

**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN
No. 038 DE 2013**

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

PLANCHA 193 – YOPAL

Sogamoso, Abril de 2015

CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACION
CONVENIO
No. 038 DE 2013

**MEMORIA EXPLICATIVA DE LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y
LA AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000
PLANCHA 193 – YOPAL**

EQUIPO EJECUTOR – UNIVERSIDAD

Ing. Carlos Julio Rodríguez
Dirección Proyecto
Ing. Héctor Antonio Fonseca
Dirección Técnica Proyecto
Ing. M. Liliana Vargas Camargo
Ing. Omar G. Pérez Molano
Geología y Geomorfología
Ing. Jairo Alonso Pérez
Ing. M. Liliana Vargas Camargo
Catalogo Histórico e Inventario de
Movimientos en Masa
Edith Julieta Gonzales
Cobertura de la Tierra
Luis Eduardo García
Suelos Edáficos
Ing. Diego Armando Penagos.
Sistema de Información Geográfica
Ing. Omar G. Pérez Molano
Ing. Luis David Mesa Ríos
Socialización

EQUIPO ASESOR – SGC

Ing. Gloria Lucía Ruíz
Supervisión Convenio
Geol. Sofía del Rosario Navarro
Coordinadora Grupo Técnico
Geol. Sofía del Rosario Navarro
Geol. Jorge Arturo Castro
Geología y Geomorfología
Ing. Francisco Uribe Rojas
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

Sogamoso, Abril 2015

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	9
1. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	14
1.1 GEOLOGÍA.....	16
1.2 GEOMORFOLOGÍA.....	19
1.3 SUELOS EDÁFICOS.....	22
1.4 COBERTURA DE LA TIERRA.....	25
1.5 FACTOR DETONANTE LLUVIA.....	29
1.6 FACTOR DETONANTE SISMO.....	30
2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ZONIFICACIÓN de SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	34
2.1 SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	34
2.2 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	38
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización geográfica de la Plancha 193 – Yopal.....	11
Figura 2.	Diagrama metodológico para zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100 0000.....	14
Figura 3.	Mapa de susceptibilidad por la variable geología.	16
Figura 4.	Mapa de susceptibilidad por geomorfología.	20
Figura 5.	Mapa de susceptibilidad por suelos edáficos.	23
Figura 6.	Mapa de susceptibilidad por cobertura.	26
Figura 7.	Mapa factor detonante lluvia.	30
Figura 8.	Mapa factor detonante sismicidad.....	32
Figura 9.	Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa Plancha 193-Yopal.....	35
Figura 10.	Distribución en porcentajes de la susceptibilidad total.	35
Figura 11.	Mapa de amenaza por movimientos en masa.	39
Figura 12.	Distribución en porcentajes de amenaza total.....	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Lista de insumos.....	15
Tabla 2.	Parámetro de calificación de susceptibilidad por movimientos en masa ...	36
Tabla 3.	Parámetro de calificación de amenaza por movimientos en masa.....	40

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Variable Geología.
- Anexo B.** Variable Geomorfología.
- Anexo C.** Variable Suelos Edáficos.
- Anexo D.** Variable Cobertura Vegetal.
- Anexo E.** Amenaza Detonada por Lluvia.
- Anexo F.** Amenaza Detonada por Sismo.

RESUMEN

En esta memoria explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa en escala 1:100.000 de la Plancha 193 – Yopal, se incluyen los aspectos metodológicos utilizados para la evaluación de la susceptibilidad por geología, geomorfología, suelos edáficos y cobertura de la tierra. Posteriormente, se presentan los resultados de susceptibilidad incluyendo los detonantes sismo y lluvia, para finalmente, definir el mapa de amenaza por movimientos en masa y sus respectivas conclusiones.

La Plancha 193 – Yopal, está ubicada, en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, en el Piedemonte y en los Llanos Orientales de Colombia, ocupando áreas de los Departamentos de Boyacá (Labranzagrande, Pisba y Paya), Casanare (Yopal, Nunchia y Aguazul). En el área de estudio se reconoce tres sistemas de relieve, el de montaña, piedemonte y llanura. El sistema de montaña está localizado al noroccidente de la plancha, en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, este sistema presenta relieves escarpados. El sistema de piedemonte los filos son continuos. El sistema de llanura está situado al oriente de la plancha, el relieve es plano y está drenado por los ríos Cravo Sur, Tocaria, Payero y Nunchia, con carga importante que generan los depósitos de gravas arenas y lodos actuales que le imprimen el carácter plano, estos rasgos indican procesos acentuados de disección, que ameritan dar continuidad a los estudios ya existentes del Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa en Escala 1:500.000 del INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano).

Para la evaluación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa, se utilizó el método heurístico, propuesto por el Servicio Geológico Colombiano – SGC, para lo cual se adelantaron actividades de campo y oficina, llegando al mapa relativo de amenazas relativas por movimientos en masa.

Entre los resultados más significativos, se puede asociar que, las zonas más propensas a presentar movimientos en masa están condicionadas a unidades del ambiente estructural dentro de las cuales se encuentran Ladera de Contrapendiente de Sierra Anticlinal, Ladera Estructural de Sierra Anticlinal, Sierra Anticlinal, Ladera Estructural de Sierra Homoclinal, Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal, Ladera Estructural de Sierra Sinclinal, además también se desarrolla en el ambiente denudacional en las unidades Cono de Deslizamiento Indiferenciado, Ladera Erosiva. Geológicamente estas unidades se presentan en rocas sedimentarias de las Formaciones Lutita de Macanal

(Miembro A, B), Arenisca de las Juntas, Chipaque, Palmichal, Arcillas del Limbo, Areniscas del Limbo, San Fernando y finalmente la Formación Diablo en sus miembros superior e inferior.

En general la amenaza alta por movimientos en masa, tiene una alta correspondencia con cambios en el uso y cobertura del suelo en las laderas. La cobertura vegetal que prima en esta zona corresponde a bosque denso alto de tierra firme principalmente y los suelos son profundos.

La metodología de evaluación de la susceptibilidad y la amenaza, para esta escala de trabajo es altamente aceptable, sin embargo, tiene la limitación, que no considera la presencia de suelos residuales tanto en rocas ígneas como metamórficas, que puede incidir significativamente en la susceptibilidad por geología y suelos.

ABSTRACT

In this memoria explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa en escala 1:100.000 de la Plancha 193 – Yopal, they include the methodological aspects used to evaluate the susceptibility geology, geomorphology, soils and soil land cover. Subsequently, the results of susceptibility earthquake triggers including rain, finally, define the hazard map mass movements and their conclusions.

The plancha 193 - Yopal, is located on the eastern slopes of the Cordillera Oriental, in the foothills and in the eastern plains of Colombia, occupying areas of the departments of Boyaca (Labranzagrande, Pisba and Paya), Casanare (Yopal, Nunchia and Aguazul). In the study area three systems of relief, mountain, foothills and plains recognized. The mountain system is located northwest of the plate, on the eastern slope of the Eastern Cordillera, this system has steep reliefs. The system foothills edges are continuous. The system plain is located east of the iron, the terrain is flat and is drained by the South Cravo, clunky, Payero and Nunchia rivers, with significant burden generated by deposits of gravel sands and current sludge which printed the flatness These features indicate profound processes of dissection, they deserve to continue existing studies National Threat Map mass movements in scale 1: 500,000 of INGEOMINAS (now Servicio Geológico Colombiano).

Heuristic method, proposed by the Servicio Geologico Colombiano, was used to evaluate susceptibility and landslide threat, - SGC, for which field and office activities were ahead, reaching the relative hazard map relating to movements in mass.

Among the most significant results, you can associate that the most prone to landslides areas are conditioned to units of the structural environment within which Hillside counterslope Sierra Anticline, Ladera Structural Sierra Anticline, Sierra Anticline, Ladera are Structural homoclinal Sierra, Sierra hillside counterslope Syncline, Ladera Structural Sierra Siclinal addition also takes place in the environment in denudacional Cone Slip units Indiferenciado, Ladera Erosiva. Geologically these units come in sedimentary rocks of the shale formations Macanal (Member A, B), Sandstone of the Boards, Chipaque, Palmichal, Clays Limbo Limbo Sandstone, San Fernando and finally the Devil training its members and higher lower.

Generally high landslide threat, has a high correspondence with changes in the use and land cover on the slopes. The plant cover raw in this area corresponds to high dense forest of mainly firm ground and soils are deep.

The methodology for evaluating the susceptibility and threat, for this scale of work is highly acceptable, however, it has the limitation that it does not consider the presence of residual soils both igneous and metamorphic rocks, which can significantly impact the susceptibility geology and soils.

INTRODUCCIÓN

La Plancha 193 – Yopal localizada entre la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, en el Piedemonte y en los Llanos Orientales de Colombia, hace parte de la estructuración del “Mapa Nacional de amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000”, que adelanta el SGC, con el cual, se busca mejorar la resolución de los productos existentes del territorio colombiano, relacionados con la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa, generados por el INGEOMINAS en el año 2010, en escala 1:500.000. Esta Plancha hace parte del Convenio especial de cooperación 038 de 2013, suscrito por el SGC y la UPTC.

Esta Plancha cubre parte del Departamento de Boyacá, en jurisdicción de los Municipios de Labranzagrande, al noroccidente el municipio de Pisba, al norte el municipio de Paya y en el departamento de Casanare en jurisdicción de los Municipios de Aguazul. Al nororiente el municipio de Nunchía. (Ver Figura 1). Fisiográficamente se caracteriza por presentar tres sistemas de relieve el de montaña, piedemonte y llanura, hidrográficamente se encuentran drenado por los ríos Cravo Sur, Tocaria, Payero y Nunchia.

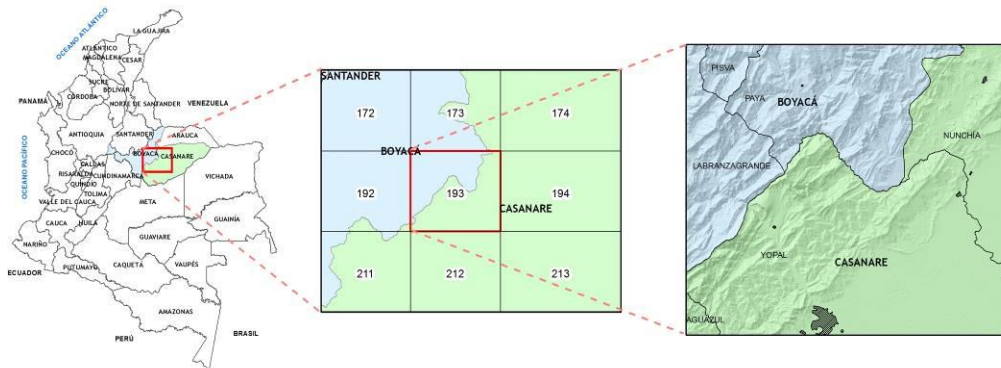


Figura 1. Localización geográfica de la Plancha 193 – Yopal.

En la evaluación de susceptibilidad y amenaza se aplicó el método heurístico de análisis jerárquico ⁽¹⁾, el cual integra aspectos temáticos con porcentajes definidos, así como la implementación de las características de los aspectos detonantes relacionados con la climatología y sismicidad.

¹ “SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000, 2013, p. 20).

Dentro de la zona de estudio correspondiente a los departamentos de Boyacá y Casanare respectivamente se encontraron eventos catastróficos significativos registrados dentro de los medios locales o fuentes secundarias, como movimientos de tipo deslizamiento para los municipios de Pisba (1997) y (2012) y Paya (1993) y (2011) dejando así 16 viviendas destruidas Y para los municipios de Aguazul (2012), Yopal (2012) y Nunchia (2012) se registraron 3 pérdidas humanas; a nivel de infraestructura 40 vías afectadas, como por ejemplo el colapso del puente que conduce del Municipio Labranzagrande hacia el caserío El Morro. Una de las afectaciones más graves que ha sufrido la zona de estudio corresponde a que el día 29 de Mayo del 2011 se registró un deslizamiento en el cerro Buenavista, como factor detonante se tiene el alto régimen de lluvias la magnitud del deslizamiento ocasiono grietas que causaron que la infraestructura de los inmensos tanques de almacenamiento colapsaran obligando a evacuar la planta de tratamiento de agua potable para evitar que la tragedia fuese mayor, afectando la distribución del líquido en el Municipio de Yopal, también se presentaron deslizamientos que ocasionaron fisuras en la vía marginal del llano que de Yopal comunica a Paz de Ariporo.

Mediante el desarrollo de las visitas a la zona de estudio, se permitieron inventariar 30 movimientos en masa principalmente caída de detritos, roca, seguido a estos se encuentran deslizamientos de tipo traslacional, flujo de detritos y reptación de tierra, estos movimientos son desarrollados a lo largo de las vías intermunicipales, debido a que los cortes de las laderas no presentan la inclinación adecuada generando una condición de estabilidad altamente propicia al desarrollo de movimientos en masa. Adicionalmente se interpretaron imágenes de sensores remotos en las cuales no fueron evidentes.

Adicionalmente se consultaron los procesos de remoción en masa que se encuentran dentro del catálogo de movimientos en masa descargados como información secundaria de la base de datos SIMMA ⁽²⁾, siendo nula la consulta, además de la condición de amenaza que se encuentra distribuida dentro de del mapa de zonificación de amenazas por movimientos en masa escala 1:500.000, donde se identifica una distribución predominante para las categorías Muy alta y Alta, seguida de las categorías Baja y Media lo cual indica una probabilidad de ocurrencia condicionada a la influencia antrópica.

Con esta zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa en escala 1:100.000, se tienen elementos para la toma de decisiones en la

² Sistema de Información de Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano, al cual se puede acceder a través de su página web www.sgc.gov.co

planificación del territorio y la reducción de desastres a nivel regional; sin embargo, para efectos de planificación del territorio a nivel municipal y para la evaluación de aspectos locales y puntuales, se recomienda, implementar zonificaciones de amenazas a mayor detalle.

1. DESARROLLO METODOLÓGICO

En la Figura 2, se ilustra el proceso metodológico heurístico⁽³⁾ suministrado por el SGC, en el cual, se evalúan variables cualitativas como lo son la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra, y variables cuantitativas, generadas a partir de la interpretación de un modelo digital de elevación, para llegar inicialmente al Mapa de Susceptibilidad, mediante un proceso jerárquico analítico. Con la incorporación de los detonantes (lluvia y sismo), se llega finalmente, al Mapa de Amenaza Relativa.

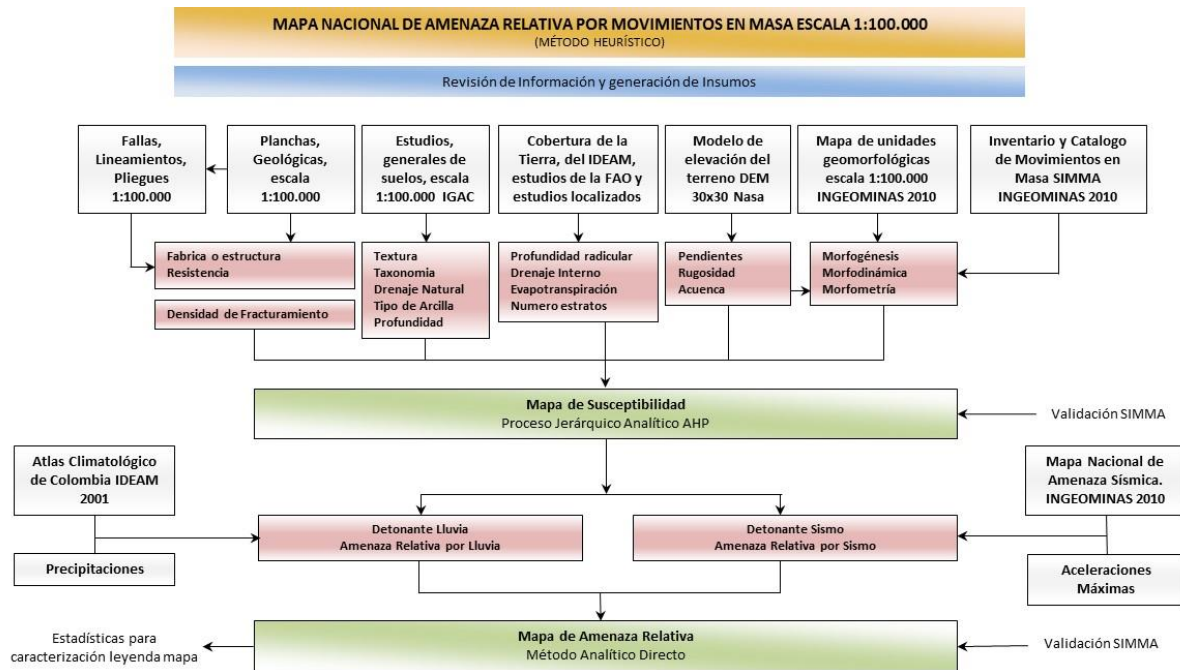


Figura 2. Diagrama metodológico para zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100 000.

En la Tabla 1, se relacionan los insumos suministrados por el SGC, que se utilizaron para la generación del Mapa de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000.

³ “SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000, 2013, p. 25.

Tabla 1. Lista de insumos

INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
Cartografía básica	1:100.000	GeoDataBase	IGAC
Modelo digital de elevación	1 Arco-segundo (30 metros aproximadamente)	Raster	NASA
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
Registro de hidrología y climatología de estaciones pluviométricas pluviograficas 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
Capa cobertura Ideam-Igac Norte	1:100.000	Vector	IDEAM
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, 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
Catalogo 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

Fuente. Autores.

1.1 GEOLOGÍA

El componente Geología determinó una condición de susceptibilidad (Figura 3) con diferentes categorías distribuidas de forma condicionada con las unidades estratigráficas aflorantes y relacionado con cada una de las variables temáticas procesadas (Ver Anexo A, Geología) a partir de la Plancha Geológica 193 – Yopal, escala 1:100.000, con su respectivo documento explicativo que contiene principalmente la información litológica y estructural de la zona de estudio.

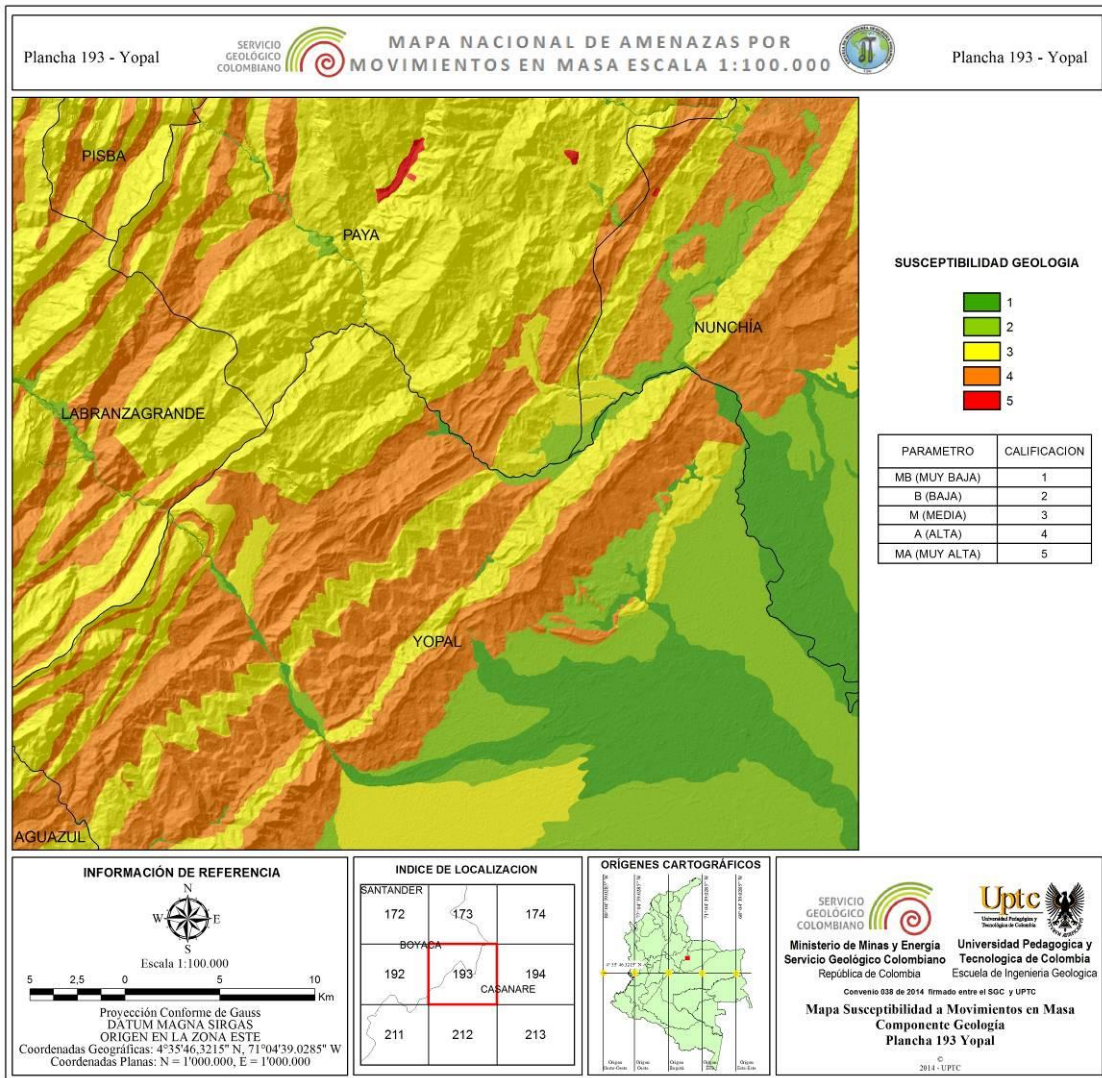


Figura 3. Mapa de susceptibilidad por la variable geología.

Dentro del área de estudio se destaca principalmente dos categorías de susceptibilidad que son las más representativas debido al área y extensión que representan en relación a este componente, de tal forma que la susceptibilidad media (con la mayor distribución espacial) por geología a los movimientos en masa, se encuentra en la zona Centroccidental predominando (Labranzagrande, Pisba, Paya, Aguazul, Yopal) y en la parte Oriental con una menor proporción (Nunchía), se desarrolla sobre rocas de las Formación Arenisca de las Juntas (Kialj), Formaciones Diablo Superior (Pds), Lutitas de Macanal en sus miembros (Kilma y Kilmc), entre otras, las anteriores formaciones litológicas tienen en común que son calificadas respecto a su resistencia como Duras y según su textura como Clásticas Cementadas. Esta categoría de susceptibilidad se genera en sectores con alto grado tanto de fracturamiento como de sus tasas de desplazamiento, siendo así un condicionante para el fracturamiento de las rocas presentes en la zona de estudio, las cuales fueron nombradas anteriormente; en esta categoría de susceptibilidad se presentan la mayor cantidad de movimientos en masa, los cuales son de gran incidencia a lo largo de los cortes de las vías intermunicipales y veredales, condición que fue verificada mediante visitas de campo.

En cuanto a la susceptibilidad baja la cual ocupa la segunda área predominante respecto a la calificación por el componente geología esta se ubica geográficamente en la parte Suroriental del área del estudio correspondiendo así a los Municipios Yopal y Nunchía y con una menor representación en los Municipios Labranzagrande y Paya. Litológicamente esta categoría se presenta sobre Terrazas Altas del Llano, Terrazas Bajas del Llano, Terrazas Intermontanas y Terrazas.

Susceptibilidad Muy Baja

Esta zona se relaciona litológicamente con materiales de los Depósitos Aluviales (Qal) constituidos principalmente por cantos y gravas de composición arenosa, depositados por las corrientes mayores, en llanuras relativamente angostas; conformando “barras” que en sus partes bajas, están cubiertas por las aguas de los afluentes hídricos; y se refiere a depósitos recientes, contiguos a los ríos, presentando una pendiente plana a suavemente ondulada, dichas zonas son sometidas a inundación. Respecto al trabajo de campo realizado en esta categoría se inventario un movimientos en masa el cual corresponde a Caída de detritos (Río Nunchía).

Susceptibilidad Baja

Categoría de susceptibilidad que ocupa 211,361221 Km² en un 8,806 %, litológicamente está representada sobre las Terrazas Bajas Del Llano (Q2t2) compuesta por gravas, arenas y lodos, en fotografías aéreas se presentan como formas aterrazadas cuya

superficie es más elevada que la de la llanura aluvial del río que las cruza; seguida a esta litología se encuentran las Terrazas Altas Del Llano (Qt2), Terrazas (Qt), y finalmente las Terrazas Intermontanas (Qtr).

Geográficamente esta susceptibilidad se encuentra con una predominancia en los Municipios Yopal (occidente del corregimiento El Morro), Nunchía, Paya, Labranzagrande. Una vez realizado el trabajo de campo, en esta categoría de susceptibilidad se evidenció un movimiento en masa el cual fue clasificado como Caída de Roca.

Susceptibilidad Media

Esta categoría hace parte del área más representativa dentro de la Plancha ocupando 2092,462876 Km² y un porcentaje de 87,2%. Geográficamente abarca cada uno de los Municipios de la zona de estudio con mayor predominancia en la zona Noroccidental, en jurisdicción de los Municipios Pisba, Labranzagrande, Aguazul, y sobre el casco urbano del Municipio de Yopal, así como también en la zona Nororiental en jurisdicción de los Municipios Nunchía y Paya. La litología de esta susceptibilidad se encuentra predominando sobre rocas de la Formación Arenisca de las Juntas (Kialj) la cual está compuesta por areniscas cuarzosas, de color gris amarillento, de grano fino con interestratificaciones delgadas, de lodolitas negras micáceas, seguida a esta se encuentran rocas de las Formaciones Diablo Superior (Pds), Lutitas de Macanal en sus miembros (Kilma y Kilmc), Grupo Palmichal y Areniscas del Limbo, entre otras.

En la etapa de campo para el inventario de movimientos en masa fue posible identificar quince movimientos en masa, de los cuales diez son de tipo Caída de Detritos, dos movimientos tipo Caída de Roca así como dos movimientos tipo Flujo de Avalancha y finalmente un deslizamiento Traslacional.

Susceptibilidad Alta

Susceptibilidad desarrolla litológicamente en franjas alargadas en dirección NW-SE, en orden de predominancia sobre rocas de la Formación Diablo inferior (Pdi) la cual está compuesta por gruesos niveles areníticos, se alternan con gruesos niveles predominantemente lodolíticos, seguida a esta en orden de predominancia se encuentran las Formaciones Caja (PNc), Arcillas Del Limbo (Pal), Chipaque (Ksc), Fomeque (Kif). Geográficamente se encuentra con predominancia en la parte Centroccidental en lo que corresponde a los municipios de Labranzagrande, Aguazul, Yopal, Pisba, Paya, así como también en el sector Oriental en el Municipio Nunchía.

El inventario de movimiento en masa realizado en la zona de estudio dio como resultado la clasificación de trece movimientos en masa de los cuales cuatro son Deslizamientos Traslacionales, con la misma cantidad se encontraron las Caídas de Detritos, seguido a estos se encuentran dos movimientos tipo Caída de Roca, y finalmente representando con un movimiento se encuentra el Deslizamiento Traslacional, Reptación De Suelos y Flujos de Tierra.

Susceptibilidad Muy Alta

La susceptibilidad muy alta ocupa una mínima parte dentro de la Plancha 193 – Yopal, está relacionada litológicamente con depósitos tipo Conos Aluviales (Qcn) los cuales se componen principalmente por sedimentos arcillo-limosos y/o arenosos de colores rojizos, ocasionalmente con lentes y/o niveles (menores a un metro), de cantos tipo guijo a guijarro, clasto soportados; así mismo se compone por Depósitos de Tierras (Qco) constituido por fragmentos de roca sub-angulares de la misma composición de las rocas adyacentes. Geográficamente esta categoría de susceptibilidad se evidencia en los Municipios de Paya (Vereda Niscota, y al costado de la Quebrada Agua Blanca), Nunchía (al costado del Caño El Mango).

En lo que respecta al inventario de movimientos en masa realizado en jornadas de campo sobre esta categoría de susceptibilidad se inventariaron dos movimientos en masa los cuales son de tipo Deslizamiento traslacional y Flujo de Detritos.

1.2 GEOMORFOLOGÍA

La susceptibilidad a los movimientos en masa por Geomorfología, representa uno de los componentes de mayor importancia puesto que define aspectos relacionados con la génesis, litología y procesos de evolución. Estas características permiten conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno. ⁽⁴⁾

En la Figura 4, se ilustra el Mapa de Susceptibilidad por Geomorfología, en donde prevalece la susceptibilidad alta, seguida de la susceptibilidad media.

⁴ UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo B Geomorfología, 2014.

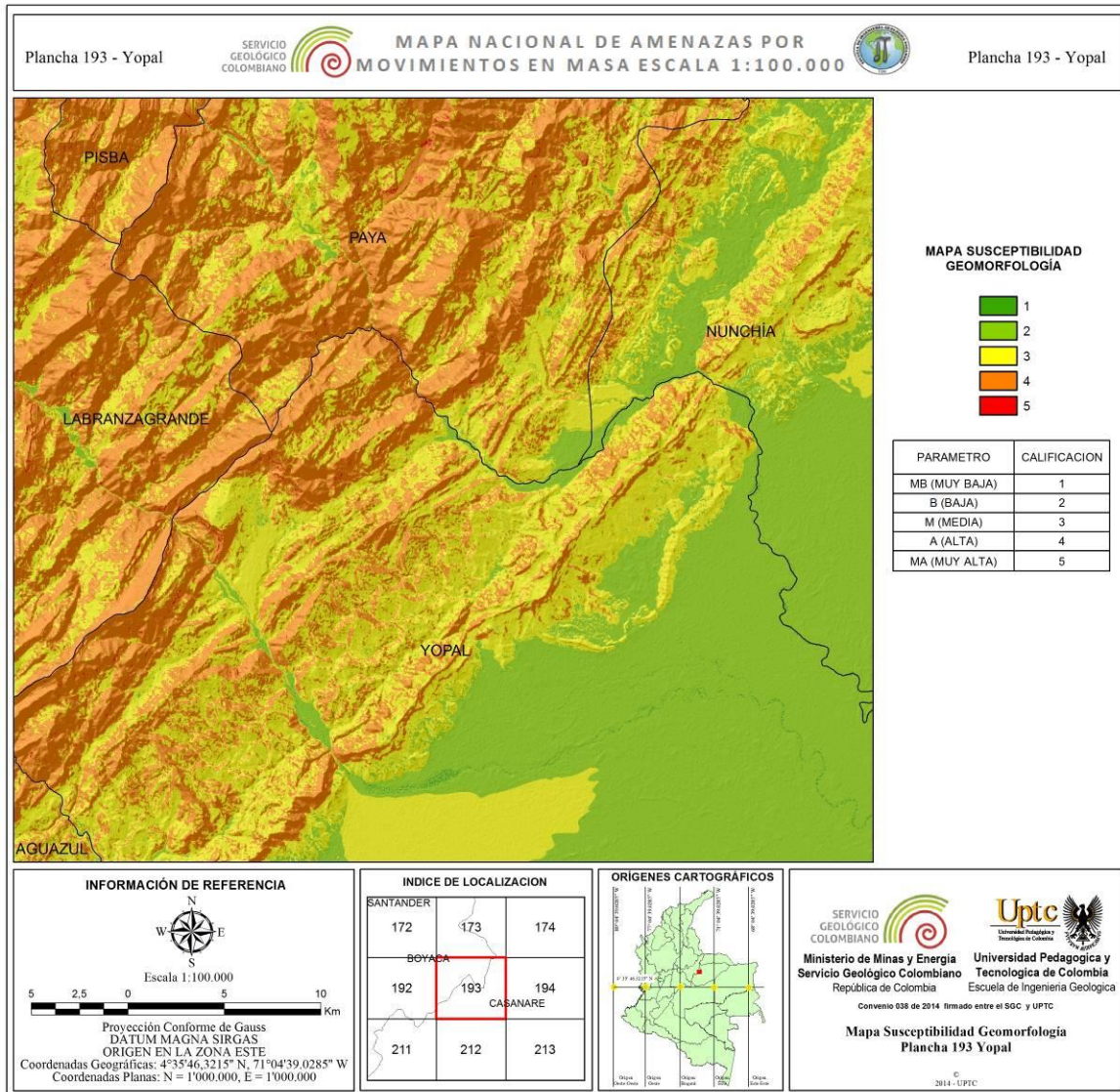


Figura 4. Mapa de susceptibilidad por geomorfología.

A continuación se hace una descripción de las susceptibilidades por geomorfología presentes en la Plancha 193 – Yopal.

Susceptibilidad Muy Baja

Categoría evidenciada principalmente sobre geformas de ambiente fluvial, localizándose en los principales ríos (Cravo Sur, Tocarí, Nunchía, Payero) y la Quebrada Barreña y los principales caños de la Plancha 193 - Yopal. La susceptibilidad muy baja abarca un porcentaje del 0,2 % del área total y un área e 3,74 Km²

Memoria explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal.

Susceptibilidad Baja

Categoría de susceptibilidad ubicada al Sur oriente del área de trabajo en los municipios de Yopal y Nunchia principalmente.

Esta susceptibilidad se desarrolla sobre geoformas de ambiente fluvial, con relieve relativo bajo a muy bajo y con pendientes planas a levemente inclinadas, tipo planos o llanuras de inundación, terraza de acumulación antigua, terraza de acumulación subreciente; en esta categoría inventario un movimiento en masa el cual fue clasificado como caída de detritos desarrollado en el escarpe de terraza de acumulación, además puede ser posible que se presente alta susceptibilidad a otros procesos, como la avulsión de flujos torrenciales e inundaciones

En el mapa la susceptibilidad baja abarca un área 450,02 Km² que corresponde al 25 % del área total.

Susceptibilidad Media

La susceptibilidad media corresponde a la segunda área de mayor extensión abarcando un área de 694.97 km² y un 36.4 %, dentro de la Plancha 193 – Yopal. Se presenta donde priman los ambientes estructural y denudacional, en pendientes que van desde bajas a moderadas, algunas geoformas representativas a estas zonas son las sierras sinclinal, ladera de contrapendiente de sierra homoclinal y ladera estructural de sierra sinclinal. Ladera erosiva y el abanico fluvial entre otras.

Geográficamente se presenta en amplios sectores de los Municipios de Paya, Pisba, Labranzagrande, departamento de Boyacá. También en los municipios de Aguazul, Nunchia y sobre el casco urbano del municipio de Yopal. Departamento de Casanare. Sobre las áreas catalogadas con susceptibilidad media al desarrollo de movimientos en masa se han identificado pocos procesos morfodinámicos, dentro de estos tenemos caída de roca, de detritos y deslizamiento traslacional.

Susceptibilidad Alta

Categoría de mayor predominancia en la zona de estudio, abarcando un área de 687,93 Km² que corresponde al 38.21% del área total. Categoría evidenciada principalmente sobre geoformas ligadas a la susceptibilidad alta a media por morfometría, donde el rango de pendientes se encuentran entre muy inclinadas a abruptas, se desarrolla en los ambientes estructural y denudacional, además de estar relacionada con las características genéticas de la roca. Esta susceptibilidad es ubicada geográficamente en los Municipios de Paya, Pisba y Labranzagrande, departamento de Boyacá. También en

los municipios de Aguazul, Nunchia y sobre el casco urbano del municipio de Yopal, Departamento de Casanare.

Geomorfológicamente se presenta en unidades de ambiente estructural, debido principalmente a la disposición estructural de la roca, ya que se desarrollan sobre rocas sedimentarias estratificadas, rocas afectadas por la falla de Guaicáramo, los Yopos y Falla de Yopal. Puede corresponder a zonas de debilidad favorables al desarrollo de movimientos en masa. En el caso del Ambiente denudacional, el grado de susceptibilidad está relacionado con las características de la roca. Este se desarrolla sobre rocas sedimentarias de la Formación San Fernando (Psf) y la Formación Caja (PNC).

Por medio del levantamiento en campo se reconocieron en esta categoría algunos movimientos entre los cuales se encuentran deslizamiento traslacional, caídas de detritos y roca por ultimo flujos de detritos, estos afectan infraestructura vial y asentamientos humanos principalmente.

1.3 SUELOS EDÁFICOS

El suelo visto como la parte superficial de la superficie terrestre que soporta vida, cobra gran importancia en los parámetros a evaluar en la susceptibilidad a los movimientos en masa, debido a que constituye el amarre o estabilizador de la superficie de la tierra, a la vez que constituye la mayor parte del material que se desplaza en movimientos en masa.

Una vez el suelo se descubre cortando la vegetación, cuyas raíces forman una red dentro del suelo que lo protegen de los desplazamientos, o se somete a la sobreexplotación, queda vulnerable a los eventos atmosféricos y gravitacionales para ser desplazado en favor de la pendiente. La evaluación de las características de los suelos dan lugar al mapa de susceptibilidad para esta variable ⁽⁵⁾ (Figura 5), el cual se obtuvo a partir del proceso que se presenta en el Anexo C, Suelos Edáficos.

Los suelos con susceptibilidad media son los predominantes para la zona de estudio ubicándose en la parte Centroccidental, y se refiere a tipo de suelos de paisajes de lomerío y de la montaña, son suelos Inceptisoles, Entisoles, afloramientos rocosos y Andisoles; respecto a la susceptibilidad alta la cual está localizada al Suroriente de la Plancha 193 – Yopal esta se relaciona con paisajes tipo montaña, lomerío, piedemonte, valle y planicie y tipos d suelos Inceptisoles, Entisoles, Oxisoles y Andisoles.

⁵ UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo C Suelos Edáficos, 2014.

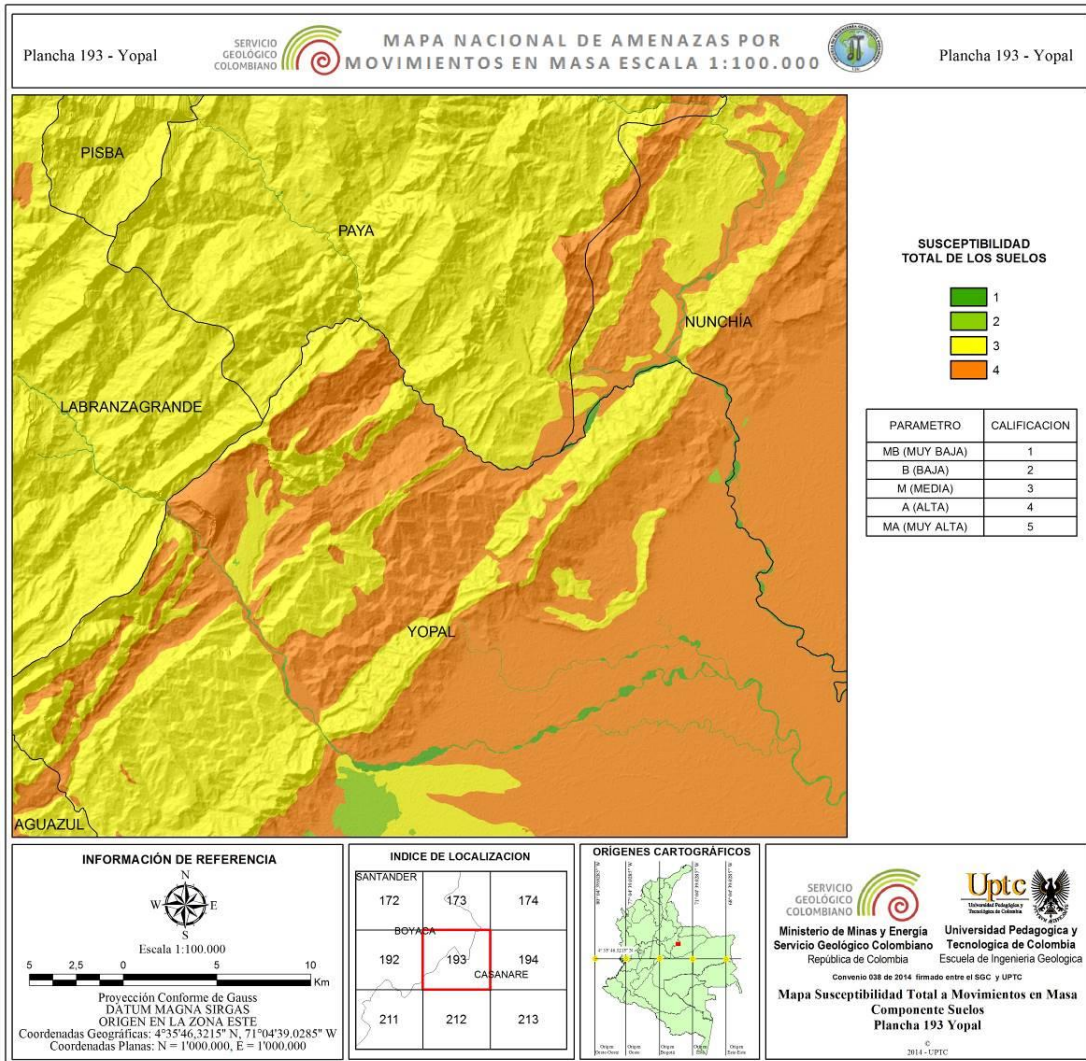


Figura 5. Mapa de susceptibilidad por suelos edáficos.

Susceptibilidad Muy Baja

La susceptibilidad muy baja está asociada a cuerpos de agua, ocupa el 1,08% dentro de la zona de estudio y se refiere a los cuerpos de agua (ríos amplios, ciénagas, lagunas) y bancos de arena asociados al Río Payero, Cravo Sur, Tocaría y Nunchía.

Luego de realizado el trabajo de campo respecto a los Movimientos en Masa de la Plancha 193 – Yopal, en esta categoría de susceptibilidad se pudieron evidenciar dos movimientos de tipo Caída, subtipo Caída de Rocas.

Susceptibilidad Baja

La susceptibilidad baja está asociada a los centros urbanos los cuales presentan suelos superficiales y con drenaje natural bueno. Esta susceptibilidad representa el 0,60% de la plancha siendo esta la categoría con menos predominancia en la zona de estudio. Geográficamente corresponde a la parte Sur Oriental de la Plancha 193 – Yopal específicamente está representada en el casco urbano del Municipio Yopal.

Susceptibilidad Media

Corresponde a la susceptibilidad con aportes coluviales o de ladera y suelos moderadamente profundos y de poco desarrollo. Se encuentran suelos Inceptisoles, Entisoles, afloramientos rocosos y Andisoles, los cuales son superficiales a profundos, con drenaje moderadamente excesivo a bueno, textura arcillosa gravilosa, franca gravilosa, franca, arcillo limosa gravilosa, franco arcillosa, en climas cálido húmedo, medio húmedo, medio pluvial, muy frío y frío húmedo, en los paisaje de montaña, lomerío, piedemonte y valle.

Se observa geográficamente en la mayor parte del sector occidental de la plancha, cubriendo crestas y crestones homoclinales, algunas lomas escarpadas y depósitos arenosos de terrazas, en los municipios de Pisba, Paya, Labranzagrande, Aguazul Yopal y Nunchía. Representa el 55,91% de la plancha.

En esta categoría de susceptibilidad y luego de realizado el trabajo de campo respecto a los movimientos en masa de la Plancha 193 – Yopal, se manifestaron dieciocho movimientos, dentro de los cuales se encuentran trece de tipo Caída, cuyos subtipos son diez Caídas de Detritos, dos Caídas de Tierras y una Caída de Rocas; tres movimientos tipo Deslizamiento, compuesto por dos Deslizamientos Traslacionales y un Deslizamiento Rotacional, y finalmente dos movimientos tipo Flujo, subtipo Flujo de Detritos.

Susceptibilidad Alta

Corresponde a tipo de suelos profundos de los paisajes de montaña, lomerío, piedemonte, valle y planicie que tienen algunas cantidades de cenizas volcánicas y arcillas de relación 2:1. Se encuentran suelos Inceptisoles, Entisoles, Oxisoles y Andisoles, los cuales son profundos a muy profundos, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura arcillosa con gravas, franco arcillosa, arcillosa; en climas cálido húmedo y medio húmedo, en los paisajes de montaña, lomerío, piedemonte, planicie y valle.

Se observa en los planos de inundación de los principales ríos, en los abanicos de piedemonte y en las lomas bajas contiguas al piedemonte, en los municipios de Yopal y Nunchía; en las lomas escarpadas de la montaña estructural en los municipios de Aguazul, Yopal y Nunchía; en un pequeño sector de lomas, coluvios y glaciares del municipio de Labranzagrande. Representa el 42,41% de la plancha.

Luego de realizado el trabajo de campo respecto a los movimientos en masa de la Plancha 193 – Yopal, se evidenciaron diez movimientos, dentro de los cuales se encuentran cinco de tipo Caída, dividido en tres Caídas de Detritos y dos Caídas de Rocas; tres movimientos de tipo Deslizamiento, subtipo Deslizamiento Traslacional; un movimiento tipo Reptación, subtipo Reptación de Suelos, y finalmente un movimiento tipo Flujo, subtipo Flujo de Tierras.

1.4 COBERTURA DE LA TIERRA

Las coberturas vegetales muestran directamente el cambio de la dinámica natural de la superficie terrestre, ejercen un papel importante en la regulación de procesos erosivos, generan un equilibrio de la humedad del suelo y del ambiente, disminuyen el movimiento del agua por procesos de escorrentía superficial facilitando el drenaje subterráneo; sus sistemas radiculares forman un entretejido amarrando los horizontes superficiales del suelo y reduciendo así la probabilidad de deslizamientos poco profundos.

Para la evaluación del componente cobertura vegetal se tienen en cuenta aspectos que interactúan con el suelo y están en función de la susceptibilidad a movimientos en masa (Ver Anexo D, Cobertura Vegetal).⁽⁶⁾

⁶ UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo D, Cobertura Vegetal, 2014.

Una vez evaluados los atributos del componente de Cobertura Vegetal, se generó el mapa de susceptibilidad (Figura 6) a partir de un proceso de superposición temática, obteniéndose las diferentes categorías descritas a continuación:

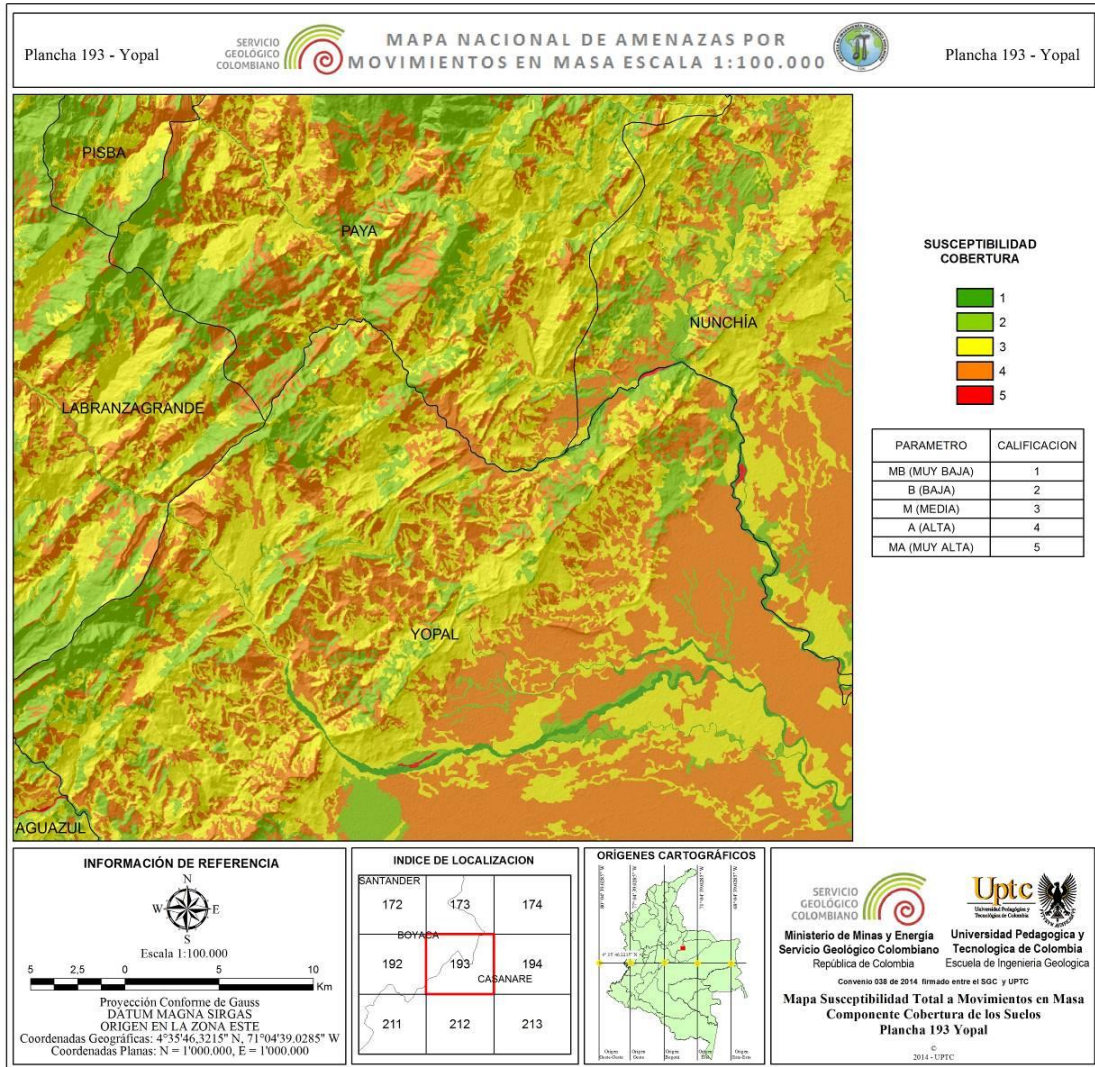


Figura 6. Mapa de susceptibilidad por cobertura.

Susceptibilidad Muy Baja

Ocupa el 1.35% y un área de 2423.15 has, se presenta ríos importantes como Río Cravo sur y Quebrada la Niata en el municipio de Yopal; entre Nunchía y Yopal el Río Tocaría y Payero. En Labranza grande el Río Cravo sur.

En esta categoría de susceptibilidad y luego de realizado el trabajo de campo respecto a los Movimientos en Masa de la Plancha 193 – Yopal, se manifestaron tres movimientos, dentro de los cuales se encuentran tres de tipo Caída, cuyos subtipos son dos Caídas de Rocas y una Caída de Detritos.

Susceptibilidad Baja

Ocupa el 36.25% del área total y un área de 65.252,83 has, siendo así la predominante para la zona de estudio las coberturas más representativas son bosque denso alto de tierra firme, mosaico de pastos con espacios naturales y vegetación secundaria o en transición, factores como zonas de alta pendiente, presencia de árboles, cuyas raíces tienen la función de retener y amarrar los suelos, estarían generando mayor estabilidad. Se localiza en el municipio de Yopal, Nunchía, Labranzagrande y Paya principalmente.

En la categoría de susceptibilidad baja se encontraron los siguientes movimientos, luego de realizar el trabajo de campo respecto a los Movimientos en Masa de la Plancha 193 – Yopal, siete movimientos, dentro de los cuales se encuentran cinco tipo Caída, cuyos subtipos son cuatro Caídas de Detritos y una Caída de Rocas; un movimiento tipo Deslizamiento, subtipo Deslizamiento Rotacional, y finalmente una Reptación de Suelos.

Susceptibilidad Media

La susceptibilidad media ocupa el 27.22 % del área total, y un área de 48997.51 has, corresponde a una vegetación de tipo mosaico de pastos con espacios naturales y vegetación secundaria o en transición. Superficies montañosas donde se ha ido desmontando cobertura natural para dar paso a la actividad ganadera, sin embargo se conservan árboles cuyo sistema de raíces ayudan a retener y amarrar los suelos.

Se localiza en los municipios de Yopal sector los Laures, el triunfo, Tabari, vereda La Manga sector La Palomita, vereda Manantiales sector Las Morticeras, villa Caro, La playa, peña negra, el espejo, el guayabo, planadas, los monos, san Joaquim, vereda Guayaquito sector nueva Zelandia, en el municipio de Labranza grande en Acapulco y villa del Rosario, en el municipio de Paya en Boca de monte, vereda San José en El Porvenir.

En esta categoría de susceptibilidad y luego de realizado el trabajo de campo respecto a los Movimientos en Masa de la Plancha 193 – Yopal, se manifestaron diez movimientos, dentro de los cuales se encuentran cinco de tipo Caída, subtipo Caídas de Detritos; cuatro movimientos tipo Deslizamiento, subtipo Deslizamiento, y finalmente un Flujo de Tierras.

Susceptibilidad Alta

Corresponde a áreas altamente intervenidas, con drenaje de superficial a medio y profundidad superficial. El clima es altamente influyente y corresponde a cálido húmedo. Ocupa el 35.14% y un área de 63.253,7 has, la cobertura que más aporta a esta categoría son los pastos limpios y el cultivo de arroz, que se siembra mediante el método de fangueo, lo cual podría disminuir la porosidad total, acrecentando el detrimento de la estructura del suelo y generando compactación.

Se localiza geográficamente en el municipio de Nunchía, vereda Las Guacharacas, sector El Pretexto, en la vereda Las Cañas, sector Las Cañas. En el municipio de Yopal vereda Patimena, sectores Arizona, Cafuche, en la vereda El Taladro sectores El Palmar, hacia la vereda Tocarimena Alta sector Palma Sola, vereda Manantiales sectores San Jorge, Pénjamo, México, vereda Siribana sector Los Alpes, vereda La chaparrera Cravo alto, sector el Pedregal. Municipio de Paya, vereda San José, vereda Suapaga, sector Tibayaque; en el municipio de Labranza grande, vereda Quebrada Negra sector La Palmira.

Luego de realizado el trabajo de campo respecto a los Movimientos en Masa de la Plancha 193 – Yopal, se evidenciaron Diez movimientos, dentro de los cuales se encuentran siete de tipo Caída, cuyos subtipos son cuatro Caída de Rocas y tres Caídas de Detritos; una avalancha de Rocas; un movimiento tipo Deslizamiento, subtipo Deslizamiento Traslacional y un movimiento de tipo Flujo, subtipo, Flujo de Detritos.

Susceptibilidad Muy Alta

Ocupa el 0.04% y un área de 72.82 has, en superficies ocupadas por zonas arenosas naturales y tierras desnudas y degradadas, se localiza en el municipio de Nunchía entre el sector las Acacias y La Española. En aguazul al borde de la quebrada la Volcanera.

Una vez realizado el trabajo de campo y según lo interpretado para este componente a nivel de susceptibilidad se observó que para la categoría muy alta el inventario de los movimientos en masa fue nulo, lo anterior posiblemente es debido a la escala del presente trabajo ya que no se cumplieron las dimensiones para que los movimientos existentes en la zona de estudio fuesen cartografiados.

1.5 FACTOR DETONANTE LLUVIA

En la Figura 7, se muestra el mapa correspondiente al factor detonante lluvia, que zonifica la distribución de la lluvia máxima diaria presente en la Plancha 193 – Yopal, representada por cinco zonas donde se observan las mayores concentraciones de los factores climatológicos que son obtenidos a partir de la zonificación climática nacional y de las lluvias máximas diarias, acorde con su contribución a los movimientos en masa ⁽⁷⁾.

⁷ UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo E Detonante Lluvia. 2014.

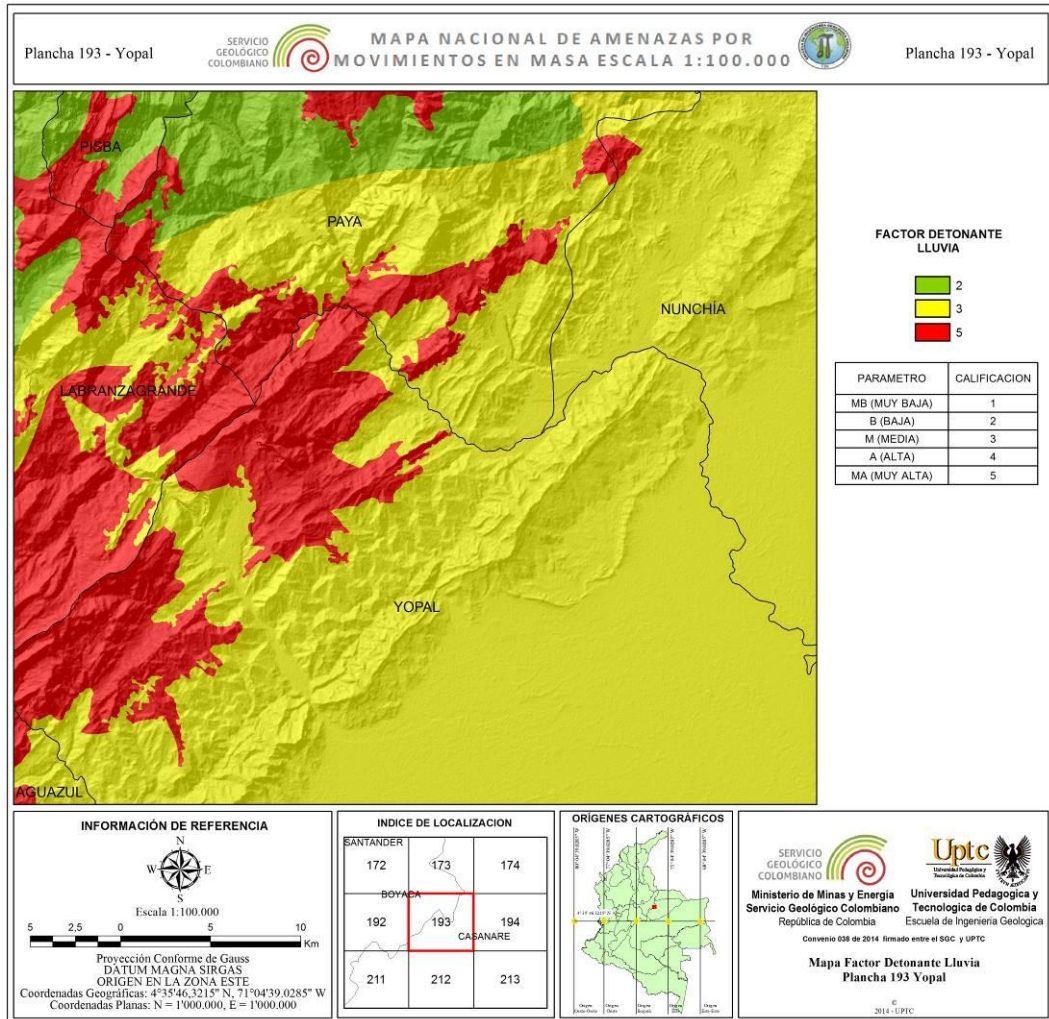


Figura 7. Mapa factor detonante lluvia.

Mediante la evaluación del detonante climático, es posible identificar calificaciones que abarcan parámetros de 2, 3 y 5, los cuales se encuentran sectorizados a lo largo y ancho del área de estudio, con referencia a aquellas zonas, donde se presentan las mayores concentraciones de lluvias diarias.

La calificación 5 del detonante climático, se localiza principalmente en la parte nororiental de la zona de estudio, en los municipios de Pisba (sectores Cuchilla El Caracol y Cuchilla Pelada), Labranzagrande (Vereda Guayabal, sectores Loma El Rincón, Loma La Paja, Cuchilla De Murillo, Cerro La Vieja, Cerro Pan De Azúcar, Alto De La Cruz, Cuchilla Las Barras, Cuchilla De Acobé y al costado de las Quebradas De Los Yopos, De Santos), Yopal (Vereda Sococho y sectores Cuchilla Las Mantas o Perico, Alto Baloncitos, Cuchilla Peña Alta, Loma La Meseta, Marroquín, Filo El Macuco, Filo

Penagos, Cuchilla Naranjito, Alto Cravo, Alto Del Zorro, Filo El Oso, Cuchilla De Sococo), Paya (Veredas Boca Del Monte, Milagros, Guayabal, Maguito y en los sectores Loma El Tigre, Loma El ramal, Loma Del Retiro, Loma Centro De Piedra, Loma San Martín, Alto La Rusia, Centro Monserrate, Cerro Norma), Nunchía (límites con el Municipio Yopal), Aguazul (parte Oriental). En estos sectores, la zonificación climática corresponde, a parámetros de valores de 4 - 5 y, las lluvias máximas diarias, corresponden a un valor de 3 (100–150 mm/día) y 4 (150-220 mm/día). Esta condición representa una alta incidencia respecto a la susceptibilidad del terreno, a la generación de movimientos en masa (Plancha 193–Yopal).

El parámetro de calificación 3, es el más representativo dentro de la zona de estudio, localizándose en gran parte de la zona Oriental y Central en los Municipios de Nunchía, Yopal, Labranzagrande (Cerro La Vieja (Branza), Veredas Quebrada Negra y Chaguaza), Paya (Veredas El Abejón, Suapaga, Llano Miguel, Sabaneta, Centro Morcote, sectores Cuchilla de Tibayoque, Cerro Magalena, Loma El Puerto). La zonificación climática corresponde a un rango de parámetros de 2 y 3, y las lluvias máximas diarias, corresponden a valores de 4 (150-220 mm/día), los cuales; representan una moderada incidencia, de la susceptibilidad del terreno, a generar movimiento en masa (Plancha 193–Yopal).

La categoría correspondiente al parámetro de calificación 2, se localiza hacia la zona Norte, se ubica en los municipios de Labranzagrande (al costado de las Quebradas Burici y Grande), Pisba (sector Alto El Curo, Loma El Alto y al costado de las Quebradas Rubita, Dantalera), Paya (Veredas Guacal, Tutasa, Mombita, Morro, Niscota). En estos sectores, la zonificación climática corresponde a un parámetro de 3 y las lluvias máximas diarias, corresponden a un valor de 3 (100–150 mm/día): Representando una baja incidencia en cuanto a la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa (Plancha 193–Yopal).

1.6 FACTOR DETONANTE SISMO

La figura 8, corresponde al insumo del detonante sismo. Este factor permite observar, que en toda el área que comprende la Plancha 193 – Yopal, se encuentra una condición de sismicidad que oscila de media a muy alta relacionada con los aspectos tectónicos y estructurales activos respecto a la generación de movimientos en masa.

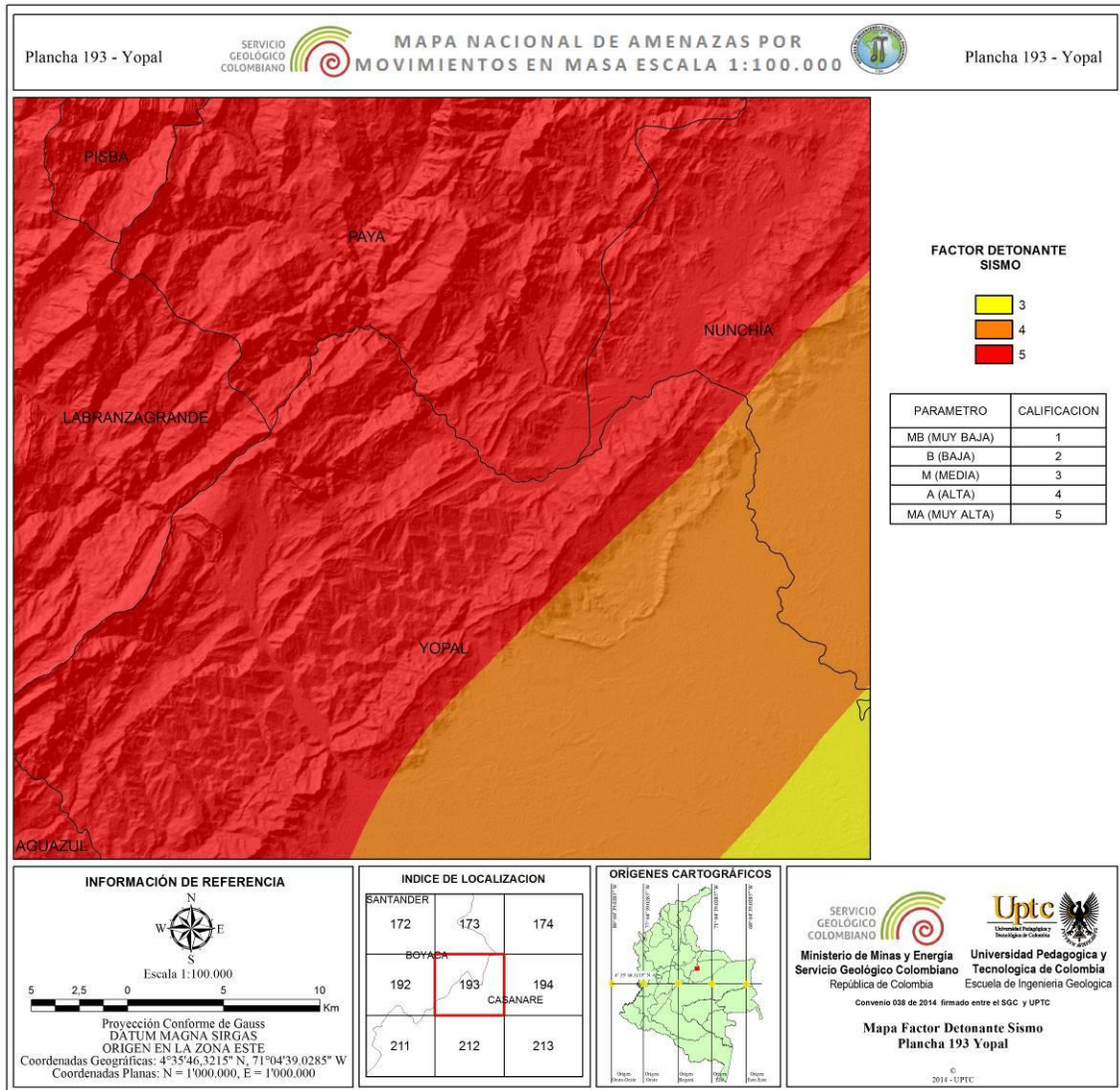


Figura 8. Mapa factor detonante sismicidad.

La condición de sismicidad relacionada dentro del área de estudio indica categorías que oscilan entre media, alta y una gran representación de la categoría muy alta.

La condición de influencia media por el detonante sismo la cual corresponde a valores de aceleración 150 – 200 cm/seg², se localiza al Suroriente de la plancha, se localiza al costado Oriental del Municipio Yopal, en base a la aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme, esta categoría representa una incidencia media en cuanto a susceptibilidad del terreno por movimientos en masa.

La categoría alta por detonante sismo corresponde a valores de aceleración 200 – 300 cm/seg², se ubica en el sector Oriental de la plancha, en lo que corresponde a la parte sur del Municipio Nunchía, y en la parte Oriental del Municipio Yopal. En base a la aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme, esta categoría representa una incidencia alta en cuanto a susceptibilidad del terreno por movimientos en masa.

La categoría muy alta del detonante sismo corresponde a valores de aceleración > 300 cm/seg², se localiza en la parte Centro occidental de la plancha, abarcando el total del área de los Municipios Pisba, Paya, Aguazul, Labranzagrande, así mismo ocupa la mayor parte de los municipios Nunchía (parte norte) y Yopal (zona centro occidental). En base a la aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme, esta categoría representa una incidencia muy alta en cuanto a susceptibilidad del terreno por movimientos en masa.

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

A continuación se describen los aspectos representativos que influyen a nivel de la susceptibilidad y amenazas por movimientos en masa para la Plancha 193 – Yopal haciendo relación a la interacción entre los diferentes componentes físicos y los diversos tipos de movimientos en masa que se presentan para esta zona.

2.1 SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

En la figura 9, se observa el mapa final de susceptibilidad por movimientos en masa, resultado de la suma de las variables (geología, geomorfología, suelos edáficos y cobertura vegetal). De acuerdo con el mapa, la Figura 10 y la Tabla 2, se concluye que, la categoría de susceptibilidad con mayor distribución en área es la susceptibilidad media seguida por la susceptibilidad alta; mientras que las susceptibilidades, muy baja y muy alta, no representan en conjunto el 1%.

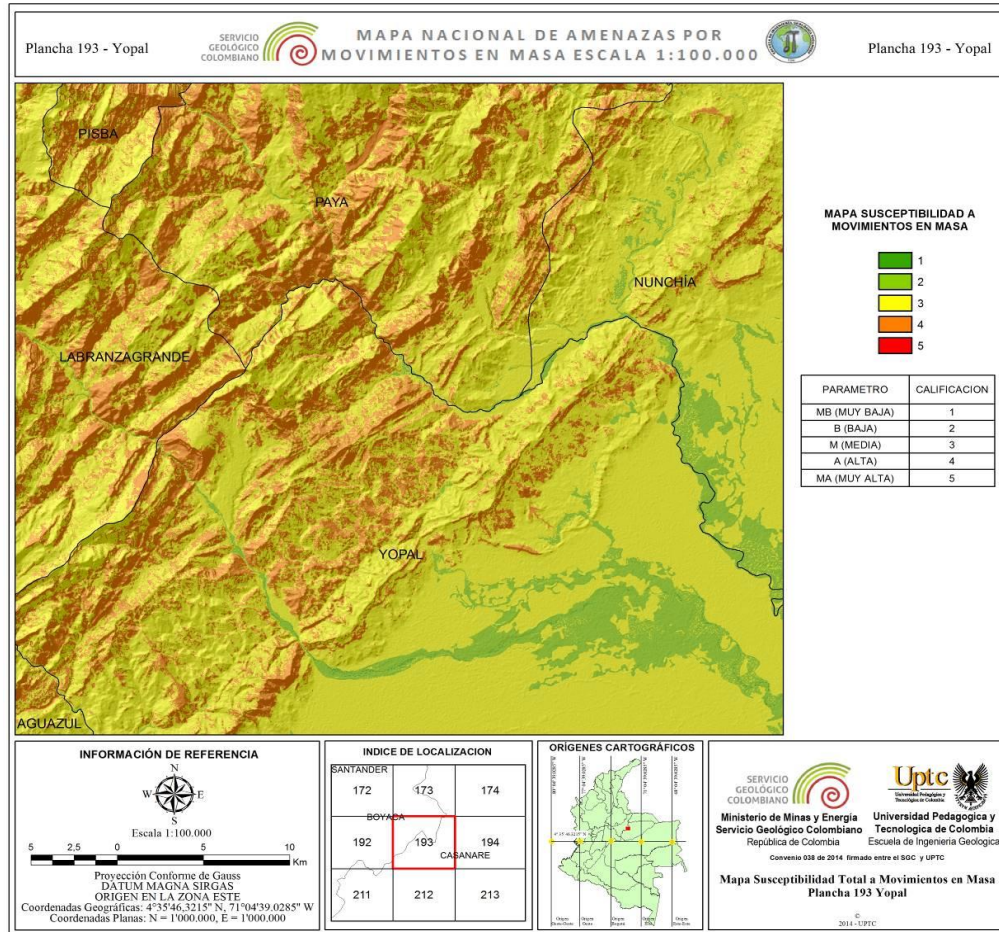


Figura 9. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa Plancha 193- Yopal.

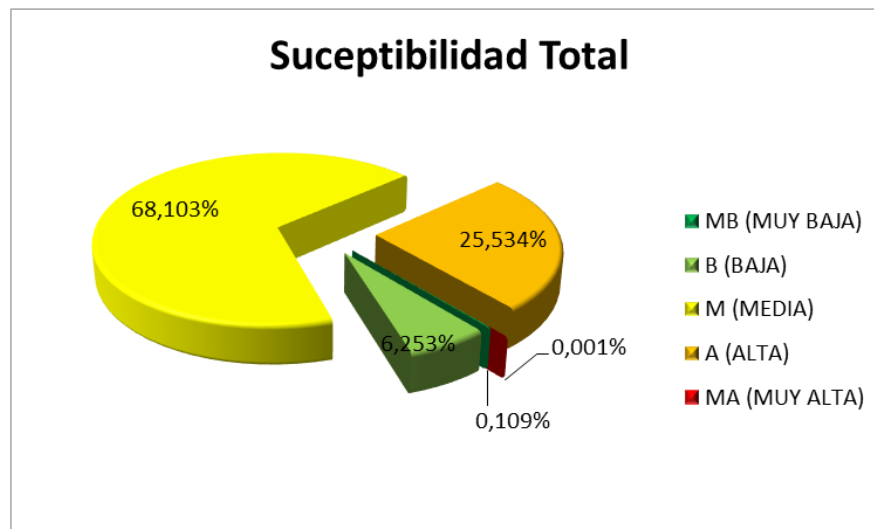


Figura 10. Distribución en porcentajes de la susceptibilidad total.

Tabla 2. Parámetro de calificación de susceptibilidad por movimientos en masa.

CALIFICACION	AREA Km ²	PARAMETRO
1	1,966488	MB (MUY BAJA)
2	112,551285	B (BAJA)
3	1225,889952	M (MEDIA)
4	459,616103	A (ALTA)
5	0,021525	MA (MUY ALTA)

Fuente. Autores.

Susceptibilidad Baja

Se encuentra localizada principalmente en la parte Suroriental en jurisdicción de los municipios de Yopal y Nunchía siendo así esta susceptibilidad está asociada al cauce de los ríos Cravo Sur, Nunchía, Payero y Tocaría, en menor proporción se encuentra en los Municipios de Labranzagrande y Paya. Esta categoría de susceptibilidad, se desarrolla sobre geofomas con relieve relativamente bajo a muy bajo, estas geofomas son tipo planos o llanuras de inundación, barras longitudinales y cauce aluviales las cuales representan poca o nula susceptibilidad al desarrollo de movimientos en masa, aunque si pueden presentar alta susceptibilidad a otros procesos como inundaciones y avulsión de flujos torrenciales. Litológicamente esta categoría de susceptibilidad se presenta en Depósitos Aluviales (Qal) los cuales están compuestos por cantos y gravas de composición arenosa, los cuales están asociados a los ríos Cravo Sur, Nunchía, Payero y Tocaría principalmente.

Este tipo de susceptibilidad se desarrolla en suelos profundos a muy profundos, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura arcillosa con gravas, franco arcillosa, arcillosa; en climas cálido húmedo y medio húmedo, en los paisajes de montaña, lomerío, piedemonte, planicie y valle. La cobertura vegetal corresponde a mosaico de pastos con espacios naturales y vegetación secundaria o en transición. Superficies montañosas donde se ha ido desmontando cobertura natural para dar paso a la actividad ganadera, sin embargo se conservan árboles cuyo sistema de raíces ayudan a retener y amarrar los suelos. Respecto al inventario de movimientos en masa, para esta categoría de susceptibilidad se encontraron dos movimientos en masa los cuales fueron clasificados como Caída de roca, uno de ellos presenta un subtipo de movimiento Flujo de Detritos. Esta categoría abarca un área de 112,551285 Km² y correspondiente al 6,253 % del total del área de la Plancha 193 – Yopal.

Susceptibilidad Media

Esta condición de susceptibilidad corresponde a la de mayor área en la zona de estudio se evidencia en zonas de ambiente estructural (Ladera Estructural de Sierra Sinclinal, Ladera de Contrapendiente de Sierra Homoclinal), ambiente denudacional (Ladera erosiva, lomeríos poco disectados), ambiente fluvial (Terraza de acumulación antigua, Abanico Aluvial, Terraza de acumulación sub reciente)

Esta categoría de susceptibilidad se desarrolla principalmente sobre unidades litoestratigráficas de la Formación Arenisca de las Juntas (Kialj) la cual está constituida por areniscas cuarzosas de color gris amarillenta de grano fino con interestratificaciones de lodolitas negras, estas rocas presentan textura clástica cementada y resistencia dura, estas rocas se encuentran fracturadas por la presencia de la Falla de Los Yopos la cual ha incrementado la posibilidad de presentar movimientos en masa, lo cual fue corroborado en el trabajo de capo identificando movimientos tipo principalmente caída de detritos y caída de roca. También es posible evidenciar esta susceptibilidad sobre depósitos de Terrazas Bajas del Llano y el Abanico Coluvio Aluvial.

Asociada a esta clase de susceptibilidad se encuentran paisajes tipo montaña, lomerío, piedemonte y valle. se encuentran suelos Inceptisoles, Entisoles, afloramientos rocosos y Andisoles; los cuales son superficiales a profundos, con drenaje moderadamente excesivo a bueno, textura arcillosa gravilosa, franca gravilosa, franca, arcillo limosa gravilosa, franco arcillosa, en climas cálido húmedo, medio húmedo, medio pluvial, muy frío y frío húmedo.

Las coberturas predominantes son bosque denso alto de tierra firme, mosaico de pastos con espacios naturales, vegetación secundaria o en transición y pastos limpios, con alto grado de intervención humana, Este nivel de susceptibilidad ocupa un área de 1225,889952 Km² correspondiendo al 68,103 % del área total de la plancha.

Susceptibilidad Alta

Esta categoría de susceptibilidad se desarrolla sobre unidades de ambiente estructural (Sierra anticlinal, Ladera estructural de sierra homoclinal, Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal, escarpe de línea de falla, Espolón moderado de longitud corta) Denudacional (Cono o lóbulo coluvial y de soliflucción, Terrazas sobre elevadas o colgadas), siendo estas unidades susceptibles a la meteorización debido al grado de consolidación diagenética y a la disposición estructural de la roca; este ambiente se desarrolla sobre unidades litoestratigráficas pertenecientes a la Formación Arcillas del Limbo compuesta por lodolitas y arcillolitas, Lutitas de Macanal (miembro B) la cual

corresponde a lutitas intercaladas por lodolitas negras con nódulos arenosos e intercalaciones de arenitas cuarzosas, además de presentarse sobre depósitos de Conos Aluviales.

Un factor adicional influyente en la susceptibilidad alta, corresponde a la tectónica activa presente en el área de estudio, donde se evidencia un control estructural definido por las fallas de Los Yopos, Yopal, Guaicaramo y los pliegues (Sinclinales del Desespero y Nunchía, Anticlinales de Paya y Monterralo) razón por la cual se presentan la mayor parte de movimientos en masa, evidenciados durante el trabajo de campo, clasificados como caída de detritos, flujos de detritos, caída de rocas y deslizamiento traslacional.

Esta categoría de susceptibilidad se presenta en suelos tipo Inceptisoles, Entisoles, Oxisoles y Andisoles, los cuales son profundos a muy profundos, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura arcillosa con gravas, franco arcillosa, arcillosa; en climas cálido húmedo y medio húmedo, en los paisajes de montaña, lomerío, piedemonte, planicie y valle. Por otro lado las coberturas predominantes para esta categoría de susceptibilidad corresponde a pastos limpios y el cultivo de arroz, que se siembra mediante el método de fanguero, lo cual podría disminuir la porosidad total, acrecentando el detrimento de la estructura del suelo y generando compactación. Esta categoría de susceptibilidad abarca un área de 459,616103 Km², que corresponde a 25,53 % del área total de la plancha.

2.2 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Una vez obtenida la susceptibilidad por movimientos en masa, se establecieron los escenarios de amenaza relativa por movimientos en masa ⁽⁸⁾, teniendo en cuenta los factores detonantes sismo y lluvia, ocurridos históricamente en la región.

En la Figura 11 se identifica las diferentes condiciones de amenaza respecto al desarrollo de movimientos en masa, a partir de la cual se determina la distribución porcentual (Figura 12 y Tabla 3) de cada una de las categorías de amenaza presentes dentro de la Plancha 193 – Yopal.

⁸ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2012, 131 p.

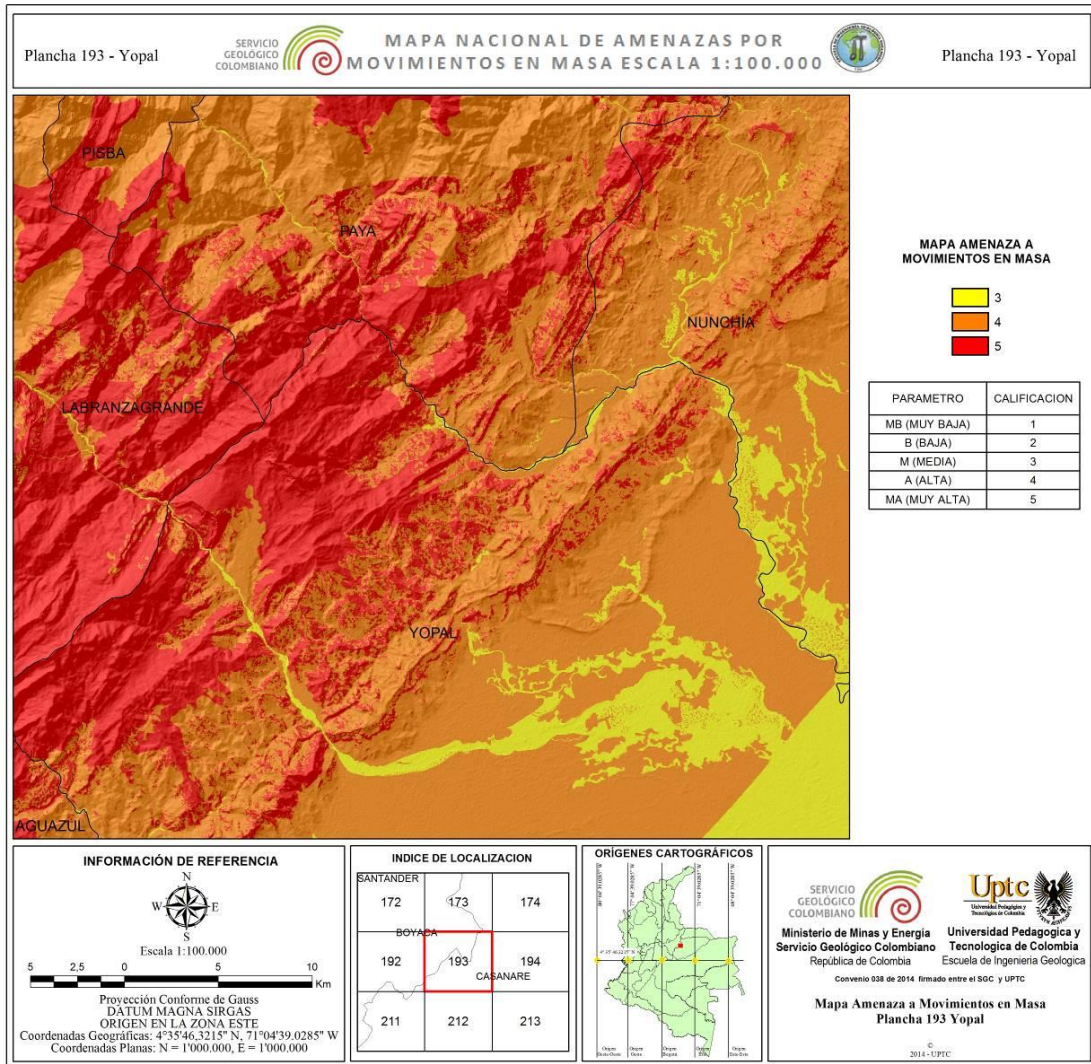


Figura 11. Mapa de amenaza por movimientos en masa.

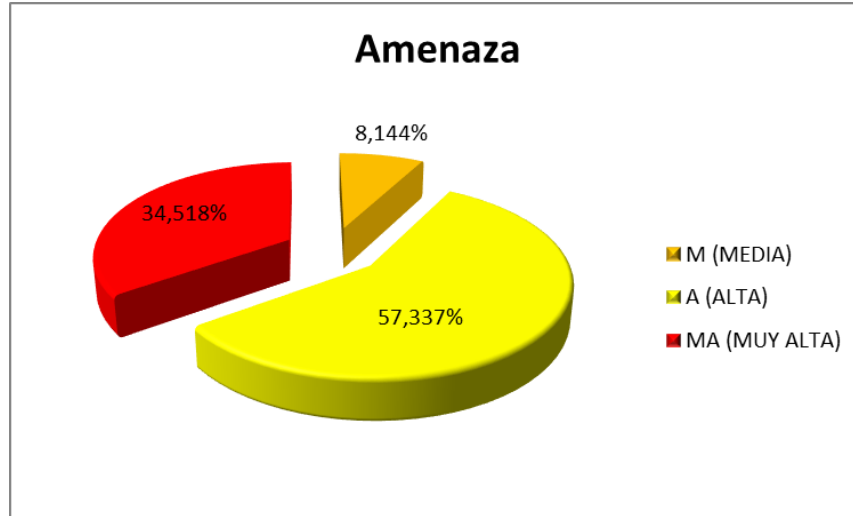


Figura 12. Distribución en porcentajes de amenaza total.

Tabla 3. Parámetro de calificación de amenaza por movimientos en masa.

CALIFICACIÓN	ÁREA Km ²	PARÁMETRO
1	146,599836	M (MEDIA)
2	1032,097273	A (ALTA)
3	621,348244	MA (MUY ALTA)

Fuente. Autores.

Una vez desarrollada la zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa para la Plancha 193 – Yopal, se identificó la predominancia dentro de la categoría alta, lo cual indica la interacción entre las condiciones físicas inherentes del terreno y los factores a nivel exógeno y endógeno que establecen un escenario propicio para el desarrollo de movimientos en masa, las categorías presentes dentro de la zonificación de amenazas se describen a continuación:

Amenaza Media

Categoría de amenaza localizada en la parte Sur oriental de la zona de estudio, correspondiendo así a los municipios de Yopal y Nunchía (Ríos Cravo Sur, Tocaría y Nunchía). Se localiza principalmente en el ambiente geomorfológico de tipo fluvial en unidades como: Plano o llanura de inundación, Terraza de acumulación subreciente, Terraza de acumulación antigua y Cauce aluvial.

Los factores correspondientes a suelos y cobertura vegetal determinan que esta susceptibilidad se desarrolla en suelos de tipo Inceptisoles, Entisoles, Oxisoles y Andisoles, los cuales son profundos a muy profundos, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura arcillosa con gravas, franco arcillosa, arcillosa; en climas cálido húmedo y medio húmedo, en los paisajes de montaña, lomerío, piedemonte, planicie y valle; adicional a estos está asociada a cuerpos de agua. La cobertura en la cual se evidencia esta categoría de susceptibilidad es de vegetación de tipo mosaico de pastos con espacios naturales y vegetación secundaria o en transición, y cuerpos de agua presentes en la zona de estudio.

Adicionalmente dentro de los factores detonantes las lluvias máximas diarias oscilan entre los 150-220 mm/día para un periodo de retorno de 25 años, mientras que los sismos en estas áreas pueden llegar a alcanzar una aceleración pico del suelo hasta de 150-300 cm/seg². Esta categoría ocupa un porcentaje de 8,144 % del área total de la Plancha 193 – Yopal. En esta categoría de amenaza, se evidencio un movimiento en masa el cual fue clasificado como Caída de roca.

Amenaza Alta

Se presenta donde la interacción de los componentes geomorfológicos, las características de los suelos y los tipos de cobertura vegetal condicionan un escenario propicio al desarrollo de movimientos en masa, así como la interacción de las características climatológicas que favorecen la ocurrencia de los mismos. Esta categoría es la predominante para la zona de estudio, corresponde al 57,33 % y es ubicada geográficamente en cada uno de los municipios que compone la Plancha 193 Yopal.

Esta condición de amenaza se desarrolla sobre unidades geomorfológicas de ambiente Estructural (Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal, Ladera estructural de sierra sinclinal, Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal) así como también de unidades de ambiente denudacional (Ladera Erosiva, montículo y ondulaciones denudacionales, Lomeríos disectados) y finalmente en unidades de ambiente fluvial (Abanico aluvial, Terraza de acumulación subreciente, Terraza de acumulación antigua, Plano o Llanura de inundación). Litológicamente se relaciona con rocas de la Formación Diablo (Pd), Caja (PNc) y San Fernando (Psf), así como también por depósitos de Abanico Coluvio aluvial (Qac), Terrazas Bajas del Llano (Q2T2) y Terrazas Altas del Llano (Qt2).

En esta categoría hay presencia de suelos de tipo Inceptisoles, Entisoles, Oxisoles y Andisoles, los cuales son profundos a muy profundos, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura arcillosa con gravas, franco arcillosa, arcillosa; en climas cálido húmedo y medio húmedo, en los paisajes de montaña, lomerío, piedemonte, planicie y valle. Las coberturas en las que se evidencia corresponden a mosaico de pastos con espacios naturales y vegetación secundaria o en transición. Superficies montañosas donde se ha ido desmontando cobertura natural para dar paso a la actividad ganadera, sin embargo se conservan árboles cuyo sistema de raíces ayudan a retener y amarrar los suelos; las anteriores son coberturas se relacionan con el paisaje montañoso, pero en la parte Suroriental de la zona de estudio donde el relieve es plano, se relaciona con coberturas de pastos limpios y el cultivo de arroz, que se siembra mediante el método de fanguero, lo cual podría disminuir la porosidad total, acrecentando el detrimento de la estructura del suelo y generando compactación.

En general en esta zona de amenaza, las lluvias diarias máximas pueden estar del orden de 100 - 220 mm/día para un periodo de retorno de 25 años con regímenes de alta humedad en la mayor parte de la plancha. Los sismos en el área pueden alcanzar una aceleración pico del suelo entre $200 > 300 \text{ cm/seg}^2$. En esta categoría de amenaza, están las áreas con mayores ocurrencias de movimientos en masa, tales como: caída de detritos, caída de rocas, flujos de detritos, deslizamiento traslacional y reptación de suelos, la ocurrencia de estos es favorable debido a la intervención antrópica desarrollada por los cambios de cobertura vegetal, mal manejo de las actividades agrícolas y ganaderas y el desarrollo vial sin las respectivas técnicas de manejo que permitan favorecer la estabilidad del terreno. Las afectaciones relacionadas a movimientos en masa en esta categoría de amenaza dentro la zona de estudio, están ligadas principalmente a obstrucciones viales, daños en viviendas, infraestructura y sistemas productivos agropecuarios, localizados en laderas.

Amenaza Muy Alta

Geográficamente se desarrolla en la zona Centro occidental correspondiendo a los Municipios Labranzagrande, Pisba y Paya (parte sur), Yopal (parte oriental), abarcando el 34.51% del área total.

Corresponde a zonas de laderas que presentan pendientes muy inclinadas a escarpadas, unidades geomorfológicas de origen estructural (Sierra Sinclinal, Ladera Estructural de cuesta, Sierra y lomos de presión, Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal, Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal), esta categoría de

susceptibilidad se presenta en suelos Inceptisoles, Entisoles, afloramientos rocosos y Andisoles, los cuales son superficiales a profundos, con drenaje moderadamente excesivo a bueno, textura arcillosa gravilosa, franca gravilosa, franca, arcillo limosa gravilosa, franco arcillosa, en climas cálido húmedo, medio húmedo, medio pluvial, muy frío y frío húmedo, en los paisaje de montaña, lomerío, piedemonte y valle. Respecto al atributo cobertura esta categoría de amenaza se encuentra en coberturas tipo bosque denso alto de tierra firme, mosaico de pastos con espacios naturales, vegetación secundaria o en transición, pastos limpios y el cultivo de arroz. Luego de realizarse el trabajo de campo respecto al inventario de movimientos en masa, para esta categoría de susceptibilidad se encontraron movimientos en masa en orden de predominancia de tipo Caída de detritos, Deslizamiento Traslacional, Caída de roca y Flujo con avalancha de rocas.

En general en esta área, las lluvias diarias máximas pueden llegar a ser de $100 > 220$ mm para un periodo de retorno de 25 años. Los sismos en el área pueden alcanzar una aceleración pico del suelo > 300 cm/seg².

CONCLUSIONES

La evaluación de la susceptibilidad y amenaza de la Plancha 193 – Yopal, permitió identificar que las zonas más propensas a presentar movimientos en masa, están condicionadas a desarrollarse sobre unidades geomorfológicas de ambiente estructural, denudacional y fluvial.

Las coberturas en las que se evidencia corresponden a pastos limpios y el cultivo de arroz, que se siembra mediante el método de fanguero, lo cual podría disminuir la porosidad total, acrecentando el detrimento de la estructura del suelo y generando compactación.

Dentro del componente geológico se identifica que las categorías de mayor susceptibilidad se presentan sobre rocas de edad Cretácea correspondientes a Lutitas de Macanal (miembro B) las cuales se constituyen por lutitas intercaladas por lodolitas negras con nódulos arenosos e intercalaciones de arenitas cuarzosas, rocas de edad Terciaria Formación Arcillas del Limbo compuesta por lodolitas y arcillolitas, finalmente se presentan sobre depósitos de edad Cuaternaria como Conos Aluviales.

Dentro de la Plancha 193 – Yopal se evidencia que las unidades geomorfológicas sobre las cuales se desarrolla una susceptibilidad alta a generar movimientos en masa, corresponden principalmente a los ambientes denudacional y estructural, esto en conjunto con factores como la pendiente, procesos de deforestación y establecimiento de pastizales favorecen el desarrollo de movimientos en masa.

Los suelos más favorables para el desarrollo de movimientos en masa dentro del área de estudio son suelos profundos a muy profundos, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura arcillosa con gravas, franco arcillosa, arcillosa, se refiere a suelos de tipo Inceptisoles, Entisoles, Oxisoles y Andisoles; en climas cálido húmedo y medio húmedo, en los paisajes de montaña, lomerío, piedemonte, planicie y valle, estos favorecen el desarrollo de procesos erosivos tempranos, erosión agravada y en la mayor parte de los casos movimientos en masa.

Uno de los mayores factores condicionantes dentro de las características de susceptibilidad total por movimientos en masa para la Plancha 193 - Yopal, corresponde al componente de geomorfología, donde las unidades de mayor incidencia

a nivel de susceptibilidad se presentan en las zonas de alta pendiente (abrupta a escarpada) donde se localizan los geoformas de origen estructural, y los depósitos de ladera, mientras que las zonas correspondientes al ambiente fluvial corresponde a zonas planas y semiplanas, que hacen parte de las zonas menos propensas a desarrollar movimientos en masa.

Una vez elaborada la zonificación de amenazas relativa por movimientos en masa, en la Plancha 193 – Yopal, se determina que las condiciones propias del terreno, establecen una condición de amenaza media y muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa, mientras que el rango de zonificación de amenaza alta ocupa un menor porcentaje dentro de la zona de estudio, lo cual indica una estrecha interacción entre los procesos endógenos y exógenos que se encargan de modelar el terreno.

En el escenario de amenaza relativa a movimientos en masa por el detonante lluvia, se observa que en las zonas donde se presentan precipitaciones con valores entre 150 y 2000 mm, la tendencia a desarrollarse movimientos en masa aumenta, lo contrario sucede en zonas donde el valor de lluvia máxima diaria es menor a 100 - 150 mm, la tendencia de susceptibilidad disminuye al desarrollo de estos.

La susceptibilidad a movimientos en masa para los componentes geológicos y geomorfológicos determinan categorías media y alta, los cuales en el terreno se pudieron observar como procesos de desestabilización de laderas, que pueden asociarse al grado de meteorización y alteración de las rocas conformando suelos residuales de variado espesor que no son cartografiables a la escala de trabajo establecida para el presente estudio.

Con esta zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa en escala 1:100.000, se tienen elementos para la toma de decisiones en la planificación del territorio y la reducción de desastres a nivel regional; sin embargo, para efectos de planificación del territorio a nivel municipal y para la evaluación de aspectos locales y puntuales, se recomienda, aplicar las escalas de detalle y sus aspectos metodológicos para tal fin.

RECOMENDACIONES

Establecer por parte de las entidades ambientales y municipales una restricción de las actividades que desarrollan mayor degradación de la capa vegetal, como lo es cambios en la cobertura del suelo en zonas de alta pendiente.

Involucrar procesos de morfoconservación en zonas de cultivos, bosques de protección, destinadas a la conservación de la cobertura vegetal que permitan reducir procesos de escorrentía, aumentar la regulación hídrica y reducir la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

Establecer por parte de alcaldía y Corporaciones Autónomas Regionales un mayor control a las restricciones de la ocupación del territorio.

Tener en cuenta los resultados del mapa de amenazas relativas por movimientos en masa para la Plancha 193 - Yopal ya que esta información se tendrá en cuenta como herramienta de consulta base para describir zonas propensas a generar movimientos en masa, para luego desarrollar la planificación, diseño y construcción de obras infraestructura, especialmente terrenos categorizados con amenazas muy altas a movimientos en masa.

Aplicar nuevos modelos donde se integren diferentes variables relacionadas con temáticas como meteorización, erosión y la incidencia antrópica.

Continuar con el proceso de consolidación y seguimiento de movimientos en masa registrados dentro de la plataforma SIMMA con fines de establecer medidas de mitigación tanto estructurales como no estructurales.

Se recomienda aplicar un modelo de evaluación sismogenética relacionado con los eventos desarrollados a nivel departamental, y su periodicidad registrada en evidencias neotectónicas y paleosísmicas, a fin de tener información más precisa respecto a los sistemas estructurales regionales (fuente sismogenética), aplicable a las zonas que permiten la identificación de actividad reciente; de la misma forma se recomienda involucrar dentro del factor detonante lluvia los aspectos relacionados con periodos de retorno a corto (5 años) mediano (10 años) y largo plazo (más de 20 años) donde se evalúen las condiciones estacionarias relacionadas con el fenómeno de la niña,

principalmente en aquellas zonas donde se cuente con información climatológica vigente. Lo anterior debido a que la información que se tiene actualmente está descrita de forma regional a escala 1:500.000 lo cual no permite una mejor discriminación de los niveles de amenaza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.

HOLDRIDGE, L. R. Ecología basada en Zonas de Vida. IICA. San Jose. 216 P. 1979.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, Geología de la Plancha 193 Yopal, 2013, INGEOMINAS.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, Geología y Geoquímica De La Plancha 193 Yopal. Bogotá, 2013.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. 135, p. 2012.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo A Geología. 2014.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo B Geomorfología. 2014.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo C Suelos Edáficos. 2014.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo D Cobertura Vegetal. 2014.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo E Detonante Lluvia. 2014.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 193 – Yopal, Anexo F Detonante Sismo. 2014.