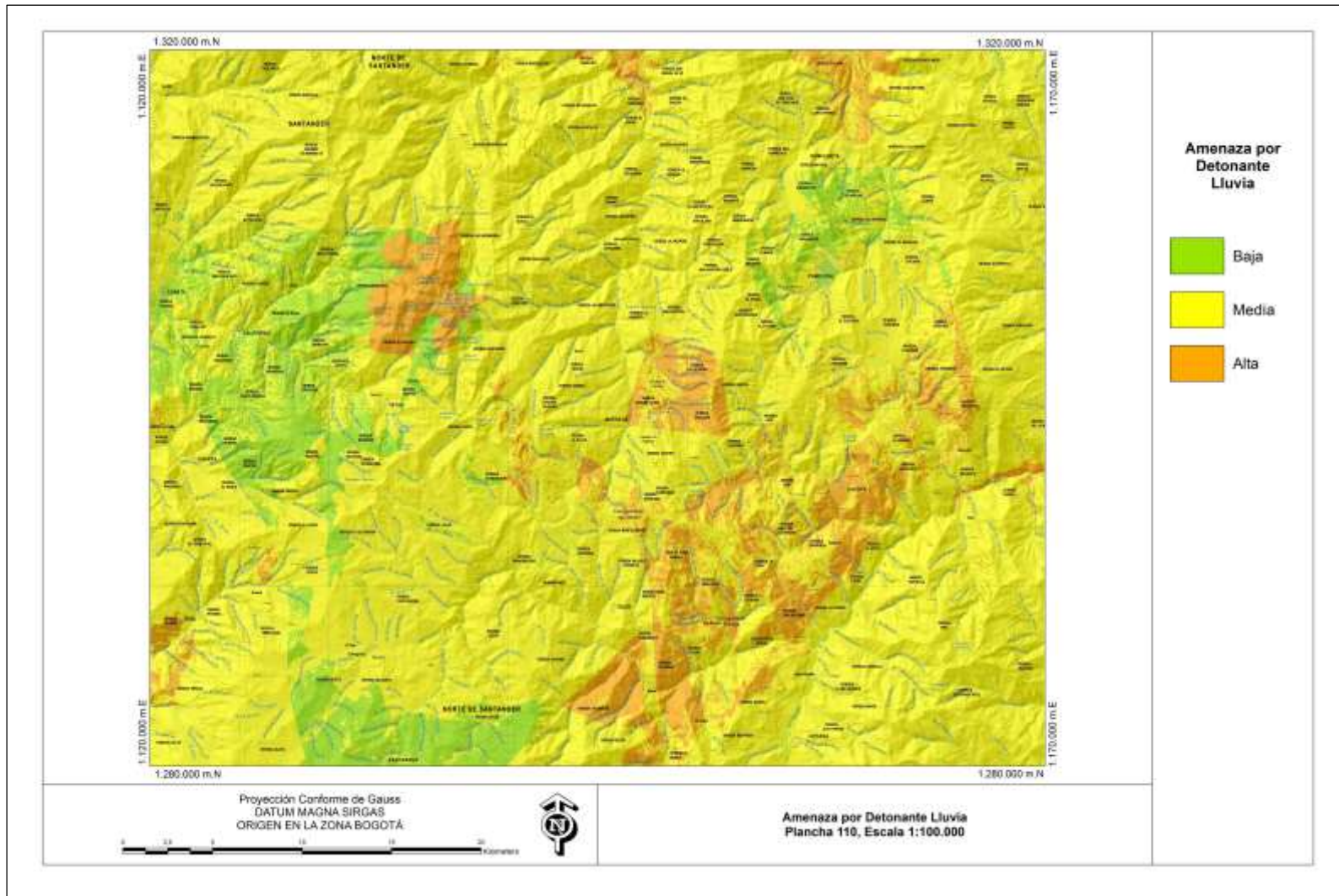
### **1.3.3 Amenaza Alta**

El rango que presenta calificación de amenaza alta por efecto del detonante clima, se distribuyen de manera heterogénea en la zona centro-noroeste (al norte de Vetas, zonas de páramo); al centro y sureste (área de Mutiscua, Cágota, Silos, Chitagá, Labateca); se caracterizan por tener ambientes geomorfológicos entre denudativos y estructurales, los valores de precipitación

máxima diaria oscilan entre los 150 a 220 mm/día en climas templados a fríos, con desarrollo de suelos que pueden variar entre los 25 a 150 cm de espesor y coberturas vegetales con moderado a alto desarrollo. Estas condiciones favorecen la desestabilización del terreno por la cantidad de agua infiltrada en el suelo, produciendo en algunos sectores como en las cercanías a los poblados mencionados deslizamientos de tipo traslacionales y rotacionales, caídas de rocas, flujo de detritos y reptaciones en menor grado, afectando la infraestructura y actividades económicas del sector. Para este sector se recomienda realizar estudios a un mayor grado de detalle; también se indica que aquí solo se evalúa la amenaza a partir del detonante clima ya que el factor sísmico juega un papel importante en la desestabilización de las rocas, generando planos de debilidad y fractura.



**Figura 5.** Mapa Calificación del Detonante clima suministrado por el SGC.



**Figura 6.** Mapa del resultado del cálculo entre la Susceptibilidad total y el Detonante clima.