

**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 212 - AGUAZUL***

Sogamoso, Abril de 2015



Dirección de
Geoamenazas



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

**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 212 - AGUAZUL***

EQUIPO EJECUTOR – UNIVERSIDAD

Ing. Carlos Julio Rodríguez
Dirección Proyecto
Ing. Héctor Antonio Fonseca
Dirección Técnica Proyecto
Ing. Kenia Johana Martínez Carrascal
Ing. Luis David Mesa
Geología y Geomorfología
Ing. Chayanna Pérez
Ing. Mónica Barrera
Catálogo Histórico e Inventario de
Movimientos en Masa
Ing. Edith Gonzales
Cobertura de la Tierra
Luis Eduardo García
Suelos Edáficos
Ing. Diego Armando Penagos
Sistema de Información Geográfica
Ing. Luis David Mesa
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. Claudia Paola Albadán
Catálogo Histórico e Inventario de
Movimientos en Masa
Ing. Karol Constanza Ramírez
Cobertura de la Tierra
Ing. Carlos Andrés Gamboa
Suelos Edáficos
Ing. Jesús Hernando Sandoval
Ing. Luis Antonio Barrera
Sistema de Información Geográfica

Sogamoso, Abril de 2015

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESARROLLO METODOLÓGICO	14
1.1 GEOLOGÍA	16
1.2 GEOMORFOLOGÍA	19
1.3 SUELOS EDÁFICOS.....	22
1.4 COBERTURA DE LA TIERRA	26
1.5 FACTOR DETONANTE LLUVIA.....	29
1.6 FACTOR DETONANTE SISMO.....	31
2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	34
1.7 SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA	34
1.8 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	39
CONCLUSIONES.....	45
RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica de la Plancha 212 - Aguazul.....	11
Figura 2. Diagrama metodológico para zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100 000.....	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.....	24
Figura 6. Mapa de susceptibilidad por cobertura.....	27
Figura 7. Mapa factor detonante lluvia.....	30
Figura 8. Mapa factor detonante sismicidad.....	32
Figura 9. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa Plancha 212 – Aguazul..	35
Figura 10. Distribución en porcentajes de la susceptibilidad total.....	35
Figura 11. Mapa de amenaza por movimientos en masa.....	40
Figura 12. Distribución en porcentajes de amenaza total.....	40

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lista de insumos.....	15
Tabla 2. Parámetro de calificación y área de susceptibilidad.	36
Tabla 3. Parámetro de calificación y área de amenaza.	41

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 D.** 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 212 - Aguazul, 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 212 - Aguazul se encuentra ubicada sobre el Piedemonte Oriental de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, situada sobre el Departamento de Casanare, ocupando extensas áreas de los Municipios Aguazul, Yopal, Maní y una mínima extensión de Tauramena. Plancha que incluye rasgos fisiográficos importantes como las estribaciones del Piedemonte Oriental de la Cordillera de los Andes Colombianos, rasgos que 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 es evidente que la amenaza relativa es resultado de la combinación de una gran cantidad de variables donde unas tienen más peso que otras. Las zonas más susceptibles a generar procesos morfodinámicos son aquellas que se presentan en zonas con pendientes inclinadas a escarpadas, en suelos superficiales a profundos, con buen drenaje, en coberturas de pastos limpios y herbazal denso inundable, donde el componente geológico es desfavorable a la estabilidad debido a la resistencia de la roca, a texturas clásticas susceptibles a ser afectadas por eventos tectónicos, entre otras.

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

En general la amenaza alta por movimientos en masas, tiene una alta correspondencia con suelos de poco desarrollo, superficiales a profundos en paisajes de piedemonte, montaña y valle, con coberturas de pastos enmalezados y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales y pastos limpios, sobre geoformas de ambiente estructural.

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

This explanatory report of the Zoning Susceptibility and Threat Relative mass movements in scale 1: 100,000 of the Plancha 212 - Aguazul, 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 212 - Aguazul is located on the eastern foothills of the Eastern Cordillera of the Colombian Andes, located on the Department of Casanare, occupying large areas of Aguazul, Yopal, Peanut and a minimum length of Tauramena Municipalities. plancha which includes major physiographic features as the foothills of the eastern foothills of the Cordillera of the Colombian Andes, features that indicate profound processes of dissection, they deserve to continue existing studies National Threat Map mass movements in scale 1: INGEOMINAS 500,000 (now the Servicio Geologico 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 it is evident that the relative threat results from the combination of a lot of variables which outweigh some other. The most susceptible areas to generate morphodynamic processes are those that occur in areas with steep slopes to steep in surface soils to deep, well drained, clean hedges dense flooded pastures and grassland, where the component is unfavorable geological stability due to the resistance of the rock to be susceptible to clastic textures affected by tectonic events, among others.

Overall high threat in mass movements, has a high correspondence with tiled undeveloped, surface to depth in landscapes of foothills and mountains, with coverage of weedy pastures and mosaic of crops, pastures and natural spaces and clean pasture, on landforms structural environment.

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

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 212 - Aguazul localizada en el Piedemonte Oriental de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, 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 No. 038 de 2013, suscrito entre el SGC y la UPTC.

Esta plancha se localiza sobre el Piedemonte Oriental de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, ubicada sobre el Departamento de Casanare, abarca un área total de 1800 Km², en esta área se encuentra en jurisdicción al oriente el Municipio Yopal, al sur el Municipio Maní y al occidente los Municipios Aguazul y Tauramena (Figura 1).

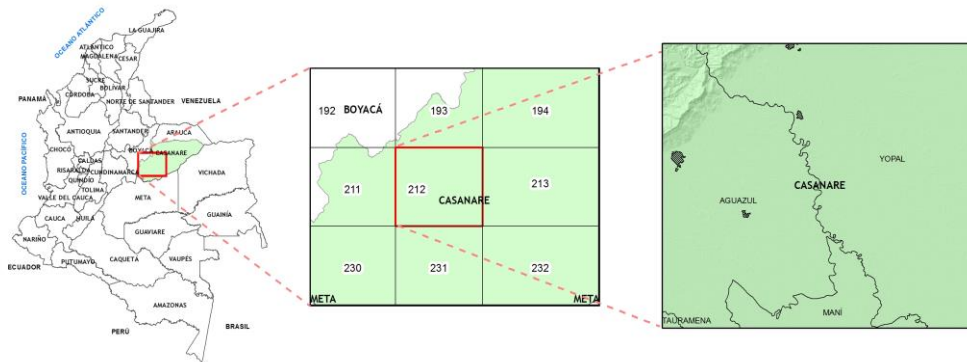


Figura 1. Localización geográfica de la Plancha 212 - Aguazul.

Fisiográficamente el territorio del Departamento del Casanare está constituido por tres conjuntos denominados vertiente oriental de la cordillera Oriental, piedemonte y llanura aluvial. La parte montañosa en el occidente comprende áreas desde el límite con el piedemonte hasta los 4.000 m sobre el nivel del mar; se caracteriza por sus

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

cumbres montañosas, con pajonales y frailejones y vertientes abruptas fuertemente disectadas, cubiertas por bosque húmedo tropical. Entre las formaciones orográficas más destacadas se encuentran las cuchillas Las Lajas, Palo Bajito, El Retiro, el cerro Vanegas y la serranía Farallones, entre otros.

El área de piedemonte, conformada por abanicos, terrazas disectadas y colinas, se caracteriza por su relieve plano a ondulado, cubierto por bosque ecuatorial, sabanas y praderas. La llanura aluvial, que se extiende desde el fin de piedemonte hasta límites con los departamentos de Vichada y Meta, está conformada a su vez por sabanas inundables, bosques de galería en los grandes ríos Pauto, Cusiana, Casanare, y llanura eólica en el centro y sur cubierta por gramíneas y bosque en las márgenes de los caños y ríos.

La riqueza hidrográfica es una de las principales potencialidades del Departamento; abundantes ríos, caños, lagunas y humedales (esteros) forman una intrincada red hídrica que provee a los llaneros de excelente biodiversidad de flora y fauna y les sirve como vía de comunicación y transporte durante la temporada de lluvias.

La red hidrográfica del territorio del Departamento del Casanare está integrada por los grandes ríos, quebradas, caños y lagunas, que desaguan en dirección del Orinoco por intermedio del río Meta, el cual recibe las aguas de la totalidad del departamento y tiene como principal afluente el río Casanare que a su vez recoge las aguas del río Ariporo y otras corrientes menores. Además de los afluentes mencionados se destacan los ríos Upía, Túa, Cusiana, Cravo Sur, Guanápalo, Pauto, Guachiría y Agua Clara. En el área de estudio predominan cuatro principales ríos: Cusiana, Chiquito, Únete y Charte.

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).

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Dentro del proceso de revisión de información preliminar y antecedentes históricos relacionados con afectaciones generadas por movimientos en masa dentro de la zona de estudio, se encontraron eventos catastróficos significativos registrados dentro de los medios locales o fuentes secundarias, como deslizamientos de gran magnitud se tienen los Municipios Yopal (2011, 2012), Aguazul (2011, 2012), dejando 3 pérdidas de vidas humanas, un desaparecido, 2030 afectados, 355 viviendas afectadas y una vivienda afectada y grandes pérdidas económicas. En las avenidas torrenciales debido al alto nivel de pluviosidad (lluvias), se tienen que el Municipio de Yopal (1994, 2005, 2011), dejó 2 pérdidas de vidas humanas, 4 heridos, 65 afectados, 8 viviendas afectadas, 4 evacuados, 3 viviendas destruidas y grandes pérdidas económicas.

A su vez mediante el desarrollo de las visitas a la zona de estudio, se incluyeron dentro del inventario 5 movimientos en masa, principalmente deslizamiento rotacional, caída de roca, flujo de detritos y caída de detritos 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 inestabilidad altamente propicia al desarrollo de movimientos en masa. Adicionalmente se verificó la existencia de 7 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⁾, así como la consulta 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, en orden de predominancia para la categoría baja, seguida de una categoría alta y en menor proporción la categoría media, lo cual indica una probabilidad de ocurrencia baja a la generación de movimientos en masa.

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, implementar zonificaciones de amenazas a mayor detalle.

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

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.

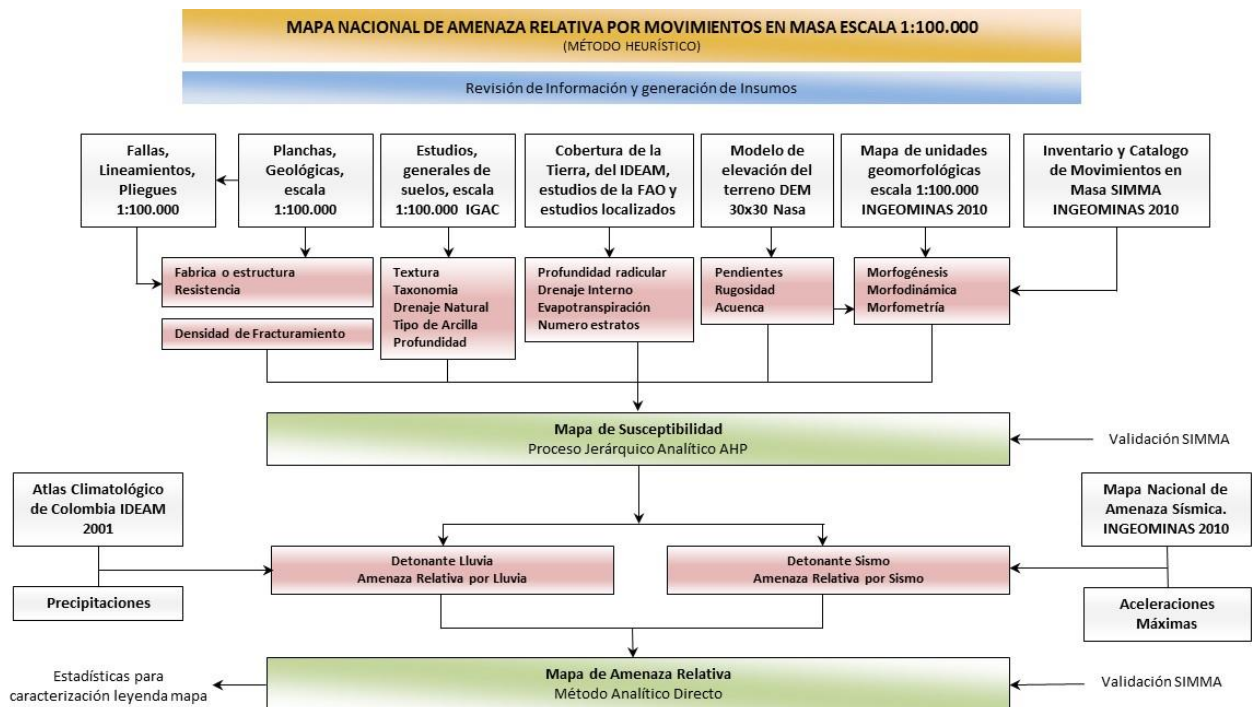


Figura 2. Diagrama metodológico para zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100 000.

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).

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

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.

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. Autor.

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 (Anexo A, Geología) a partir de la Plancha Geológica 212 - Aguazul, escala 1:100.000, con su respectivo documento explicativo que contiene principalmente la información litológica y estructural de la zona de estudio⁽⁴⁾.

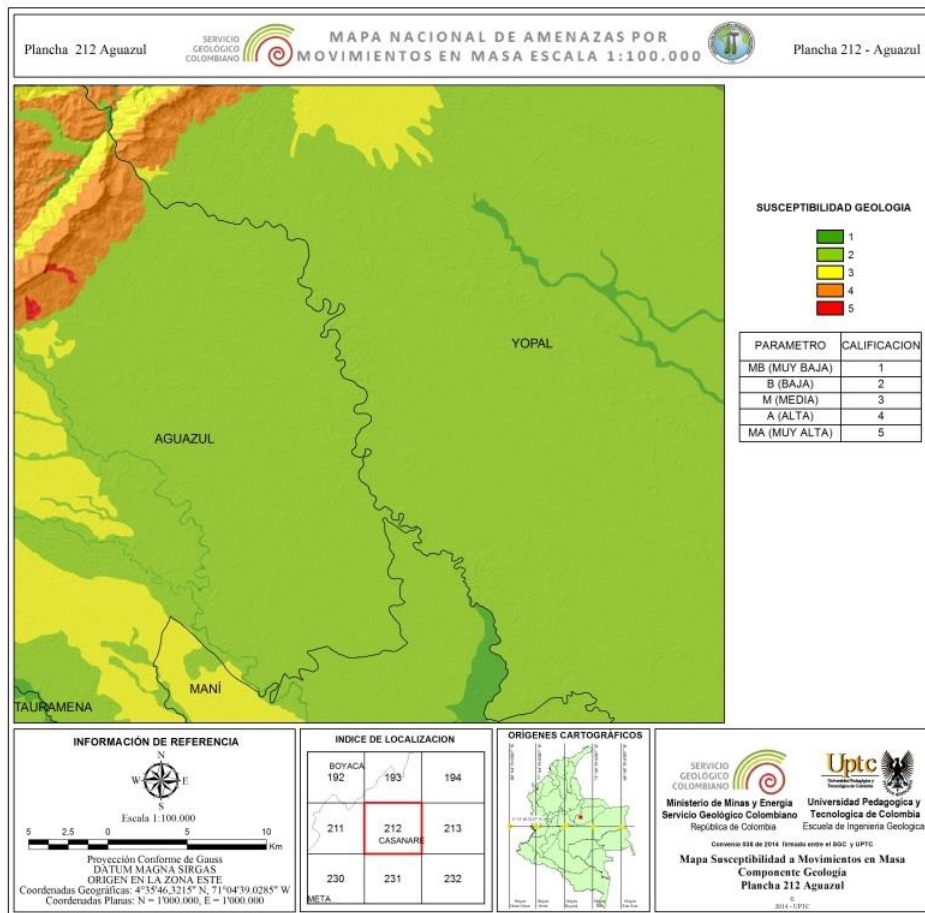


Figura 3. Mapa de susceptibilidad por la variable geología.

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 212 - Aguazul, Anexo A Geología, 2014.

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Dentro del área de estudio se evidencia la presencia de todas las categorías de calificación, destacándose 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 baja (con la mayor distribución espacial) por geología a los movimientos en masa, se desarrolla sobre rocas del Cuaternario de las Terraza de Planicie Aluvial (Qtp), depósitos de terraza dejados por grandes ríos, compuestos por material de tamaño limo, arcilla y clastos pequeños de areniscas de grano fino oxidadas, se caracteriza por presentar extensas zonas consideradas como llanuras de inundación, formada sobre extensas áreas territoriales de los Municipios Aguazul y Yopal y una mínima extensión de Maní y Tauramena.

Seguida a esta susceptibilidad se halla la calificación media, la cual se encuentra litológicamente asociada a los depósitos de Abanico Coluvio - Aluvial (Qac), el cual está constituido por cantos y gravas de arenitas cuarzosas de grano fino a medio clasto soportado, y depósitos limo - arenosos; así como a las rocas de la Formación Diablo Superior (Pds), compuesta por estratos delgados de arenita intercalados con estratos delgados de lodolita, involucrando los Municipios Aguazul, Yopal y una mínima parte de Maní.

Susceptibilidad Muy Baja

La susceptibilidad muy baja es una de las categorías menos predominante dentro dentro de la zona de estudio, está representada con un porcentaje de 22.622% ocupando un área total dentro de la plancha de 542.951 Km². Se encuentra asociada a los depósitos Aluvial Reciente (Qal), unidad que se encuentra aflorando a lo largo de las principales corrientes de agua como el río Charte en los Municipios Aguazul, Yopal y Maní; el río Únete, Chiquito y Cusiana en el Municipio Aguazul. En la parte montañosa y el piedemonte son: depósitos recientes compuestos por bloques, cantos y gravas redondeadas de areniscas de grano medio a fino, en menor proporción cantos de areniscas conglomerados de colores claros.

Susceptibilidad Baja

Esta calificación es la que predomina dentro de la Plancha 212 - Aguazul, se encuentra localizada de manera dispersa en lo que corresponde a los Municipios Aguazul y Yopal,

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

así como una mínima parte de los Municipios Maní y Tauramena, abarca un porcentaje de área de 15.769 %, el área total que ocupa dentro de la plancha es de 378.467 Km², desarrollada sobre rocas del Cuaternario de las Terraza de Planicie Aluvial (Qtp), que son depósitos de terraza dejados por grandes ríos, compuestos por material de tamaño limo, arcilla y clastos pequeños de areniscas de grano fino oxidadas, Se caracteriza por presentar extensas zonas consideradas como llanuras de inundación. Categoría que presenta movimiento en masa inventariado en campo de tipo caída de detritos.

Susceptibilidad Media

Esta categoría se presenta sobre depósito de Abanico Coluvio – Aluvial (Qac), el cual está constituido por cantos y gravas de arenitas cuarzosas de grano fino a medio clasto soportado, y depósitos limo-arenosos; seguido en una menor proporción por rocas de la Formación Diablo Superior (Pds), compuesta por estratos delgados de arenita intercalados con estratos delgados de lodolita. Debido a su composición, esta formación posee una calificación de resistencia 2 dura, cuya textura, es calificada en 3 clásticas cementadas.

Susceptibilidad que se encuentra abarcando gran parte del casco urbano del Municipio Aguazul, ocupando sectores como, Bélgica, Hato Las Brisas, Pajonales, Buenaventura, El Diamante, Agualinda entre otros, así como las Veredas El Alcaraván, Bellavista, Agualinda y parte del Salto de Venado; en una menor proporción sobre la cabecera municipal de Yopal, involucrando los sectores Canaruco, La Giralda y La Argentina; por último se encuentra sobre una mínima parte del Municipio Maní en la Vereda Agualinda, los sectores La Palmira, Hato La Pura, Agualinda y Capricho, así como parte de la Sabanas de la Pura. El porcentaje de ocupación dentro de la plancha es de 34.902% correspondiente a un área total de 837.671 Km². Los procesos morfodinámicos más representativos son deslizamiento rotacional, caída de roca y flujo de detritos.

Susceptibilidad Alta

La susceptibilidad alta se encuentra presente en rocas de la Formación Caja (PNC), conformada casi en su totalidad por lodolitas y arcillolitas con intercalaciones de arenitas de pequeño espesor y rocas de la Formación Diablo Inferior (Pdi), la cual está

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

constituida por estratos muy gruesos de arenita intercalados con estratos muy gruesos de lodolita, este conjunto está constituido por bancos de areniscas cuarzosas, grises verdosas, de grano fino a grueso, con intercalaciones de arcillolitas grises claras. Categoría que se encuentra asociada a la Falla de Yopal.

La textura de estas formaciones, es calificada en el rango de 4, la cual corresponde a clástica consolidada, ya que para este tipo de rocas, se presenta un comportamiento variable de esfuerzo y deformación, con direccionalidad de sus propiedades mecánicas. Respecto a la calificación por resistencia, se encuentra que está en la categoría 3 moderadamente dura. Dentro de la zona de estudio, en esta categoría, se inventario un movimiento en masa, que correspondió a un deslizamiento rotacional.

Susceptibilidad que ocupa un área de 669.418 Km² y que corresponde al 33.470 % del área total de la plancha, localizada al noroccidente de la misma, en la Vereda La Florida, entre los sectores Buenos Aires, Monserrate, Guarinocito, Iguamena, Cayagua y Mata de Limón del Municipio Aguazul; en el Municipio Yopal involucrando los sectores Carey, El Jordán y La Palmita.

Susceptibilidad Muy Alta

La susceptibilidad muy alta ocupa una mínima parte dentro de la Plancha 212 - Aguazul, y está asociada a la Falla Yopal, relacionada con aquellas rocas que se caracterizan por tener gravas angulosas a subangulosas distribuidas en la zona de estudio, normalmente son de materiales limo-arcillosos, correspondientes al Depósito Coluvial (Qc). Se encuentra localizada al noroccidente de la plancha en cercanía al sector Mata de Limón y sobre el Caño La Cruz, perteneciente al Municipio Aguazul. Esta susceptibilidad abarca un área aproximada de 1292.019 Km² que representa el 53.834 % del área total.

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

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

génesis, litología y procesos de evolución. Estas características permiten conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno. ⁽⁵⁾

En la Figura 4, se ilustra el Mapa de Susceptibilidad por Geomorfología de la Plancha 212 - Aguazul, en donde es evidente que en la mayor parte del área de estudio se presenta susceptibilidad baja a procesos de inestabilidad, seguida de la susceptibilidad media.

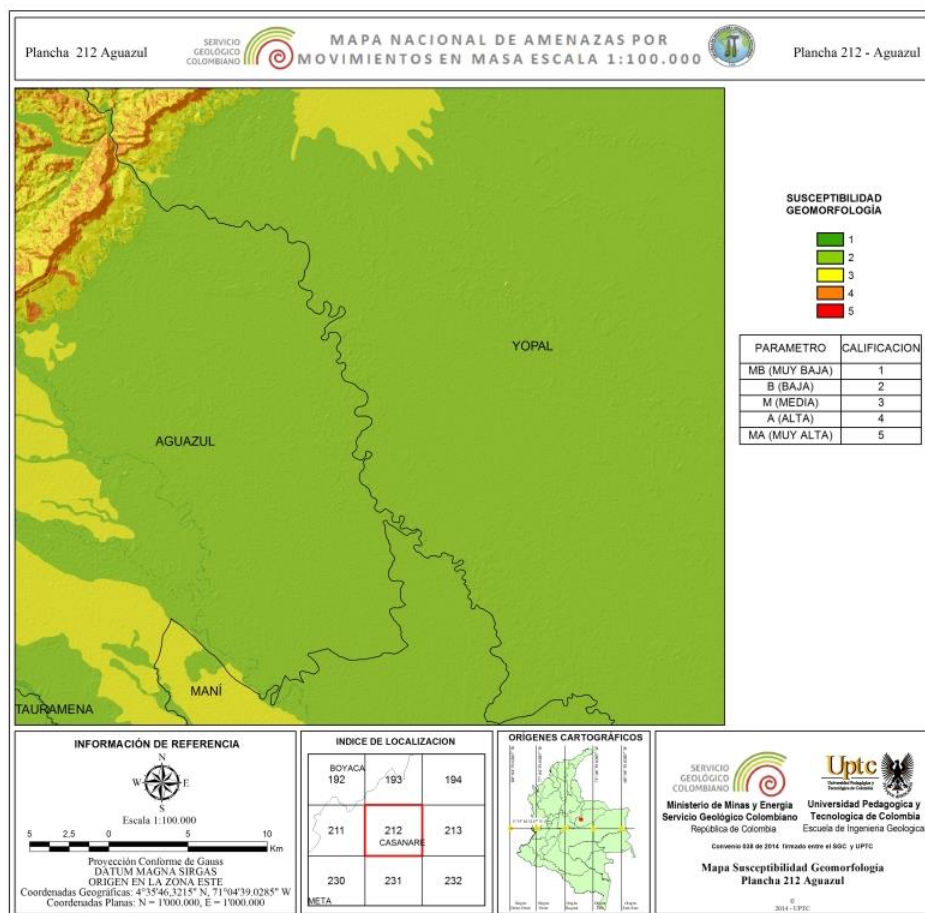


Figura 4. Mapa de susceptibilidad por geomorfología.

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 212 - Aguazul, Anexo B Geomorfología, 2014.

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

A continuación se hace una descripción de las categorías de susceptibilidad por geomorfología presentes en la Plancha 212 - Aguazul.

Susceptibilidad Baja

Esta categoría de susceptibilidad se localiza dentro de una amplia extensión de la zona de estudio, ocupando la mayor proporción de área respecto a las demás categorías, se da principalmente sobre geoformas con relieve relativo bajo a muy bajo, de pendientes planas a suavemente inclinadas, se desarrolla sobre geoformas de Ambiente Fluvial y Lagunar tales como Terraza de Acumulación Antigua (Ftan), Terraza de Acumulación Subcreciente (Ftas), Terraza de Acumulación (Fta), Abanicos Aluviales (Faa), Planos de Inundación (Fpi), las unidades de cauce aluvial y otras unidades de menor ocupación área dentro de la plancha. En estas zonas se presenta poca o nula susceptibilidad desde el punto de vista de fenómenos de remoción en masa. Pero, si puede presentar alta susceptibilidad a otros procesos, como la avulsión de flujos torrenciales e inundaciones. En el mapa la susceptibilidad baja abarca un área 104.84 Km² que corresponde al 5.82% del área total. Esta categoría se encuentra localizada en el Municipio Yopal en las Vereda San Rafael, El Garzón Nocuito, El Tiestal, Agua Verde, Mapora, La Porfía, El Milagro y El Charte; en el Municipio Aguazul en las Veredas Bella Verde, San Jose de Bubuy y La Esmeralda) y por último en el Municipio Maní en la Vereda La Porfía.

Susceptibilidad Media

La susceptibilidad media se desarrolla en pendientes que van desde suavemente inclinadas a inclinadas, en estas zonas se presentan unidades geomorfológicas de Ambiente Fluvial y Denudacional, constituidos por depósitos de Abanicos Aluviales (Faa, Faas) y montículos y ondulaciones denudacionales.

En el mapa la susceptibilidad media abarca un área 649.33 km² y corresponde al 36.073 % del área total. Esta categoría se encuentra localizada en el casco urbano del Municipio Yopal en los sectores Britania y Molino de San Rafael; en la cabecera municipal de Aguazul en los sectores de La Copa, Mata Limón, Pajonales y las Veredas el Alcaraván y Bella Vista; por último en el Municipio Maní en la Vereda Agua Linda.

Susceptibilidad Alta

Esta categoría de susceptibilidad, presenta un porcentaje de área de 1037.18 %, abarcando un área total de 57.6 Km². esta susceptibilidad alta por geomorfología está íntimamente ligada con las características genéticas de la roca y la susceptibilidad alta a media por morfometría y por pendientes abruptas a escarpadas, en donde prima el Ambiente Estructural y las unidades geomorfológicas de Ladera de Contrapendientes de Sierra Sinclinal (Ssslc), Sierras y Lomos de Presión (Sslp) y Escarpe de Mesetas (Sme). Categoría que se presenta en los Municipios Aguazul y Yopal en los sectores Salto de Venado, Buenos Aires, El Jordán y La Vereda La Florida

En el Ambiente Estructural, la susceptibilidad alta se debe principalmente a las características litológicas de las formaciones y a la disposición estructural de la roca que favorece el desarrollo de movimientos en masa.

1.3 SUELOS EDÁFICOS

El suelo es 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 el agente estabilizador de la superficie de la tierra, a la vez que constituye la mayor parte del material que se desplaza en los 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.

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

La evaluación de las características de los suelos dan lugar al mapa de susceptibilidad para esta variable ⁽⁶⁾ (Figura 5), el cual se obtuvo a partir del proceso que se presenta en el Anexo C, Suelos Edáficos.

Los suelos con susceptibilidad baja a muy baja, se presentan con menor área dentro de la Plancha 212 - Aguazul, se encuentran localizadas de manera dispersa en la zona de estudio, presentándose en los Municipios Aguazul, Yopal, Maní y una mínima parte del Municipio Tauramena. Geográficamente la susceptibilidad media se ubica en parte de los Municipios Aguazul y Yopal; por último y siendo la susceptibilidad más importante para el presente estudio, se encuentra la susceptibilidad alta, la cual se localiza dentro de una amplia extensión de la zona, ocupando la mayor proporción de área respecto a las demás categorías sobre los Municipios Aguazul Yopal, Maní y Tauramena.

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 212 - Aguazul, Anexo C Suelos Edáficos, 2014.

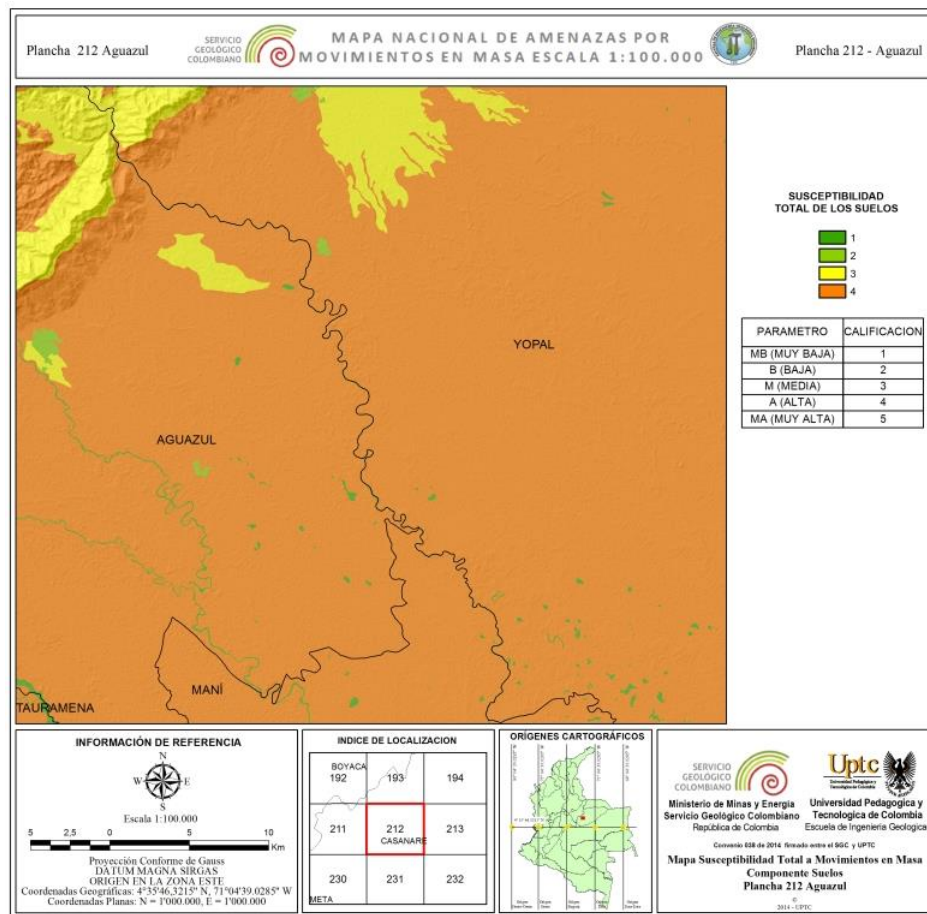


Figura 5. Mapa de susceptibilidad por suelos edáficos.

Susceptibilidad Muy Baja

La susceptibilidad calificada como muy baja es del 0.96 %, se refiere a los cuerpos de agua (ríos amplios, ciénagas, lagunas y esteros). Dentro de la plancha esta categoría se encuentra localizada a lo largo de las principales corrientes de aguas en las que se tiene el río Charte en los Municipios Aguazul, Yopal y Maní; y el río Únete, Chiquito y Cusiana en el Municipio Aguazul. Respecto al trabajo adelantado para el inventario de movimientos en masa, no se evidencio ningún movimiento.

Susceptibilidad Baja

Cubre la mayor parte de los centros urbanos las cuales presentan suelos superficiales y con drenaje natural bueno; representa el 0.27 % de la plancha. Categoría que se encuentra ubicada en la cabecera municipal de Aguazul y el corregimiento San Jose; en la cabecera municipal de Yopal y el corregimiento Morichal.

Susceptibilidad Media

Con susceptibilidad media se califican algunos sectores con aportes coluviales o de ladera y suelos de poco desarrollo. Asociada a esta se encuentran suelos Inceptisoles, Entisoles, los cuales son superficiales a profundos, con drenaje bueno, textura franco arcillosa, franco arcillo-arenosa con gravas, arcillosa con gravas, franco arenosa, pedregosa, en clima cálido húmedo, y en los paisajes de piedemonte, montaña y valle.

Se observa en el sector noroccidental de la plancha, en algunas áreas de los abanicos de piedemonte con sedimentos gruesos y en relieve de espinazos en el Municipio Yopal, y las terrazas altas, abanicos de piedemonte y espinazos de montaña en el Municipio Aguazul. Representa el 6.84 % de la plancha. En esta categoría se presenta la mayor cantidad de movimiento en masa inventariados en campo dentro de los que se tienen deslizamiento rotacional, caída de detritos y caída de roca.

Susceptibilidad Alta

La susceptibilidad muy alta corresponde a suelos profundos de los paisajes de planicie, valle, piedemonte y montaña. Asociada a esta se encuentran suelos Inceptisoles, Entisoles y Oxisoles, los cuales son profundos a muy profundos, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura franco arcillosa con presencia de gravas, arenosa franca, franco arcillo-arenosa, franco arcillo-limosa, y en clima cálido húmedo.

Se observa en toda la plancha, representando el 91.92 % de ésta. En esta categoría se presentó un movimiento en masa registrado en campo, correspondiente a deslizamiento rotacional.

1.4 COBERTURA DE LA TIERRA

Las coberturas vegetales muestran directamente el cambio de la dinámica natural de la superficie terrestre, y ejercen un papel importante en la regulación de procesos erosivos, también generan un equilibrio entre 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).⁽⁷⁾

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:

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 212 - Aguazul, Anexo D, Cobertura Vegetal, 2014.

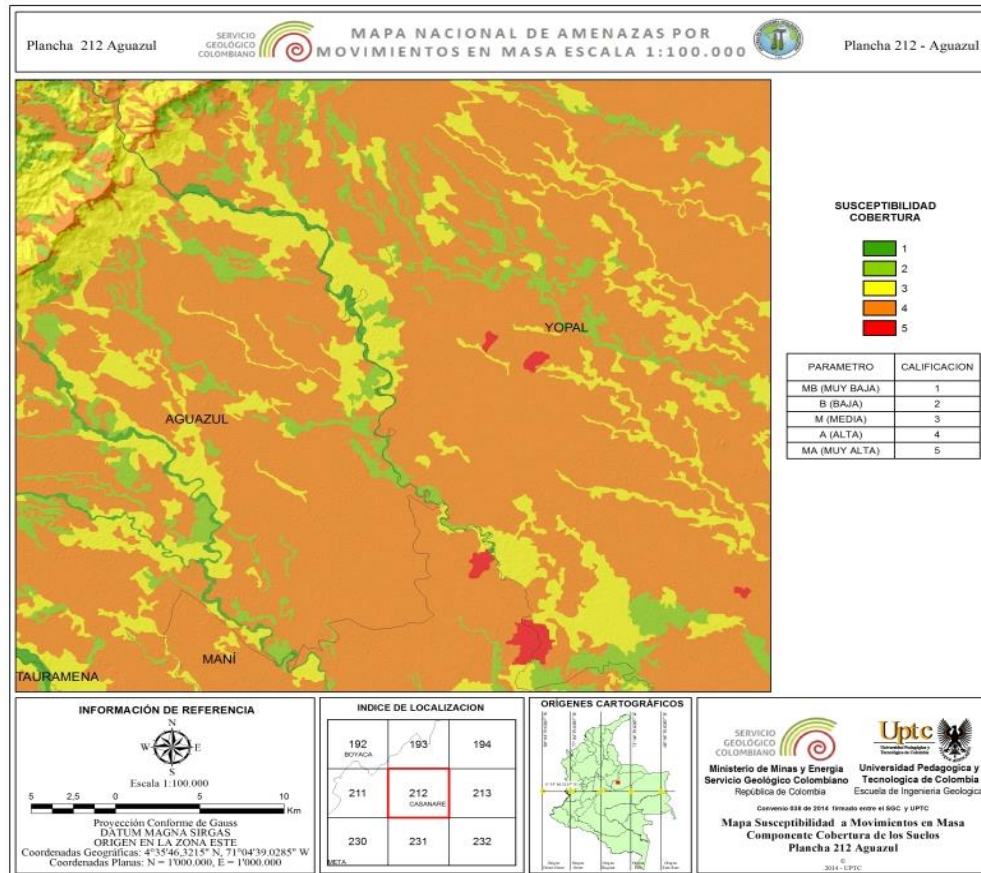


Figura 6. Mapa de susceptibilidad por cobertura.

Susceptibilidad Muy Baja

Susceptibilidad que corresponde a ríos, lagos y ciénagas naturales a lo largo y ancho de toda la plancha, los cuales representa el 1.42 % y un área de 2548.71 hectáreas. Dentro de la plancha esta categoría se encuentra localizada a lo largo de las principales corrientes agua en las que se tiene el río Charte en los Municipios Aguazul, Yopal y Maní; y el río Únete, Chiquito y Cusiana en el Municipio Aguazul. Durante el proceso del levantamiento de información referente a movimientos en masa, no se registraron eventos significativos cartografiados para su compilación dentro de la plataforma SIMMA.

Susceptibilidad Baja

Esta susceptibilidad se encuentra localizada en el Municipio Yopal al borde de los caños La Boraleña, Nocuito, Aguaverde, El Moral, Seco, Cienaguero o El Encanto, Marara, Mararoy, en la Vereda San Rafael y los sectores La Pradera, El Silencio y Cerey; en el Municipio Aguazul entre la Vereda la Florida y los sectores Bélgica, Buenos Aires; en la Vereda Bella Verde y los caños Iguamena, Caramena, Cumay, Pajonales, así como el río Chiquito; por último en el Municipio Maní en zonas aledañas al río Únete.

Esta categoría de susceptibilidad ocupa el 17.65 % y una extensión de 31.768.49 hectáreas, donde se presentan mosaico de pastos con espacios naturales, bosque denso alto de tierra firme y bosques de galería y ripario, requiere especial cuidado el desmonte de coberturas primarias para dar paso a pastos y cultivos sin la adecuada capacidad de uso del suelo y las tecnologías adecuadas. Inicialmente no se generan impactos negativos a movimientos en masa en lo que se refiere a coberturas. Respecto al trabajo adelantado para el inventario de movimientos en masa, no se evidencio ningún movimiento.

Susceptibilidad Media

Esta susceptibilidad se encuentra localizada en el Municipio Yopal, al borde del río Charte, en los sectores Ganada, El Retiro, Santa Helena, las Veredas Mapora, Potosí, Brazo La Pedregosa, entre cañada la Calidad y La Calichosa; en el Municipio Aguazul hacia Albania, El Gusto, Capri, igualmente entre el río Únete y caño Cofradía y al borde del caño Iguamena entre otros.

Esta categoría de susceptibilidad ocupa el 9.50 % del área total y ocupa 17.093.06 hectáreas, corresponde a coberturas de pastos enmalezados y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. Al romperse el equilibrio por la intervención antrópica en los ambientes naturales para dar paso a actividades agrícolas y pecuarias sin buenas prácticas y tecnologías adecuadas podría desencadenar remoción de partículas de suelo en horizontes superficiales. Sobre estas zonas han sido identificados movimientos de tipo deslizamiento rotacional.

Susceptibilidad Alta

La susceptibilidad esta fuertemente influenciada por la unidad climática cálido húmedo, tanto el drenaje como la profundidad efectiva son de superficial a moderadamente profundo, lo que genera problemas entre los índices de formación del suelo y las tasas de erosión por actividades de sobrepastoreo y actividades agrícolas que requieren un excesivo laboreo del suelo. Se encuentra localizada principalmente en el Municipio Yopal, aguazul y maní, y en una mínima parte en el Municipio Tauramena.

Esta categoría ocupa el 71.44 % y un área de 128.589.74 hectáreas, las coberturas que más aportan a esta categoría son los pastos limpios y herbazal denso inundable, se localiza en zonas de baja pendiente a zonas planas sin embargo, al no darse un uso adecuado a los recursos naturales tanto hídricos como el recurso suelo, vamos generando de alguna manera problemas de pérdidas de partículas de suelo por procesos erosivos y escorrentía superficial.

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 212 - Aguazul, representada por una zona, 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 ⁽⁸⁾.

⁸ 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 212 - Aguazul, Anexo E Detonante Lluvia. 2014.

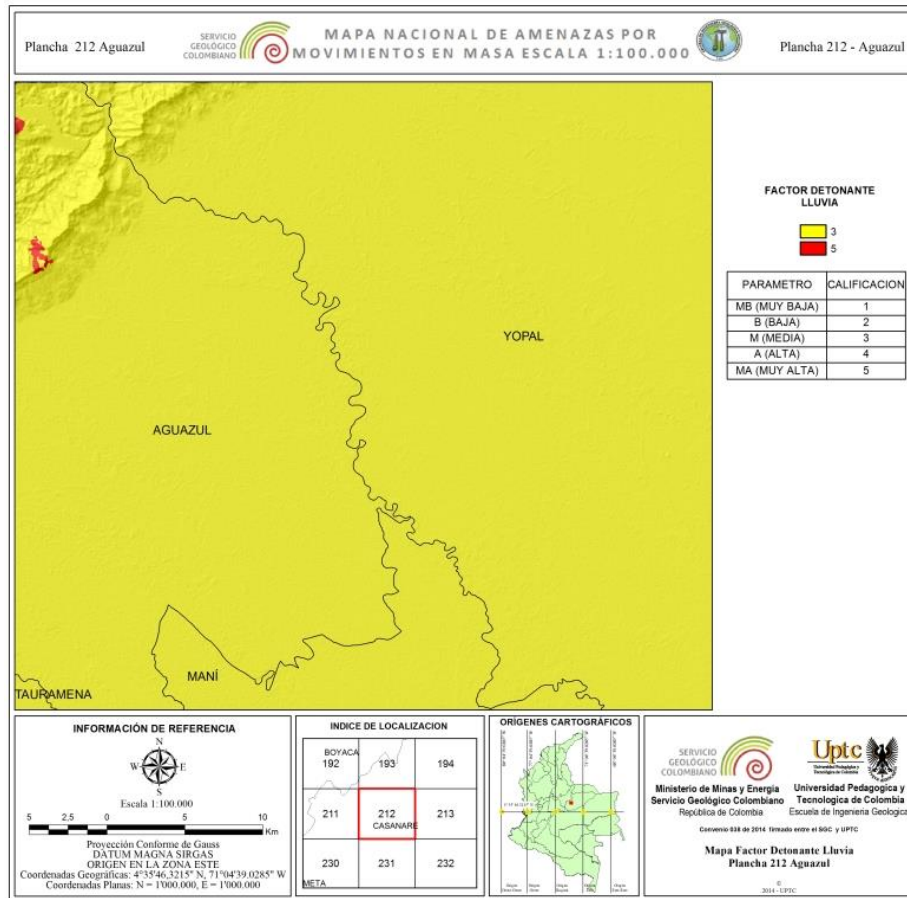


Figura 7. Mapa factor detonante lluvia.

Acorde a la distribución espacial que presenta este detonante respecto a la Plancha 212 - Aguazul se identifica que la mayor concentración de los factores climáticos que contribuyen a la generación de movimientos en masa, se localizan en extensas áreas de los Municipios Aguazul, Yopal y Maní, así como una mínima parte del Municipio Tauramena. En estos sectores la intensidad de lluvias máximas diarias está en un rango de 150 - 220 mm/día, representando de esta forma, una incidencia media en cuanto a la susceptibilidad del terreno a generar movimientos en masa.

Mediante la evaluación del detonante climático, es posible identificar que más del 90% del área que comprende la Plancha 212 (Yopal, Maní y Aguazul), presenta una calificación de 3 respecto al detonante climático, es decir, la zonificación climática corresponde a un parámetro de 2 (Baja) y las lluvias máximas diarias, a un valor de 4

Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 212 - Aguazul

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

(150 - 220), representando de esta forma, una incidencia media en cuanto a la susceptibilidad del terreno a generar movimientos en masa (Plancha 212 - Aguazul).

La condición de influencia climática muy alta, se localiza hacia el costado noroccidental de la plancha en el Municipio Aguazul, sobre el cual se presenta en dos sectores específicos; el primero se ubica hacia la parte norte de la cabecera municipal de Aguazul, en cercanía al sector Mata de Limón, el segundo se encuentra en cercanía a la Vereda La Florida y sector Buenos Aires en el Departamento de Casanare, donde la zonificación climática corresponde a un parámetro de 4 y las lluvias máximas diarias a un valor de 4 (150 - 220 mm/día). Representando una muy alta incidencia respecto a la susceptibilidad del terreno a generar movimientos en masa.

1.6 FACTOR DETONANTE SISMO

La Figura 8, corresponde al insumo del detonante sismo. Este permite observar que en toda el área que comprende la Plancha 212 - Aguazul, se presentan los parámetros de calificación de sismicidad (1, 2, 3, 4 y 5), indicando una condición de sismicidad de muy baja a muy alta relacionada con los aspectos tectónicos y estructurales activos respecto a la generación de movimientos masa ⁽⁹⁾.

⁹ 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 212 - Aguazul, Anexo F Detonante Sismo. 2014.

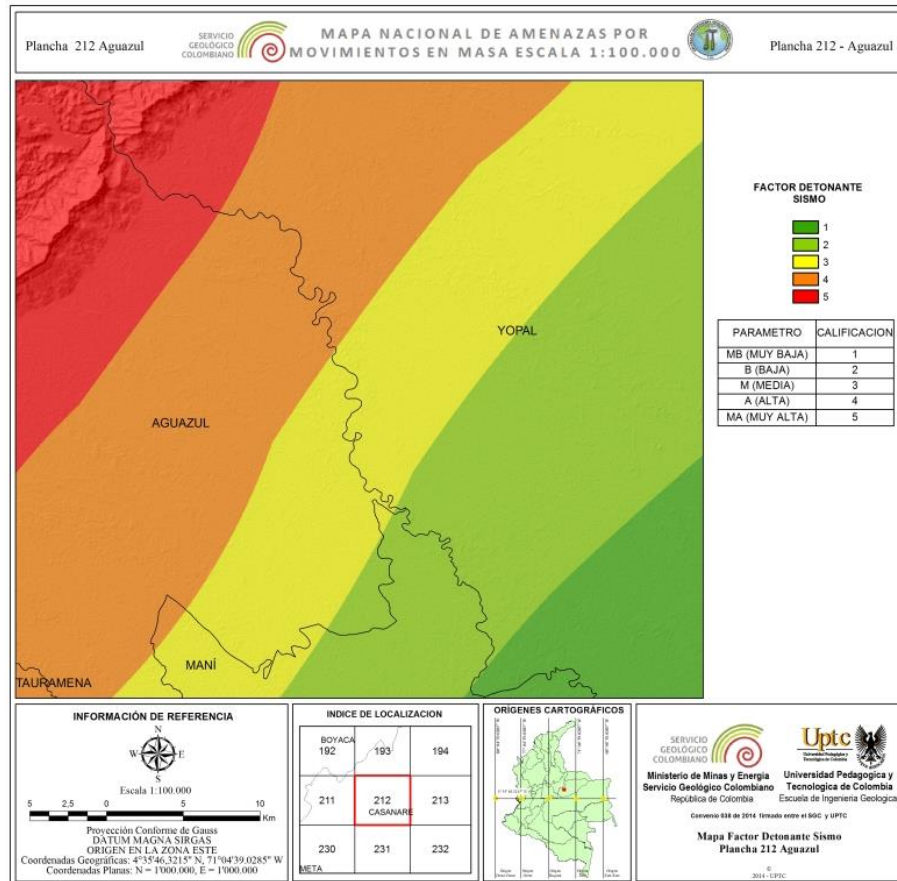


Figura 8. Mapa factor detonante sismicidad.

La condición de sismicidad relacionada dentro del área de estudio indica una categoría de baja a muy baja localizada geográficamente en franjas en la parte suroccidental y nororiental de la zona de estudio en jurisdicción de los Municipios Yopal y Maní, este detonante aporta una categoría de baja a muy baja a la generación de movimientos en masa esto es debido al valor de aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme (PGA) que para estas zonas corresponde a un rango entre 10 - 100 cm/seg² y 100 - 150 cm/seg². Adicionalmente se presenta una franja con dirección nororiental y suroccidental dentro de la plancha se encuentra una categoría media, distribuida en los Municipios Yopal, Aguazul y Maní, este detonante aporta una categoría media a la generación de movimientos en masa esto es debido al valor de aceleración máxima horizontal a nivel de terreno firme (PGA) que para estas zonas corresponde a 150-200 cm/seg². Por otra parte en el área norte y occidental de la Plancha 212 - Aguazul en lo

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

que corresponde a los Municipios Yopal, Aguazul y una mínima parte de los Municipios Maní y Tauramena se evidencia que este detonante aporta una susceptibilidad alta a muy alta, las cuales indican una mayor incidencia al desarrollo de movimientos en masa dentro de la Plancha 212 - Aguazul puesto que la aceleración horizontal a nivel de terreno firme (PGA) correspondiente a un periodo de 475 años oscila a un rango entre 200 - 300 cm/seg² y >300 cm/seg², de acuerdo con la evaluación de la información sísmica suministrada para el presente estudio.

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 212 - Aguazul 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 y la Figura 10, se concluye que, la susceptibilidad de mayor distribución espacial es la categoría media, seguida por la susceptibilidad baja; mientras que las susceptibilidades, muy baja, alta y muy alta, no representan en conjunto más del 2%.

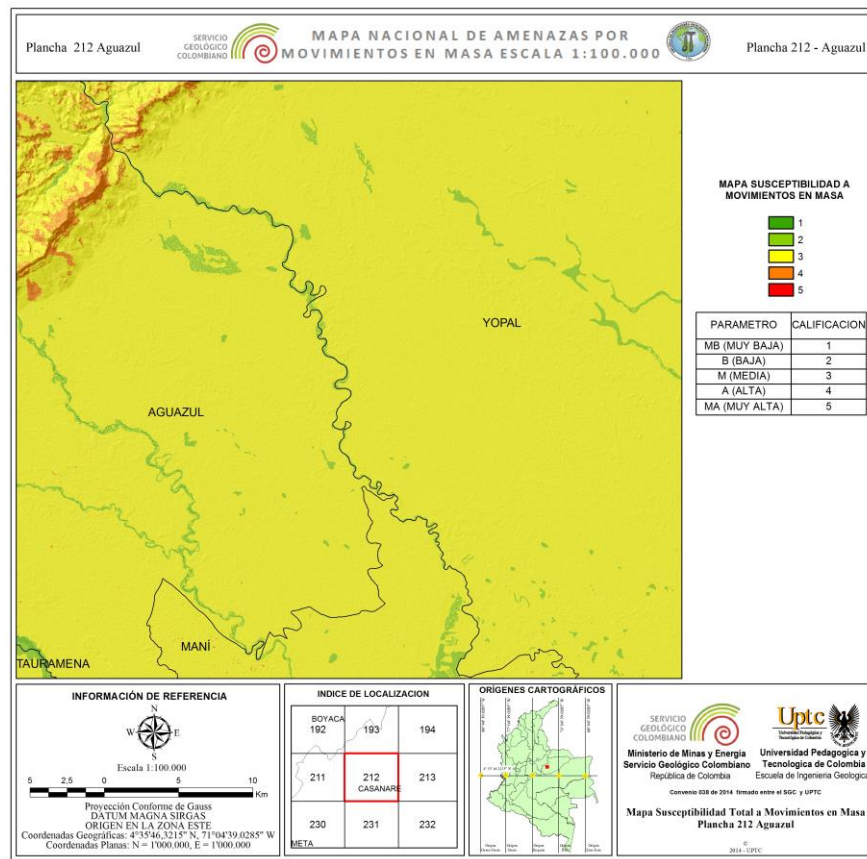


Figura 9. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa Plancha 212 – Aguazul.

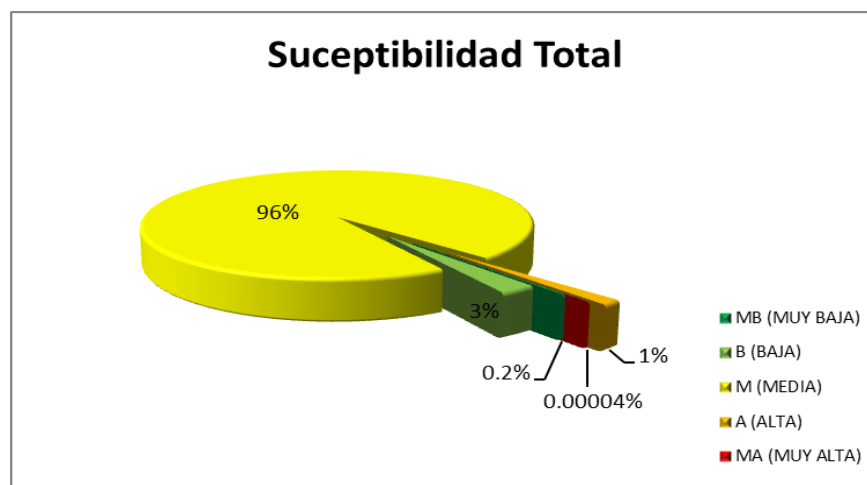


Figura 10. Distribución en porcentajes de la susceptibilidad total.

Tabla 2. Parámetro de calificación y área de susceptibilidad.

CALIFICACIÓN	ÁREA KM2	PARÁMETRO
1	2,959133	MB (MUY BAJA)
2	48,387655	B (BAJA)
3	1720,838076	M (MEDIA)
4	26,470913	A (ALTA)
5	0,000652	MA (MUY ALTA)

Fuente. Autores.

Susceptibilidad Muy Baja

Esta susceptibilidad se encuentra asociada a las principales corrientes de aguas como el río Charte en los Municipios Aguazul, Yopal y Maní; el río Únete, Chiquito y Cusiana en el Municipio Aguazul. Geomorfológicamente esta categoría de susceptibilidad, se desarrolla sobre unidades de Cauce Aluvial (Fca), en zonas donde las pendientes no superan los 7°, es decir zonas planas a suavemente inclinadas, desarrolladas litológicamente sobre depósitos Aluvial Reciente (Qal) compuestos por bloques, cantos y gravas redondeados de arenisca de grano medio a fino, en menor proporción cantos de arenisca conglomerática.

Las condiciones antes mencionadas representan poca o nula susceptibilidad al desarrollo de movimientos en masa, pero si representa alta susceptibilidad a otros procesos, tales como inundaciones, esto es consecuente con la información recopilada mediante el trabajo de campo, pues no se identificaron movimientos en masa en estas zonas.

Esta categoría de susceptibilidad dentro de la plancha ocupa un área de 2.959 Km², correspondiente al 0.0016% de área total de la plancha.

Susceptibilidad Baja

Se encuentra localizada en toda el área que comprende la Plancha 212, junto cauces de los ríos principales tales como El Charte en los Municipios Aguazul, Yopal y Maní; el río

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Únete, Chiquito y Cusiana en el Municipio Aguazul. Geomorfológicamente esta categoría de susceptibilidad, se desarrolla sobre unidades de Ambiente Fluvial como las terrazas de acumulación (Fta), terrazas de acumulación subcrecientes (Ftas), planos o llanuras de inundación (Fpi) y en barras compuestas (Fbc), en zonas con inclinaciones entre 0 y 11°, es decir zonas planas, suavemente inclinadas e inclinadas, desarrolladas litológicamente sobre Depósitos cuaternarios, denominados Terraza de Planicie Aluvial (Qtp) compuestos por material de tamaño limo, arcilla y clastos pequeños de areniscas de grano fino oxidadas, que se caracterizan por presentar extensas áreas consideradas como llanuras de inundación.

Los suelos presentes en estos sectores corresponden principalmente con Inceptisoles y Entisoles en menor proporción los Oxisoles, son suelos superficiales a profundos, con drenaje natural bueno, con texturas franco arcillosas, en climas cálidos húmedos. La cobertura que prima en estas zonas son mosaicos de pastos con espacios naturales y mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales. Estas condiciones contribuyen a que estas zonas no sean favorables al desarrollo de movimientos en masa.

Este nivel de susceptibilidad ocupa un área de 48.387 Km² correspondiente a 3 % del área total de la plancha.

Susceptibilidad Media

Esta categoría de susceptibilidad es la de mayor predominancia dentro de la plancha, se desarrolla sobre zonas con inclinaciones entre 0° y 40°, es decir, pendientes planas en los Municipios Aguazul, Yopal y Maní y pendientes abruptas en el costado Noroccidental de la plancha, en el Municipio Aguazul en los sectores de Matalimón, Monserrate y la Florida y en el Municipio de Yopal en los sectores Molino San Rafael, Carey y La Palma. Se presenta en unidades geomorfológicas de origen fluvial como terraza de acumulación subcreciente (Ftas), terraza de acumulación antigua (Ftan), terraza de acumulación (Fta) y terraza de erosión (Fte), en menor proporción denudacional como montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo), ladera erosiva (Dle), lomeríos muy disectados (Dlmd) y lomeríos poco disectados (Dlpd) y del ambiente estructural unidades como ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle) y plancha (Sp). El primero de estos se desarrolla principalmente en depósitos de Terraza de Planicie Aluvial (Qtp), los cuales son dejados por grandes ríos como el río Charte, El río Únete y río Chiquito, estos depósitos están compuestos por material tamaño limo,

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

arcilla y clastos pequeños de arenisca de grano fino oxidadas. En el caso del ambiente denudacional, se desarrolla en rocas de las Formaciones San Fernando y Diablo Superior, compuestos por una serie de lutitas y arcillolitas fisiles de color gris, con intercalaciones de bancos de arenisca y ocasionalmente mantos de carbón y estratos delgados de arenita intercalados con estratos delgados de lodolita, y las unidades de ambiente estructural se desarrollan sobre la Formación Diablo Superior. Los suelos sobre los que se presenta esta calificación corresponden a suelos profundos, de los paisajes de planicie, valle, piedemonte y montaña.

Los suelos asentados en esta zona corresponden a Inceptisoles, Entisoles y Oxisoles, los cuales son profundos a muy profundos, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura franco arcillosa con presencia de gravas, arenosa franca, franco arcillo-arenosa, franco arcillo-limosa, en cimas cálido - húmedo. La cobertura hace referencia a pastos limpios, herbazal denso inundable, pastos enmalezados y mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales.

Las condiciones mencionadas anteriormente contribuyen de manera directa al desarrollo de movimientos en masa, debido al uso inadecuado de los recursos naturales tanto hídricos como suelo y cobertura, lo que se puede corroborar con la existencia de dos movimientos tipo caída de detritos y rocas y flujo de detritos identificados dentro de la Plancha 212 - Aguazul.

Esta categoría de susceptibilidad abarca un área de 1720.838 Km², que corresponde al 96 % del área total de la Plancha 212 - Aguazul.

Susceptibilidad Alta

Esta categoría de susceptibilidad tiene lugar en el extremo Noroccidental de la plancha, en los Municipios Aguazul y Yopal, en la vereda La Florida, entre los sectores Buenos Aires, Monserrate, Guarinocito, Iguamena, Cayagua y Matalimón, Carey, El Jordán y La Palmita. En zonas donde las pendientes son mayores de 40°, es decir están entre muy inclinadas a escarpadas. Geomorfológicamente se presenta en unidades de Ambiente Estructural como ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle), ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc), sierra Homoclinal (Ssh), escarpe de meseta (Sme) y en sierras y lomos de presión (Sslp), litológicamente se presenta en rocas de la

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Formación Caja (PNC), Formación Diablo Inferior (Pdi) y Formación San Fernando (Psf), conformada por lodolitas y arcillolitas con intercalaciones de arenitas de pequeño espesor, areniscas cuarzosas con intercalaciones de lodolitas y lutitas y arcillolitas con intercalaciones de areniscas y ocasionalmente mantos de carbón.

Los suelos presentes en estos sectores corresponden principalmente con Inceptisoles y Entisoles en menor proporción los Oxisoles, son suelos superficiales a profundos, con drenaje natural bueno, con texturas franco arcillosas, en climas cálidos húmedos. La cobertura que prima en estas zonas son mosaicos de pastos con espacios naturales y mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales. Estas condiciones contribuyen a que estas zonas sean favorables al desarrollo de eventos de inestabilidad, lo cual se puede corroborar con la existencia de tres deslizamientos rotacionales incluidos en el inventario de movimientos en masa durante el trabajo de campo.

Esta categoría dentro de la plancha ocupa un área de 26.470 Km², con un porcentaje del 1 % del área total de la plancha.

2.2 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Una vez generada la variable de susceptibilidad por movimientos en masa, se establecieron los escenarios de amenaza relativa por movimientos en masa ⁽¹⁰⁾, teniendo en cuenta los factores detonantes sismo y lluvia, ocurridos históricamente en la región.

En la Figura 11 se identifican 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 212 - Aguazul.

¹⁰ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000, 2012, 131 p.

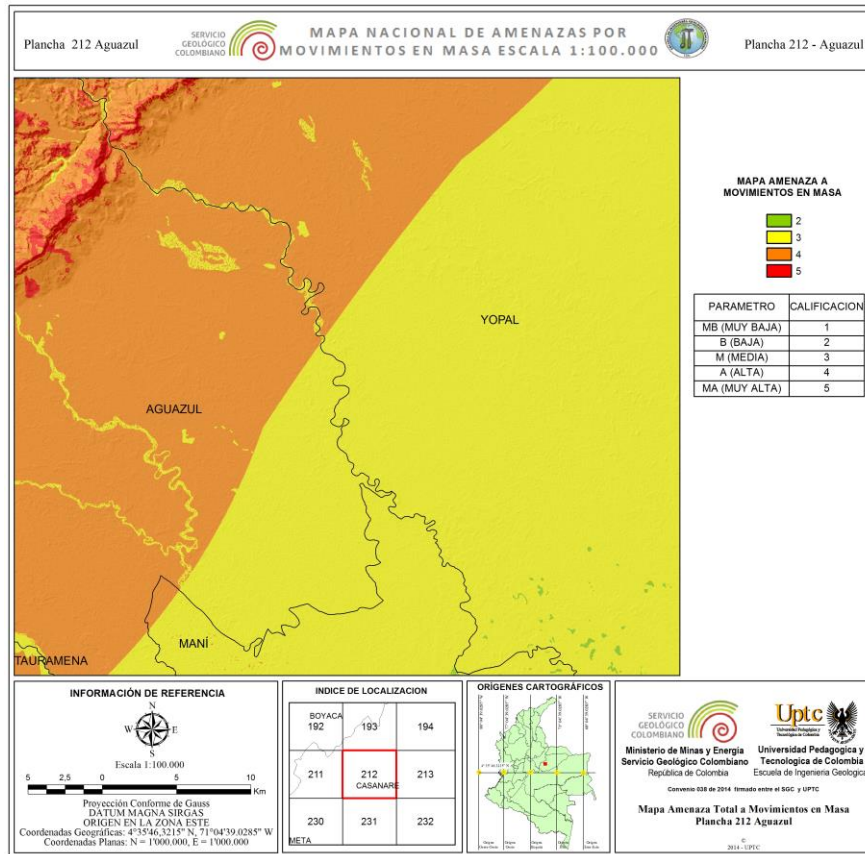


Figura 11. Mapa de amenaza por movimientos en masa.

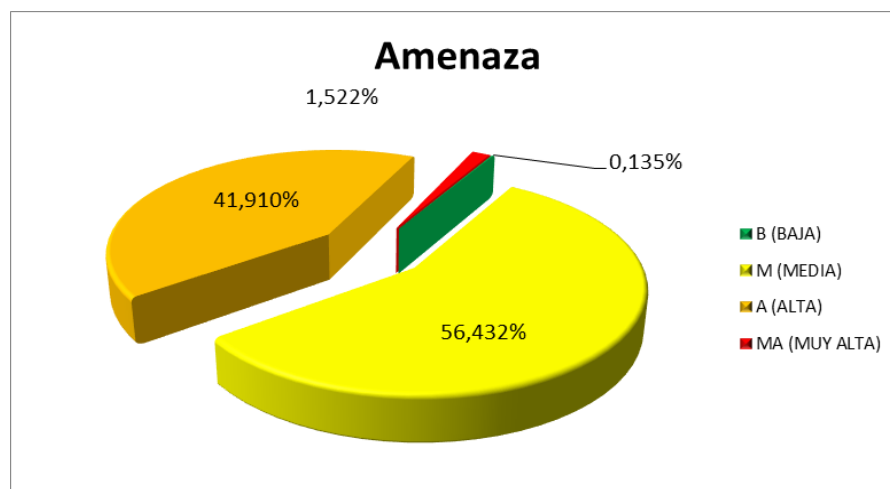


Figura 12. Distribución en porcentajes de amenaza total.

Tabla 3. Parámetro de calificación y área de amenaza.

CALIFICACIÓN	ÁREA KM2	PARÁMETRO
2	2.434145	B (BAJA)
3	1015.017383	M (MEDIA)
4	753.824542	A (ALTA)
5	27.38036	MA (MUY ALTA)

Fuente. Autores.

Una vez desarrollada la zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa para la Plancha 212 - Aguazul, se identificó que la predominancia en el área de estudio de la categorías de amenaza media y alta, lo cual indica que la interacción entre las condiciones físicas inherentes del terreno y los factores a nivel exógeno y endógeno 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 Baja

Este tipo de amenaza se desarrolla donde las pendientes varían entre planas a suavemente inclinadas, sobre ambientes geomorfológicos de tipo Fluvial, principalmente en unidades tipo Terrazas de Acumulación (Fta) y Terrazas de Acumulación Subreciente (Ftas), en donde los suelos presentan buen drenaje y son suelos superficiales y la cobertura vegetal corresponde a mosaicos de pastos con espacios naturales. En esta área, las lluvias diarias máximas son del orden de 150 - 220 mm para un periodo de retorno de 25 años. Los sismos pueden llegar a alcanzar una aceleración pico del suelo entre 10 - 100 cm/seg². Ocupando un área de 2.434 Km², correspondiente a un porcentaje de área de 0.135 %. De esta manera no existe posibilidad de desarrollarse movimientos en masa significativos o cartografiables a la escala evaluada.

Amenaza Media

Esta amenaza tiene lugar en el costado oriental de la Plancha 212 - Aguazul, se presenta en los Municipios Yopal (Veredas Tacarimena Baja, El Tiestal, Nocuito, Alemania, La Unión El Arenal, El Milagro, Yopitos, La Arenosa, Porfía, Mapora y Gaviotas Agua Verde), Aguazul (en los sectores Sabanas de San Antonio y Sabanas de Salitrico) y Maní (Vereda La Porfía, El Viso y Agua Linda). Esta categoría se relaciona a unidades geomorfologías de Ambiente Fluvial; del cual se resaltan las Terrazas de Acumulación Antigua (Ftan) y Terrazas de Acumulación Subreciente (Ftas). Los factores correspondientes a suelos y cobertura vegetal determinan que las zonas presentan pendientes de 0° a 11°, planas y suavemente inclinadas a inclinadas, con suelos inceptisoles, entisoles y oxisoles, los cuales son profundos a muy profundo, con drenaje natural bueno a muy pobre, textura franco arcillosa con presencia de gravas, arenosa franca, franco arcillo-arenosa, franco arcillo-limosa, y en clima cálido húmedo, donde las cobertura que priman corresponden a pastos limpios, herbazal denso inundable, pastos enmalezados y mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales.

Adicionalmente dentro de los factores detonantes las lluvias diarias máximas oscilan entre 150 a 220 mm para un periodo de retorno de 25 años, mientras que los sismos en estas áreas pueden llegar a alcanzar una aceleración pico del suelo entre 10 y 200 cm/seg². Corresponde a la mayor parte de las zonas que integran el área de estudio, con un área de 1015.017 Km², y un porcentaje de área total de 56.432 %. Sobre estas zonas no se presentan movimientos en masa.

Amenaza Alta

Se presenta donde la combinación de los componentes geomorfológicos, geológicos, las características de los suelos y los tipos de cobertura vegetal, en interacción con las características climatológicas condicionan un escenario propicio al desarrollo de movimientos en masa.

Ocupa una amplia franja dentro de los Municipios Aguazul (en la cabecera municipal y en las veredas La Florida, Bella Verde, El Guineo, La Esmeralda, El Rincón de Bubuy, San José de Bubuy, El Alcaraván, Palo Solo y el corregimiento San José), Yopal (entre las

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

veredas El Charte, San Rafael, El Garzón, El Picón y el corregimiento de Morichal y una parte de la cabecera municipal de Yopal) y una pequeña parte de Tauramena (Vereda Iquia) y Maní (sector Altamira).

Estas condición de amenaza se presenta en laderas que presentan pendientes inclinadas a escarpadas, sobre una gran variedad de unidades geomorfológicas, sobre tres tipos de Ambientes: fluvial (Terrazas de Acumulación Subreciente (Ftas), Terraza de Acumulación Antigua (Ftan), Terrazas de Acumulación (Fta), Abanico Aluvial (Faa), (Faas) y Terrazas de Erosión. En el Ambiente Denudacional en la unidad Montículos y Ondulaciones Denudacionales (Dmo), Ladera Erosiva (Dle), Lomeríos Poco Disectados (Dlpd), Lomeríos muy Disectados (Dlmd), Lomo Denudado Bajo de Longitud Corta (Dldebc) y del Ambiente Estructural en unidades como Ladera de Contrapendiente (Slcp), Ladera Estructural (Sle), Ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle), Sierras y Lomos de Presión (Sslp), Mesetas (Sm), Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc) y Plancha (Sp).

Los suelos en estas áreas de categoría alta corresponden con suelos de poco desarrollo asociados a suelos Inceptisoles y Entisoles, superficiales a profundos, con drenaje bueno, textura franco arcillosa, franco arcillo – arenosa con gravas, arcillosa con gravas franco arenosa, pedregosa en clima cálido húmedo, en los paisajes de piedemonte, montaña y valle. La cobertura corresponde a pastos enmalezados y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.

En general en esta zona de amenaza, las lluvias diarias máximas pueden ser mayores 220 mm 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 $>300 \text{ cm/seg}^2$. Esta categoría ocupa un área de 753.824 Km², correspondiente al 41.910 % del área total de la plancha. A la amenaza alta se asocian movimientos en masa tales como caídas de rocas y detritos.

Amenaza Muy Alta

Ocupa una mínima parte en el extremo noroccidental de la plancha, en los Municipios Aguazul y Yopal, en la vereda La Florida, entre los sectores Buenos Aires, Monserrate, Guarinocito, Iguamena, Cayagua y Matalimón, Carey, El Jordán y La Palmita. Estas

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

zonas corresponden a vertientes que presentan pendientes muy inclinadas a abruptas, donde se han cartografiado unidades geomorfológicas de Ambiente Estructural como Laderas de Contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc), Ladera Estructural de Sierra Sinclinal (Sssle), Sierra Homoclinal (Ssh), Escarpe de Meseta (Sme) y Sierra y Lomos de Presión (Sslp).

A la susceptibilidad alta se asocian suelos de poco desarrollo asociados a suelos Inceptisoles y Entisoles, superficiales a profundos, con drenaje bueno, textura franco arcillosa, franco arcillo-arenosa con gravas, arcillosa con gravas franco arenosa, pedregosa en clima cálido húmedo, en los paisajes de piedemonte, montaña y valle, con coberturas de pastos enmalezados y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales y pastos limpios.

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

Esta categoría dentro de la plancha ocupa un área de 27.380 Km², correspondiente al 1.522 % del área total. En esta zona se identificaron tres movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional.

CONCLUSIONES

La evaluación de la susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa para la Plancha 212 - Aguazul, permitió la identificación de zonas cuyas características favorecen la ocurrencia de movimientos en masa, así como la identificación de zonas estables sobre las cuales la posibilidad de ocurrencia es mínima.

El grado de susceptibilidad y amenaza se determinaron mediante la combinación de factores propios del terreno como lo son los componentes geología, geomorfología, cobertura vegetal y suelos edáficos, además de la evaluación de factores externos como lluvia y sismos, con lo cual se pudo establecer la condición de amenaza relativa por movimientos en masa.

La evaluación de la susceptibilidad y amenaza de la Plancha 212 - Aguazul, permitió identificar que las zonas más propensas a presentar movimientos en masa, están condicionadas a zonas de laderas donde las pendientes son muy inclinadas a escarpadas y en las cuales priman geoformas de ambiente estructural, desarrolladas sobre rocas de la Formación Diablo Inferior y Caja. Estas zonas corresponden principalmente a áreas con pastos enmalezados, mosaico de cultivos y espacios naturales, en suelos superficiales a profundos, con buen drenaje. En estas mismas zonas, es donde se han materializado los procesos, que han dado lugar a los movimientos en masa, algunos de ellos inventariados durante el trabajo de campo.

Dentro del componente geológico se identifica que las categorías de mayor susceptibilidad a la generación de movimientos en masa se presentan sobre rocas de las Formaciones Diablo, San Fernando y Caja, compuestas por arenitas intercaladas con lodolitas, lutitas, arcillolitas, con ocasionales mantos de carbón y lodolitas y arcillolitas con intercalaciones de arenitas de poco espesor. Estas formaciones son clásticas con resistencias moderadas a los procesos de deformación; estas condiciones influyen de manera directa en el desarrollo de procesos de inestabilidad.

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

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, de texturas franco arcillosa con presencia de grava, arenosa, franca, franco arcillo-arenosa, y franco arcillo-limosa.

Uno de los mayores factores condicionantes dentro de las características de susceptibilidad total por movimientos en masa para la Plancha 212 - Aguazul, corresponde al componente geomorfología y suelos, donde las unidades de mayor incidencia a nivel de susceptibilidad se presentan en zonas de pendientes moderadas a altas, con relieve relativo entre bajo, donde se localizan los depósitos de tipo coluvial, alóctono, con alto contenido de suelos residuales.

Las zonas planas y semiplanas correspondientes a unidades geomorfológicas del ambiente fluvial hacen parte de las zonas menos propensas a desarrollar movimientos en masa.

Con la evaluación de la cobertura vegetal y lo observado en el terreno se concluye que las coberturas menos susceptibles al desarrollo de movimientos en masa se presentan en las zonas planas a suavemente inclinadas y son mosaicos de pastos con espacios naturales, bosques densos altos de tierra firme y bosques de galería y ripario, mientras que las coberturas más susceptibles corresponden a las de pastos limpios y herbazal denso inundable, debido a que no se le da un uso adecuado a los recursos naturales.

Una vez elaborada la zonificación de amenazas relativa por movimientos en masa, en la Plancha 212 - Aguazul, se determina que las condiciones propias del terreno, establecen una condición característica de media a alta amenaza a la ocurrencia de movimientos en masa, mientras que el rango de zonificación de amenazas alta y muy alta ocupa un menor porcentaje, lo cual indica una estrecha interacción entre los procesos endógenos y exógenos que se encargan del modelado del terreno.

En el escenario de amenaza relativa a movimientos en masa por el detonante lluvia, se observa que toda la plancha presenta precipitaciones con valores entre 150 y 220 mm, la tendencia a desarrollarse movimientos en masa en estos sectores es moderada.

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Aunque la susceptibilidad a movimientos en masa para los componentes geológicos y geomorfológicos determinan categorías bajas y muy bajas, en el terreno se pudieron observar 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, así como la influencia generada por los cortes y taludes adyacentes a las vías.

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 son los cambios en la cobertura del suelo en zonas de alta pendiente.

Involucrar procesos de morfoconservación en zonas de alto relieve donde el uso potencial del suelo corresponda con bosques de protección, de tal manera 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 212 - Aguazul 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 alternas tales como meteorización, erosión y la incidencia antrópica.

Continuar 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

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

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 BIBLIOGRÁFICAS

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

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, geología de la Plancha 212 - Aguazul. 2010 - INGEOMINAS.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, reseña explicativa del mapa geológico preliminar Plancha 212 - Aguazul. Bucaramanga, Mayo de 2010.

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 212 - Aguazul, 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 212 - Aguazul, 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 212 - Aguazul, 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 212 - Aguazul, 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 212 - Aguazul, Anexo E Detonante Lluvia. 2014.

Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 Plancha 212 - Aguazul

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

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 212 - Aguazul, Anexo F Detonante Sismo. 2014.