
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 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.

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.

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.

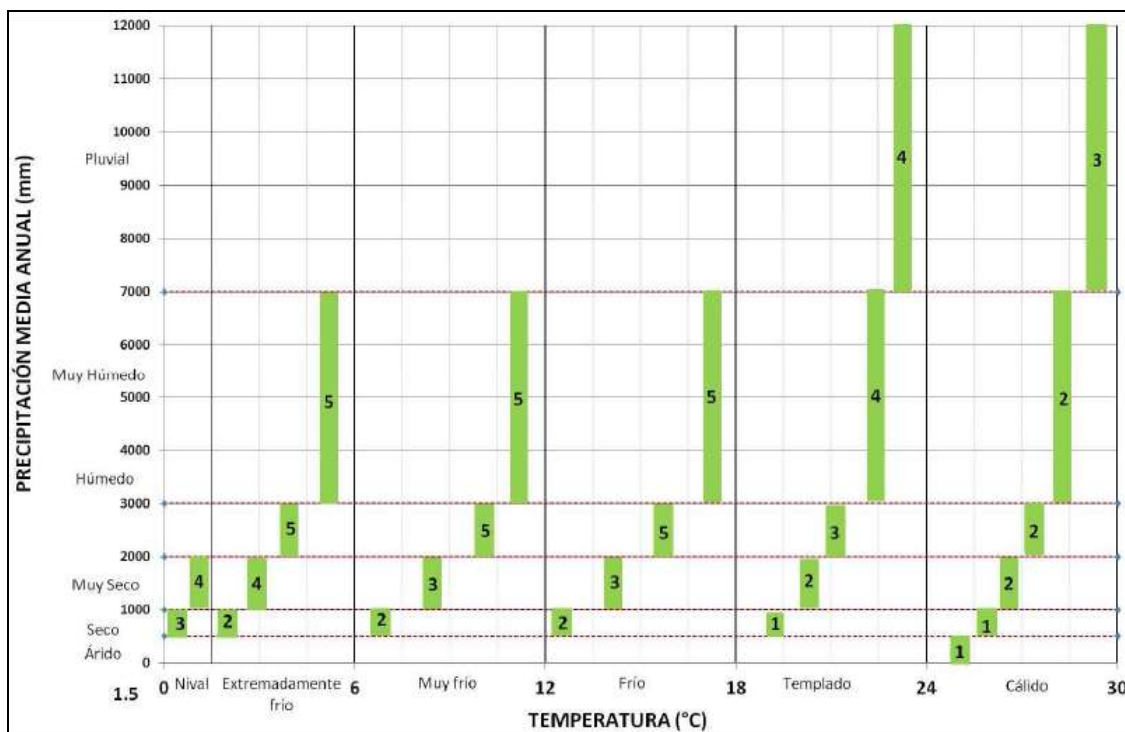


Figura 2. Calificación de la zonificación climática (precipitación media anual y temperatura media anual nacional) con base en su contribución a los movimientos en masa.

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).

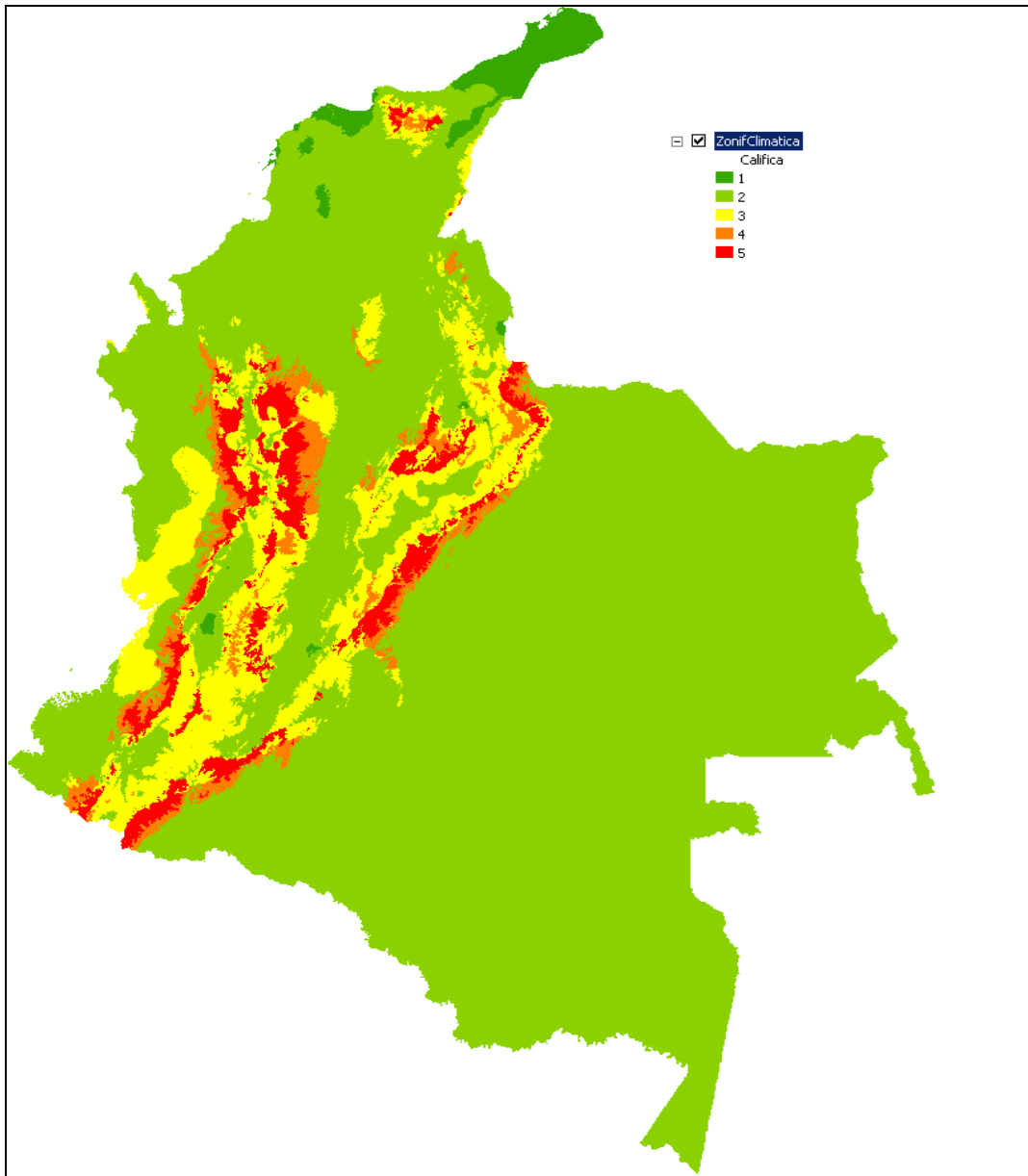


Figura 3. Precipitación media anual y temperatura media anual calificada con base en su contribución a la generación de movimientos en masa.

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

1.2.2 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

Zonificación Climática	Lluvias Máximas Diarias	Detonante por Factores Climáticos
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 364 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 febrero-marzo y de agosto–septiembre, los periodos de invierno o alta precipitación se registran para la zona en los meses de marzo a junio y de octubre a noviembre. En general la plancha 364 registra precipitaciones anuales entre 1001 a 3000 mm/año en climas que van desde cálidos a muy fríos y subclimas que secos a húmedos a pluviales con

temperaturas que oscilan entre los 6°C en las zonas de paramo hacia la Cordillera Central (Páramos de Bellones y Sotaró, Guanacas) y >24°C en las zonas bajas de las cuencas de los ríos Guachicono, Quilcacé, Jejenes, Timbío, Guabas y Patía en el área Intercordillerana del Valle del Patía (Figura 4).

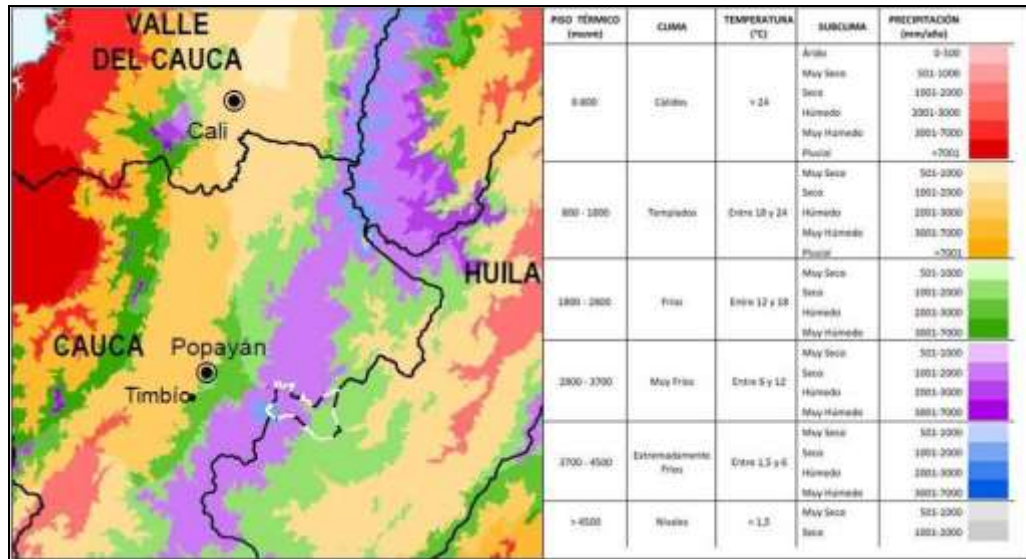


Figura 4. Mapa de zonificación climática. Tomado de: Proyecto sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial, SIG-OT.

En la Figura. 5 se muestra el mapa del detonante clima de la plancha 364 - Timbío, donde se observa que la calificación con contribución a los movimientos en masa baja abarca la mayor parte de la superficie de la plancha con 64,73% del área total, equivalente a 1553,6 Km². Se distribuye hacia el límite suroriental de la plancha en la cima de la Cordillera Central, abarcando gran parte de los municipios de Sotaró (Paispamba), Puracé (Coconuco) y San Agustín; hacia el piedemonte de la Cordillera Central, ocupa la parte central y occidental de los municipios de Rosas y La Sierra, el norte de La Vega y Sucre, gran parte del municipio de Timbío y una pequeña área del sur de Popayán y del norte de Sotaró. En el sector más oriental de la Cordillera Occidental y en la parte alta del valle del Patía. Esta calificación presenta valores de lluvia máxima diaria entre 50 – 100 mm/día.

La categoría de calificación muy baja a los movimientos en masa ocupa tan solo el 0,13% del área total con 3,19 Km² de superficie, localizada en la vereda La Catana del municipio de Sotaró (Paispamba). Los valores de lluvia máxima diaria en esta categoría no alcanzan los 50 mm/día.

La categoría de clasificación media corresponden a una área pequeña dentro de la zona de trabajo y representa el 14,64% del área con 351,3 Km² de

superficie, localizados hacia el margen suroccidental abarcando el municipio de Patía (El Bordo), el norte de los municipios de Bolívar y Sucre y el oeste de la Vega, extendiéndose hacia el noreste siguiendo las laderas de los ríos Patía, Quilcacé, Guabas, Timbío, Esmita, Bojoleo y Jejenes, llegando hasta la vereda La Pedregosa al sur del municipio de El Tambo. El análisis de la amenaza por acción del detonante clima genera una zona medianamente propensa a inestabilidad 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. Las precipitaciones máximas diarias para esta zona están entre los 100 – 150 mm/día

Para la categoría de calificación alta a la contribución del detonante clima a los movimientos en masa presenta precipitaciones máximas diarias de 150 a 220 mm/día. Ocupando 50,5 Km² de superficie que corresponden al 2,1% del área total de la plancha 364, esta condición se presenta hacia el límite noroccidental en los sectores de Mecaje, los Andes y entre el Río Guabas y las quebradas el Cedro, Chicao, Guabital y El Oso; hacia el sur de la población de El Bordo en cercanías al Río Guachicono, sector de Guayabal. En la zona de la Cordillera Central se encuentra hacia la cima de Volcán Sotaró y al Norte de la población de Paispamba, en inmediaciones de los ríos Las Piedras o Paispamba, El Molino, y las quebradas Los Obandos, Leiton y Presidente.

En el valor de calificación al detonante clima muy alta, se registran precipitaciones máximas diarias mayores a 220 mm/día. Corresponde a un área de 441,4 Km² dentro de la zona de trabajo que representa el 18,39% de la superficie total de la plancha. Se muestran como dos franjas que cruzan la plancha con dirección SW-NE, desde el sector sur-central hasta el borde noreste de la plancha, en la Cordillera Central y en el límite noroccidental en las partes más altas de la Cordillera Occidental. La contribución a los movimientos en masa muy alta que caracteriza esta región genera mecanismos que desestabilizan las laderas por los planos o superficies de debilidad de la roca o suelo. Condiciones extrínsecas de la región pueden disminuir o atenuar el proceso de desestabilización del terreno, como el uso del suelo, su cobertura vegetal, el tipo de roca y el control estructural, son parámetros que afectan directamente el comportamiento de la ladera al momento de un incremento en la infiltración del agua en el subsuelo.

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 clima, como resultado de esta incorporación en el cual se suman las variables, se genera un nuevo mapa

donde se aprecia los sectores con mayor y menor influencia a las condiciones climáticas (Figura 6).

1.3.1 Amenaza Baja

Las zonas que presentan rangos de amenaza baja, desarrollan regiones menos vulnerables a los efectos del detonante clima, abarcan el borde noreste, en los páramos Sotará y Bellones, sobre la Cordillera Central; hacia el piedemonte de la Cordillera Central, extendiéndose al noreste hacia el altiplano de Popayán y hacia la cuenca Intercordillerana del Valle del Patía, llegando hasta las áreas bajas de la Cordillera Occidental. Esta es una región en la que se presentan todos los ambientes geomorfológicos de la plancha, en el que priman factores climáticos fríos a extremadamente fríos en las zonas de paramo y cálidos en el Valle del Patía, con suelo húmedos y muy húmedos y precipitaciones máximas diarias que alcanzan los 100 mm/día. Los depósitos muestran cierta estabilidad a los movimientos en masa, debido a que son en su mayoría depósitos volcánicos con superficies suavemente inclinadas o planas, así mismo las rocas presentan alta resistencia al fracturamiento y poco desarrollo de meteorización y erosión, que favorecen la estabilidad del terreno en estos rangos de amenaza.

1.3.2 Amenaza Media

Las zonas que presentan calificaciones de amenaza media por efecto del detonante clima, se localizan en el municipio de Sotará, al Norte de la población de Paispamba, en inmediaciones de los ríos Las Piedras o Paispamba, El Molino, y las quebradas Los Obandos, Leiton y Presidente, en el Volcán Sotará y en inmediaciones de la población de Rio Blanco. En el suroeste de la plancha También se presenta en los sectores aledaños a la población de El Bordo (Patía) y en las veredas, Hortencia, Naranjal, Montañuela, La Carrera El Guabo al sureste de esta población. En el valle del Patía se localizan en las laderas cercanas a los ríos Patía, Sajandí, Timbío Guabas, Quilcacé, Bojoleo y sobre las laderas de sus de las quebradas afluentes a estos ríos. Se presentan en menor proporción en el límite noroccidental en laderas colindantes de los drenajes. Esta región se caracteriza por tener unidades Volcánicas como Flujos de lava y mantos de piroclastos hacia la Cordillera Central y ambientes estructurales y denudacionales en el sector del Valle del Patía y la Cordillera Central. Los valores de precipitación máxima diaria oscilan entre los 100 a 150 mm/día en climas predominantemente templados y algunos sectores muy fríos, con desarrollo de suelos que pueden variar entre moderadamente profundos (50-100 cm) a profundos (100-150 cm) y desarrollo de coberturas vegetales moderadas. Estas condiciones que incrementan en un moderado grado la inestabilidad del terreno por la cantidad de agua infiltrada en el suelo, producen en algunos sectores donde se desarrollan ambientes volcánicos y denudacionales deslizamientos de tipo traslacionales, caídas de detritos.

1.3.3 Amenaza Alta

El rango de amenaza alta, registra un alto grado a la desestabilidad del terreno por efecto de la infiltración del agua lluvia y las condiciones climáticas. Las zonas que presentan estos valores de calificación se ubican al noroccidente de la plancha en la Cordillera Occidental y al este en la región media de la Cordillera Central, sobre laderas que presentan pendientes abruptas (16° - 20°) a muy abruptas (21° - 30°). Las precipitaciones máximas diarias en esta zona van desde los 150 mm/día hasta los 220 mm/día y climas templados húmedos y fríos húmedos, en zonas de alta susceptibilidad a los movimientos en masa. Estas regiones presentan coberturas vegetales que varían entre mosaico de pastos con espacios naturales, vegetación secundaria o en transición y mosaico de pastos y cultivos con espacios naturales, en suelos profundos (100° - 150°). Los ambientes geomorfológicos representativos de este rango son el estructural con sierra homoclinal, laderas estructurales y de contrapendiente de sierra Homoclinal, sierras y lomos de presión, espolones y lomos de falla y denudativos con sierra denudada y lomeríos muy disectados. En menor proporción se presentan en unidades volcánicas como flujos de lava y flujos de lava en bloque de pendientes que no superan los 10° .

1.3.4 Amenaza Muy Alta

Las zonas que presentan un valor de calificación por amenaza lluvia con rango muy alta se ubican al noroccidente en la Cordillera Occidental y al este en la región media de la Cordillera Central, sobre laderas que presentan pendientes escarpadas (31° - 45°) a muy escarpadas ($>45^{\circ}$). Se presenta como una franja alargada con dirección SW-NE, que en la Cordillera Central se extiende desde la parte sur-central de la plancha hasta el límite nororiental de la misma. En estas zonas se presentan las condiciones más altas para que se genere inestabilidad en las laderas por la presencia de suelos profundos y muy profundos en los paisajes de montaña, que presentan mayor capacidad de retención de humedad, soportando mayor peso en condiciones de altas pendientes (laderas); aumentando la susceptibilidad de los suelos a los movimientos en masa. Los ambientes geomorfológicos representativos de este rango son estructural volcánico y denudacional. Entre las unidades volcánicas están los mantos de piroclastos y flujos piroclásticos aterrazados; las geoformas estructurales son sierra homoclinal, laderas estructurales y de contrapendiente de sierra homoclinal, sierras y lomos de presión, espolones y lomos de falla; y por ultimo las unidades geomorfológicas denudativas en las que se desarrolla presentan están la sierra denudada, lomos denudados y lomeríos muy disectados.

Se registran lluvias máximas diarias mayores a 220 mm/día en zonas con climas templados y en pequeños sectores muy fríos, en laderas cobertura vegetal poco densa tipo Café, mosaico de pastos con espacios naturales,

vegetación secundaria o en transición y mosaico de pastos y cultivos con espacios naturales, plantación forestal y pastos limpios, los suelos alcanzan a desarrollar espesores profundos (100-150 cm) y en menor proporción muy profundos (>150). En campo se evidenciaron sobre las laderas movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional y algunas caídas de detritos, estos indicadores magnifican el grado de amenaza presente para esta regiones, siendo los más importantes al momento de sectorizar posibles zonas en las que se recomienda realizar estudios a un mayor grado de detalle, cabe aclarar que 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.

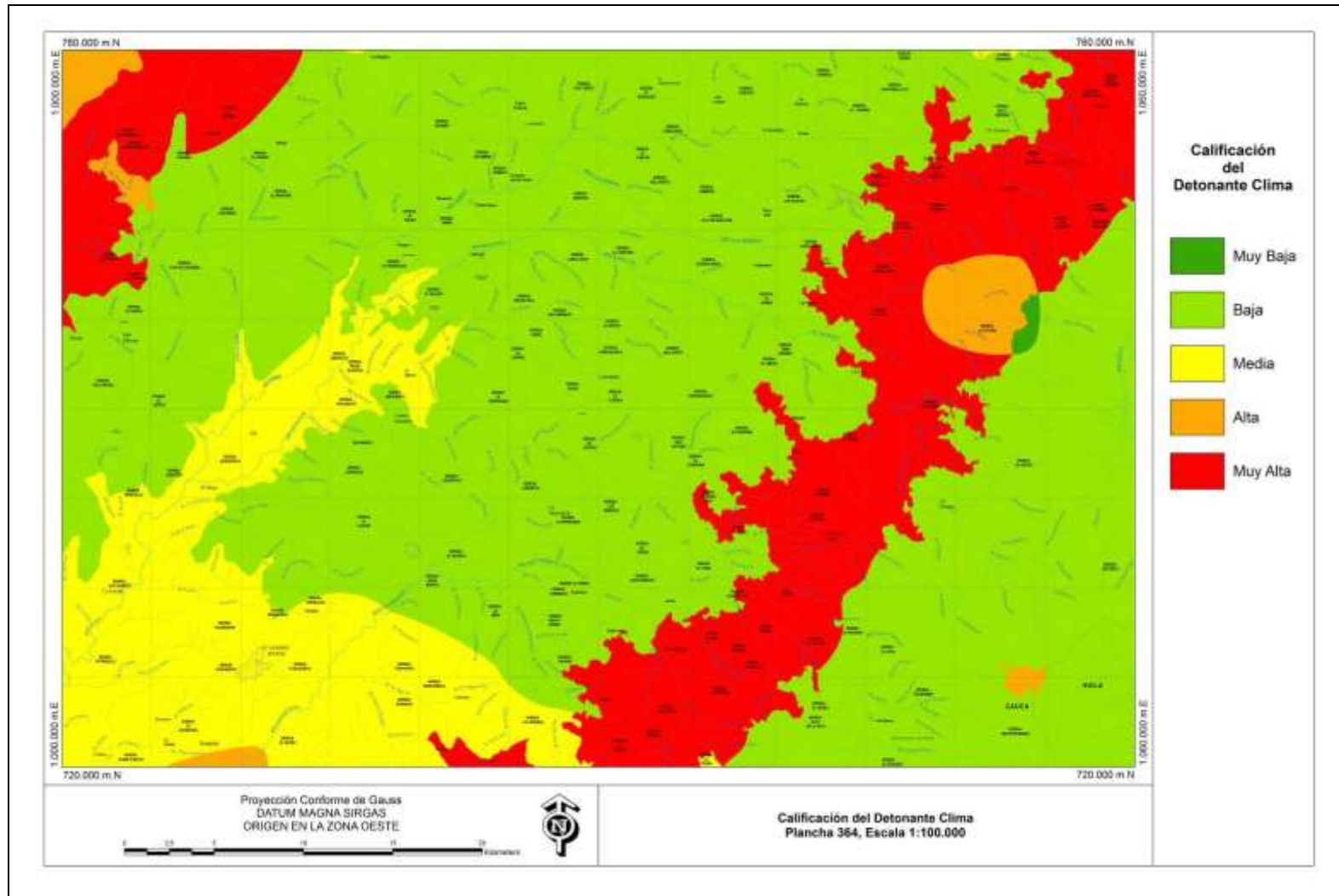


Figura. 5. Mapa del Detonante Clima suministrado por el SGC.

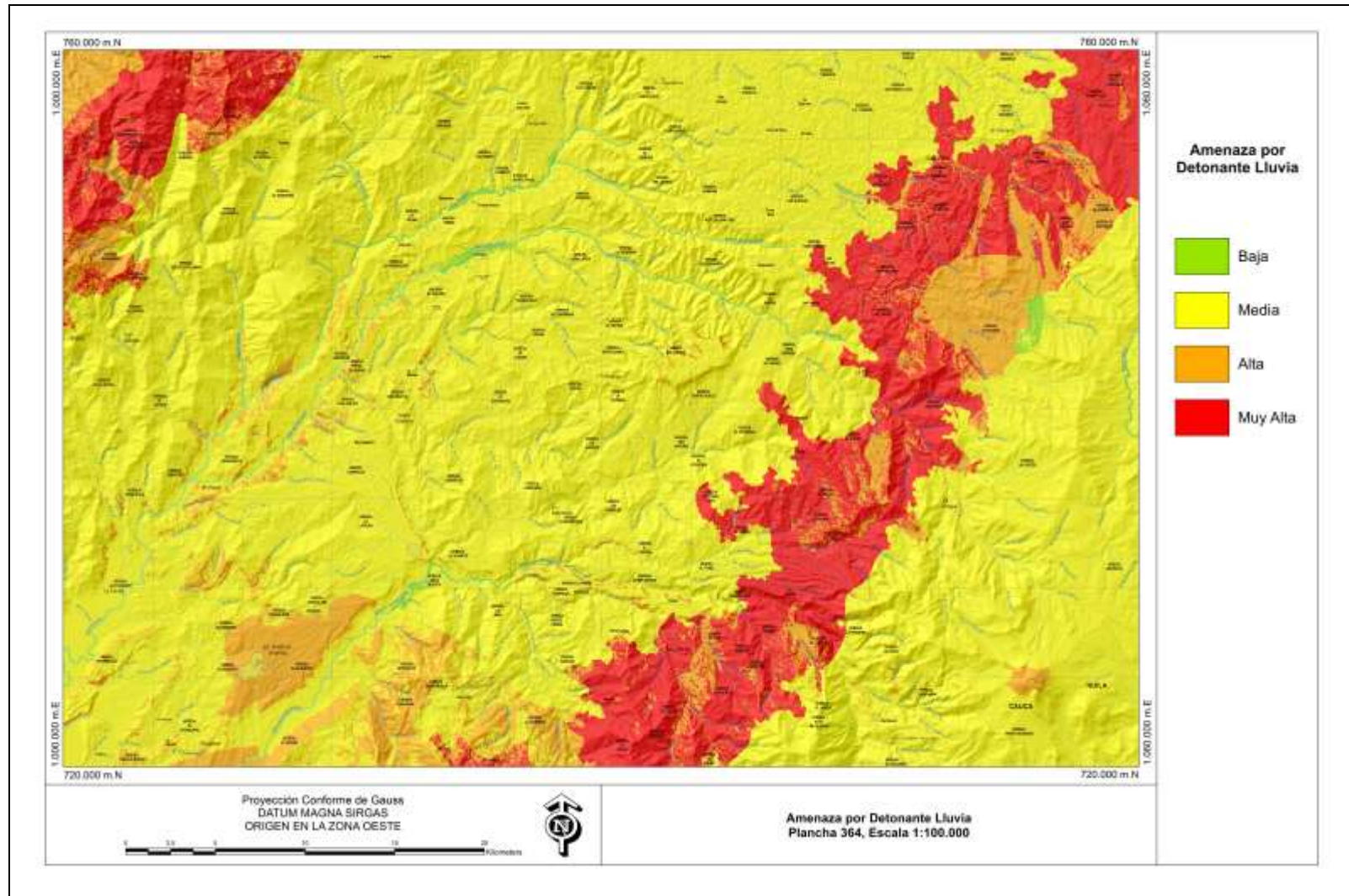


Figura 6. Mapa del resultado del cálculo entre la Susceptibilidad total y el Detonante Clima.