



FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PRIVADA
OPCIÓN DE GRADO
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES INTEGRADA A LA
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

FECHA: 15 de abril 2021

HORA: 4:00 p.m.

LUGAR: Plataforma Meet

Se realizó la Sustentación Privada del Trabajo de Grado denominado “IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ARGELIA, DEPARTAMENTO DEL CAUCA, 2020.”

ESTUDIANTE:
YAIR FERNANDO MENESES CORREA

Para efectos de este documento, la Sustentación Privada se llevó a cabo el día 15 de abril de 2021, según normas vigentes de la Fundación Universitaria de Popayán.

El trabajo se considera:

APROBADO:

APROBADO:

Director
John Jainer Galarza

Jurado Evaluador
María Isabel Turbay

Arq. LIDA PATRICIA RIVERA
Directora de la Especialización en Gestión del Riesgo de Desastres Integrada a la
Planificación Territorial



FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE
SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE
ARGELIA, DEPARTAMENTO DEL CAUCA, 2020**

YAIR FERNANDO MENESES CORREA

**POSGRADO EN GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES INTEGRADA
A LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

**POPAYÁN
2021**

IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE
SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ARGELIA,
DEPARTAMENTO DEL CAUCA, 2020

YAIR FERNANDO MENESES CORREA

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE ESTUDIO DE CASO PARA OPTAR POR EL
TITULO DE ESPECIALISTA EN GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES INTEGRADO A LA
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

DIRECTOR
M.Sc. JOHN JAINER GALARZA ZAMBRANO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN
POSGRADO EN GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES
INTEGRADA A LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL
POPAYAN
2021

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
1 PRIMER CAPÍTULO: ÁREA DE ESTUDIO	8
1.1 Localización	8
1.2 Generalidades del municipio	10
1.3 Antecedentes relacionados con los movimientos en masa en el municipio	11
2 SEGUNDO CAPÍTULO: MARCO TEÓRICO	13
2.1 Gestión de riesgos de desastres y movimientos en masa	14
2.2 Susceptibilidad a los movimientos en masa	18
2.3 SIG aplicados al análisis de los movimientos en masa	21
3 TERCER CAPÍTULO: METODOLOGÍA	22
3.1 Fase I: Estudio preliminar	22
3.2 Fase II: Planificación y diseño del modelo espacial	24
3.3 Fase III: Geoprecesamiento y estructuramiento cartográfico	30
4 CUARTO CAPÍTULO: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ARGELIA.	31
4.1 Marco geológico.	31
4.1.1 Era cenozoica	32
4.1.2 Era mesozoica	34
4.2 Valoración de la susceptibilidad por el atributo de Geología	38
4.2.1 Densidad de fracturamiento	38
4.2.2 Fabrica y estructura.	39
4.2.3 Resistencia.	42
4.2.4 Susceptibilidad por el atributo de Geología	46

4.3	Valoración de la susceptibilidad por el atributo de Geomorfología	49
4.3.1	Morfometría.	50
4.3.2	Morfodinámica	67
4.3.3	Morfogénesis:	77
4.3.4	Susceptibilidad de la variable Geomorfología	87
4.4	Valoración de la susceptibilidad por el atributo de cobertura de la tierra	91
4.4.1	Profundidad radicular	95
4.4.2	Drenaje profundo.	99
4.4.3	Evapotranspiración.	104
4.4.4	Número de estratos	108
4.4.5	Calificación de susceptibilidad por la variable cobertura de la tierra	112
4.5	Valoración de la susceptibilidad por el atributo de suelos.	116
4.5.1	Textura.	117
4.5.2	Taxonomía	122
4.5.3	Profundidad	126
4.5.4	Tipo de arcilla	130
4.5.5	Drenaje natural	134
4.5.6	Susceptibilidad por suelos	138
5	QUINTO CAPÍTULO: ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ARGELIA	142
5.1	Comprobación con el inventario de movimientos en masa del SIMMA	147
6	CONCLUSIONES	149
7	RECOMENDACIONES	151
8	BIBLIOGRAFÍA	152

RESUMEN

El presente estudio de caso, busca implementar una metodología para la zonificación de la susceptibilidad ante movimientos en masa en el municipio de Argelia, departamento del Cauca, a partir de la modificación del trabajo planteado por el servicio geológico colombiano, para la elaboración de mapas de susceptibilidad y amenaza relativa a escala regional, publicado en el año 2013, donde se plantea una metodología basada en el método Heurístico, para los acercamientos a la zonificación de susceptibilidad a los movimientos en masa, en ella se involucran aspectos metodológicos como las variables de Geología, Geomorfología, cobertura Vegetal y Suelos, que se analizan con procesos de evaluación Multicriterio.

La metodología de evaluación de la susceptibilidad para la escala de trabajo es altamente aceptable, sin embargo, tiene la limitación, no presenta estudios geotécnicos de mayor escala que permitan categorizar con mayor precisión el modelo de susceptibilidad que para tal efecto solo se analizaron los factores condicionantes de la susceptibilidad a la amenaza por movimientos en masa.

Los resultados logrados con este trabajo al ser contrastados con procesos de remoción en masa evidenciados con anterioridad en el municipio, tiene una alta correspondencia, el cual valida el modelo implementado que puede ser punto de partida para elaboración de trabajos con mayor nivel de detalle, así como también, aporta al proceso del conocimiento del riesgo como apuesta al mejoramiento de la información territorial pertinente para la planificación y ordenación del territorio orientada a la gestión del riesgo.

ABSTRACT

This case study seeks to implement a methodology for the zoning of susceptibility to mass movements in the municipality of Argelia, department of Cauca, based on the modification of the work proposed by the Colombian geological service, for the preparation of maps of susceptibility and relative threat on a regional scale, published in 2013, where a methodology based on the Heuristic method is proposed, for approaches to the zoning of susceptibility to mass movements, it involves methodological aspects such as Geology variables , Geomorphology, Vegetal cover and Soils, which are analyzed with multi-criteria evaluation processes.

The susceptibility evaluation methodology for the work scale is highly acceptable, however, it has the limitation, it does not present larger-scale geotechnical studies that allow the susceptibility model to be categorized with greater precision, for which only the conditioning factors were analyzed. susceptibility to mass movement threat.

The results achieved with this work, when contrasted with mass removal processes previously evidenced in the municipality, have a high correspondence, which validates the implemented model that can be a starting point for the elaboration of works with a greater level of detail, thus as well, it contributes to the risk knowledge process as a bet to improve the pertinent territorial information for the planning and organization of the territory oriented to risk management.

INTRODUCCIÓN

Colombia en los últimos años, ha sido uno de los países más vulnerables a desastres de origen natural en América. Un informe presentado en septiembre de 2008 por la Dirección Nacional de Planeación (DNP) revela que en promedio cada año ocurren 597 desastres en Colombia, superando a Perú (585), México (241) y Argentina (213). (Vanguardia, 2009, citado por Medida, Yeidi, 2017). Los desastres han dejado huella en la mente de los colombianos por el dolor y la impotencia ante un fenómeno que no se puede controlar cuando las condiciones están dadas para que se presenten. El evento natural que ha generado más daños en los países en vía de desarrollo, han sido los deslizamientos de tierra, los cuales ocasionan más catástrofes que cualquier otro tipo de desastre natural, Guzzetti et al. (1999). Éste tipo de eventos y desastres se han incrementado a causa de la mayor exposición de la población, los cambios en el uso del suelo y el cambio climático.

El municipio de Argelia no es ajeno a estas problemáticas derivada u originadas en el sistema natural, pues reposa sobre rocas sedimentarias y una geomorfología que favorece la activación de distintos fenómenos de movimientos en masa, como flujos y caídas. En esta morfodinámica convergen varios factores condicionantes como son la geomorfología el uso del suelo, la composición geológica, las pendientes, entre otros; que, al combinarse con factores detonantes como hidrológicos, sísmicos, antrópicos y la precipitación originan eventos que afectan tanto el entorno como a la población en sí. Daños que resulta muy costoso para reparar, por tal motivo Desde las instituciones educativas se ha intentado aportar al conocimiento de este tipo de eventos, por ejemplo, evaluando la distribución espacial de la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y el riesgo a fin de aportarle a la sociedad herramientas de soporte para la prevención y mitigación

Con base a lo mencionado anteriormente, surge la iniciativa de saber dónde pueden ocurrir estos fenómenos, mediante la elaboración de un mapa de zonificación de

susceptibilidad a los movimientos en masa aplicando las herramientas SIG. El presente estudio se desarrolla a una escala regional, que a pesar de sus limitaciones por precisión o escala detallada, es útil como herramienta informativa con la cual se pueden definir políticas locales que contribuyan a los procesos de gestión del riesgo, principalmente al conocimiento, por parte de las entidades administrativas locales

La ejecución de éste trabajo se constituye en tres fases, la primera en la búsqueda de información secundaria y la identificación del modelo a emplear, el cual fue el método Heurístico combinado con análisis Multicriterio APH (Anlityc Hierarchy/Network Process), la segunda fase es establecimiento del modelo espacial mediante la matriz de satty, en el que se expresaron las respectivas ponderaciones de cada variable de análisis que estructura el modelo y la tercera fase es el procesamiento cartográfico en el que se obtuvieron los mapas finales

Cabe aclarar que el método que se empleó solo adoptó los elementos condicionantes para hacer el cálculo de susceptibilidad, pues los detonantes hacen parte del cálculo de amenaza, que está fuera del alcance del presente estudio.

1 PRIMER CAPÍTULO: ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se describen las características generales del municipio, tales como su localización, las generalidades del municipio, tales como, la hidrografía, el sistema ambiental y el clima, también se esboza de manera simple los antecedentes relacionados con los movimientos en masa en el municipio de Argelia

1.1 Localización

Según el plan de desarrollo “Liderazgo diferente para Argelia” (2016) El municipio de Argelia se localiza al sur occidente del Departamento del Cauca, entre las siguientes coordenadas geográficas, al norte entre los 2°10’ y los 2°32’ y al oeste entre los 77°23’ y las 77°09’ del meridiano de Greenwich, y según la cartografía básica del IGAC. Las

coordinadas planas son: 728.000-770.000 N y 970-000995.000E (cartografía IGAC). Sobre el Piedemonte Pacífico en un nudo de montañas que conforman el macizo del Micay donde nacen ríos importantes como Napi, Guapi, Timbiquí, El Plateado y San Juan del Micay. Presenta una distancia de 185,7 km hacia la ciudad de Popayán y 768,4 km de distancia hasta Bogotá.

El municipio de Argelia está dividido en once corregimientos, y 83 veredas, como se muestra a continuación:

- Argelia: Cabecera Municipal, El Plan, Zarzal, la Esmeralda, la Esperanza, la Floresta, la Cabaña, Puente Tierra, la Laguna, el Paramillo, los Alpes, Altamira, Botafogo, Campo Bello, El Crucero, las Perlas, Miraflores, el Corazón, El Porvenir, La Cabaña, Miro lindo, La Ceiba, Villanueva, la Primavera.
- El mango: Cabecera el Mango, Campo Alegre, Cristales Alto, Cristales Bajo, El Bujío, La Cumbre, La Grecia, La Marqueza, La Mina.
- El Diviso: Centro Poblado El Diviso, el Diamante, la Guinea, el Palmar y Lucitania.
- El Naranjal: El Naranjal, Las Palmas, Las Pilas.
- El Sinai: Centro Poblado El Sinaí, la Playa, Mundo Nuevo, el Cedro, el Encanto, Desiderio Zapata.
- La Belleza: Centro Poblado, la Libertad, la Delgadita, el Guayabal.
- Puerto Rico: Centro Poblado, El Guayabal, los Pinos, los Picos, Tambo Largo, Buena Vista.
- Santa Clara: El Pinche, Las Vegas, Santa Clara.
- El Plateado: Centro poblado El Plateado, Buena Vista, La Ceiba, La Leona, San Antonio Alto, San Antonio Medio, Pambilal, Pepinal, Hueco Lindo.
- La Emboscada: Centro Poblado, Llano Grande, San Antonio Bajo, Agua Clara, Angosturas, Bello Horizonte, la Cristalina, el Difícil, San Francisco.

- San Juan De La Guadua: Centro Poblado, Buenos Aires, , La Arboleda, Mesón Alto, Mesón Bajo, Nuevo Horizonte, San Juan De Cucho, San Juan De La Florida, San Juan De La Guadua.
- San Juan de La Florida (la montaña): Centro Poblado la Florida, Ángeles, Bolivia, Cañaverál, El Edén, El Placer, Betania, el Limón, el Bellezo.

1.2 Generalidades del municipio

- **Ambiente natural:** Ambientalmente, el municipio de Argelia, se encuentra localizada en el Ecosistema Estratégico del Choco Biogeográfico, entre una cota máxima de 3.450 metros y una cota mínima de 800 metros, con climas que van de páramo a caliente y niveles de precipitación anuales superiores a 3.000 milímetros (EOT). Argelia se encuentra constituido por una cadena montañosa, donde se destaca el conjunto orográfico de la cordillera Occidental, que ha iniciado el desprendimiento de la cordillera de los Andes, y la serranía de El Pinche que abarca otra parte del Municipio, y da como resultado una zona geomorfológica bastante accidentada.
- **Climatología:** La climatología en el municipio de Argelia se caracteriza por presentar cuatro tipos de climas: clima muy frío húmedo, clima frío húmedo, clima medio húmedo y clima cálido húmedo. El clima muy frío húmedo se encuentra principalmente en la cima de los cerros de California, Páramo, Paramillo, del Pinche, Pelado, Lora, Ramos, San Pedro y Plateado, cuyas alturas sobre el nivel del mar oscilan entre 4000 y 3000 metros. Las características principales corresponden a lugares ubicados en las partes altas de la cordillera, áreas de páramo y subparamo, con temperaturas entre los 6°C y 12°C, Presentan permanente nubosidad, lluvias frecuentes y abundantes y neblina constante. El clima frío húmedo se presenta en los lugares de limite en la carretera con el municipio de Balboa, Los Alpes, El Chirriadero, al igual que

otros que se encuentran entre los 3000 y 1900 metros de altura. El clima medio húmedo se encuentra en zonas entre los 1000 y 2000 metros de altura con temperaturas que oscilan entre 18°C y 24°C. Finalmente, el clima cálido húmedo se encuentra en zonas ubicadas entre los 0 y 1000 metros de altura con temperaturas superiores a los 24°C.

- **Hidrografía:** En cuanto a la Hidrografía se resalta que el municipio de Argelia posee una rica red hídrica, representada por la cuenca alta del río San Juan de Micay; que atraviesa al municipio de sur a norte con una longitud de 52.69 Km. y un área de 70.583 ha. (705.83 km²). La cuenca alta del río San Juan de Micay presenta forma alargada y está constituida por las micro cuencas de los siguientes afluentes: Río Puente Tierra, Quebrada Las Pailas, Río Guaitara, Río Plateado y los sectores entre las confluencias de las Quebradas Puente Tierra – Las Pailas y la confluencia del Río Plateado; conformando en conjunto la cuenta hidrográfica del municipio de Argelia

1.3 Antecedentes relacionados con los movimientos en masa en el municipio

Tanto las Amenazas Naturales como las de origen antrópico, se presentan en casi todo el municipio de Argelia, aunque es importante destacar que las acciones humanas que al interactuar con la naturaleza de los suelos y rocas, los procesos erosivos, y el uso y manejo inadecuado de los suelos, genera una alta susceptibilidad a los movimientos en masa. Estos procesos de remoción en masa se presentan en gran parte del municipio, debido a sus características geomorfológicas correspondientes a unidades de cordillera predominantemente, generando pérdidas tanto económicas y humanas, como fue el caso del evento ocurrido en el año 2020 en la vereda del Diviso bajo, en el cual murieron tres (3) personas y en otros eventos históricos.

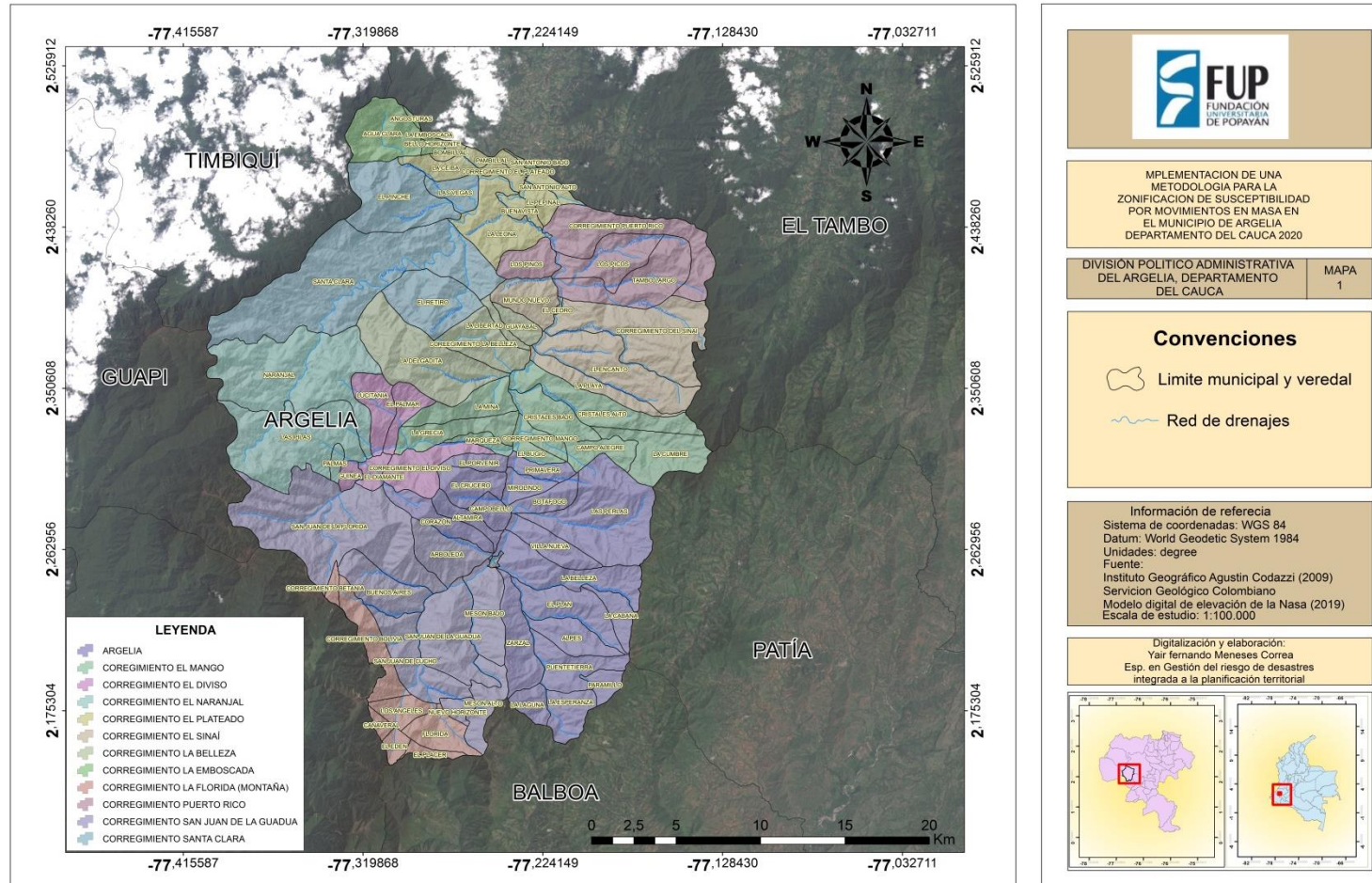


Figura 1. Mapa de localización del municipio de Argelia departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

2 SEGUNDO CAPÍTULO: MARCO TEÓRICO

La presente propuesta se encuentra en la línea investigativa de la gestión del riesgo de desastres, Según (Pava, Javier, 2019) esta se soporta en un amplio marco teórico desde las diferentes disciplinas del conocimiento y en constante evolución dada su relación directa con las transformaciones teóricas del desarrollo que contrasta con un marco conceptual estándar de definiciones y conceptos de la gestión del riesgo de desastres adoptados en la Ley 1523 de 2012, política nacional de gestión de riesgos de desastres y aplicadas específicamente en los instrumentos de planificación de desarrollo y el ordenamiento territorial.

La gestión del riesgo de desastres bajo la política pública, hace referencia a un proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, con el ánimo de impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación. La gestión del riesgo, basada en procesos, se introduce bajo la consideración dada por las tendencias modernas de gestión, en que un resultado deseado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso, el cual consiste en un conjunto de actividades interrelacionadas para generar valor, transformando insumos en productos (UNGRD, 2012). El componente de procesos define el Marco General de la Gestión del Riesgo, que permite lograr los objetivos del territorio con miras a adelantar su proceso de desarrollo en función del riesgo y así contribuir a su sostenibilidad, viabilidad como unidad territorial y logro del futuro deseado por la comunidad (UNGRD, 2012).

Para optimizar la planeación, ejecución y evaluación de las líneas de acción de la gestión del riesgo, se aplica el enfoque de procesos que se fundamentan en: 1) El conocimiento del riesgo; 2) la reducción del riesgo y, 3) el manejo de los desastres. Dichos procesos no son independientes, por el contrario, son continuos y dependen unos de otros; por

ejemplo, no se puede entender el manejo de desastres o la reducción del riesgo, sin que previamente exista una gestión del conocimiento sobre el riesgo de desastres.

Con base a lo mencionado anteriormente, el conocimiento del riesgo como proceso de la gestión, está compuesto principalmente por dos factores, las cuales son las amenazas y las vulnerabilidades de los elementos expuestos ante algún tipo de amenaza, cada una presenta diferentes metodologías y procesos para sus respectivos análisis, el conocimiento del riesgo se fundamenta especialmente en el análisis de un factor de la amenaza, siendo así el modelo de susceptibilidad por movimientos en masa un punto de partida para el análisis de la amenaza propiamente, es decir, la susceptibilidad no se configura como la amenaza en sí, pero esboza de forma general las dinámicas intrínsecas que las condicionan como factor amenazante

Como bien mencionamos anteriormente la propuesta investigativa, se encuadra dentro del proceso del conocimiento del riesgo, pues obedece a la aplicación de la metodología heurística, basada en el análisis Multicriterio y operatización con los Sistemas de Información Geográficos para la identificación de las áreas que por sus características intrínsecas se consideran como susceptibles ante los movimientos en masa.

Para un mejor desarrollo y conceptualización de esta investigación, es necesario describir de manera clara y concisa los términos empleados en este texto, con el fin de que el escrito sea más fácil de comprender:

2.1 Gestión de riesgos de desastres y movimientos en masa

Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

- **Amenaza:** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una

severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.” (Ley 1523 de 2012).

➤ **Marco Normativo**

A raíz de varios eventos ocurridos en el país como los deslizamientos de Quebrada Blanca (1974) y del Guavio (1983) o los terremotos en la Costa Pacífica (1979) y Popayán (1983), el Gobierno Colombiano decidió incluir los desastres naturales en la legislación. En 1988 la Ley No. 46 “Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, se otorga facultades extraordinarias al Presidente de la República y se dictan otras disposiciones” (Congreso de Colombia, 1988) fue una de las primeras aproximaciones en la estructuración de un sistema de planeación. En esta Ley se fijan los objetivos del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, el cual está constituido por un conjunto de entidades públicas y privadas, y se da una jerarquización a nivel territorial para la prevención y atención de desastres. Mediante el Decreto 919 (Presidencia de la República, 1989) se organiza el Sistema Nacional para la Prevención de Desastres, se tiene en cuenta el componente prevención de desastres en los Planes de Desarrollo de las entidades territoriales, se establece el análisis de vulnerabilidad como medida en la ejecución de obras civiles y se dictan otras disposiciones. Dicho decreto codifica todas las normas vigentes para la época y en consecuencia deroga la Ley 46 de 1988. Tras la creación del Sistema Nacional de Vivienda de Interés Social mediante la Ley de 1993, el Decreto 0004 del mismo año (Presidencia de la República, 1993) -que reglamenta parcialmente dicha ley- considera las zonas de riesgo, las cuales son estudiadas por la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Ese mismo año se creó el Ministerio de Ambiente, se reordenó el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organizó el Sistema Nacional Ambiental - SINA, a través

de la Ley 99 (Congreso de la República, 1993), entre los principios generales ambientales la política ambiental colombiana contempla la prevención de desastres como una materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento; cabe anotar que en el título IV se establecen las Corporaciones Autónomas Regionales. La Ley 388 (Congreso de la República, 1997), tiene entre sus objetivos establecer mecanismos que permitan al municipio promover el ordenamiento de su territorio y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo. En el capítulo III de dicha ley (Reglamentado por el Decreto 879 de 1998), se normativizan los Planes de Ordenamiento Territorial -ya referidos previamente en la Ley 152 de 1994, Artículo 41- como instrumentos básicos para desarrollar el ordenamiento del territorio municipal. Una de las determinantes de los denominados POT consiste en políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales.

El 7 de diciembre del año 2010, debido a la alta tasa de precipitaciones presentadas en el país durante el Fenómeno de la Niña -mismo evento que generó el movimiento en masa en Gramalote-, fue declarada la “situación de desastre nacional en el territorio colombiano”, mediante el Decreto 4579 (Presidencia de la República, 2010), así como “el estado de emergencia económica, social y ecológica por razón de grave calamidad pública”, en el Decreto 4580 (Presidencia de la República, 2010). Finalmente, la Ley 1523 del 2012 “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”, define la gestión del riesgo de desastres como un “proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres” (Congreso

de la República, 2012); Además establece responsabilidades y principios de la gestión del riesgo y constituye el Sistema Nacional del Gestión del Riesgo de Desastres como conjunto de entidades tanto públicas como privadas. Adicionalmente en el documento, se instauran instrumentos de planificación, sistemas de información, mecanismos de financiación para la gestión el riesgo y aspectos asociados a la declaratoria de situaciones de desastre y calamidad pública.

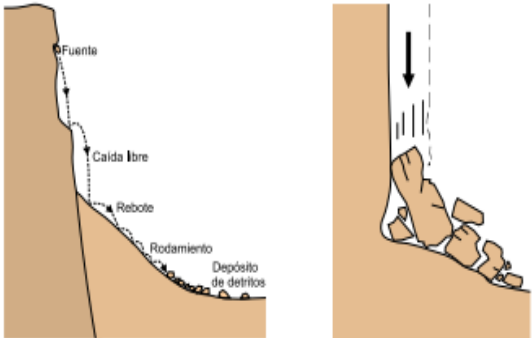
- **Marco Referencial:** Para la elaboración de la investigación se tomó como referencia el proyecto denominado SIG para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Campoalegre, del año 2013, en el cual utilizaron para el modelo de susceptibilidad el método multicriterio de jerarquías que asigna valores de 1 a 5 siendo 1 el menos susceptible y 5 el mayor valor de susceptibilidad, también se tiene como referente el proyecto zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa. Comparación de resultados a partir de cartografía base del IGAC y cartografía base obtenida mediante vehículos tripulados remotamente (rpas). caso de estudio: cabecera municipal de Cisneros, Antioquia del año 2018, en el que emplean un modelo heurístico, así mismo se tiene en cuenta lineamientos institucionales tales como la guía metodológica para la zonificación de amenazas por movimientos en masa elaborados por el servicio geológico colombiano.
- **Marco Histórico:** El procesos de gestión del riesgo en el municipio de Argelia es muy débil, pues no cuenta con las condiciones técnicas y financieras para su adecuada implementación, en cuanto al conocimiento del riesgo no se han realizado análisis espaciales referente a los movimientos en masa y sus elementos expuestos, por tal motivo esta investigación es un punto de iniciación para posteriores estudios que robustezcan el proceso de conocimiento, reducción y manejo de los riesgos de desastres a nivel local.

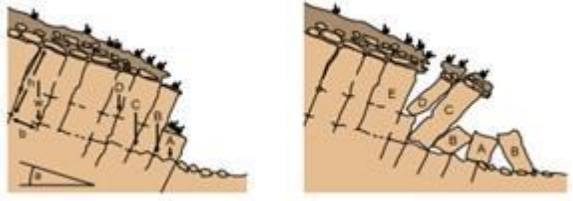
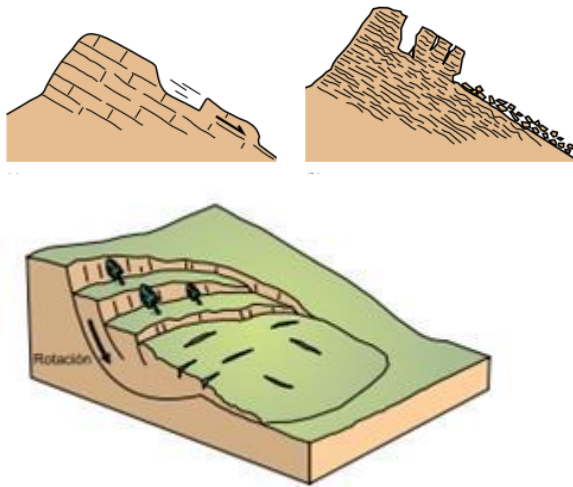
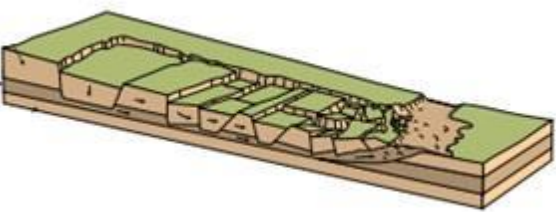
2.2 Susceptibilidad a los movimientos en masa

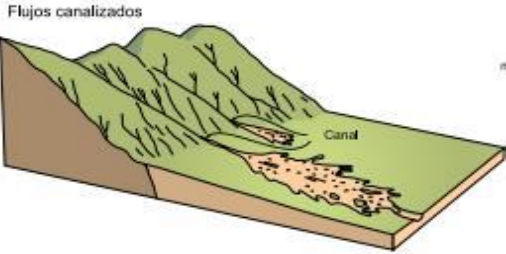
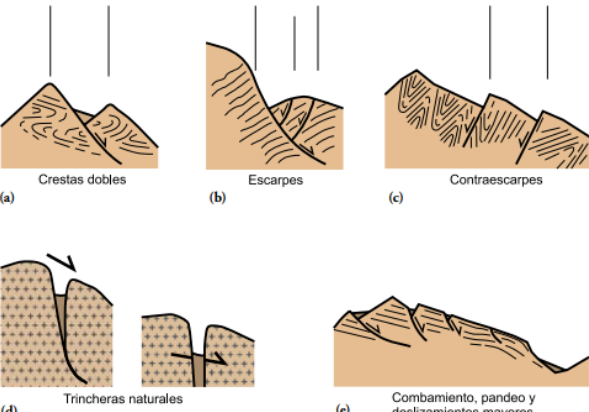
- **Movimientos en masa:** Son aquellos movimientos de ladera debajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. De igual manera, equivale a definiciones tales como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa o fallas de taludes y laderas (SGC, 2013). El origen de estos fenómenos se encuentra ligado a procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que tienen lugar en la corteza terrestre como producto de la interacción entre la hidrósfera, atmosfera y corteza (PMA: GCA, 2007).

Es posible encontrar muchas clasificaciones de movimientos en masa, las cuales se centran en el tipo de materiales, en los mecanismos de movimiento y en el grado de deformación y saturación. Uno de los sistemas de clasificación más ampliamente aceptado es el de Varnes (1978), quien emplea como criterios de clasificación tanto el tipo de movimiento como el tipo de material, dividiendo los movimientos en masa de la siguiente manera:

Tabla 1. Tipos de movimientos en masa

FIGURA	CARACTERÍSTICAS	VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO
<p>CAIDA</p> 	<p>Desprendimiento de uno o más bloques de roca o suelo de una ladera. El material cae desplazándose principalmente por el aire, pudiendo generar rebotes, volcamientos y rodamientos. Este no es un movimiento de tipo masivo.</p>	<p>Rápido a extremadamente rápido</p>

<p>VOLCAMIENTO</p> 	<p>Rotación de uno o varios bloques de roca o suelo alrededor de un punto en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas</p>	<p>Lento a gradual</p>
<p>DESLIZAMIENTO</p> 	<p>Es un movimiento ladero, abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, rotacional (superficie de falla cóncava o curva) y traslacional (superficie de falla plana u ondulada)</p>	<p>Traslacional: Rápida a extremadamente rápida. Rotacional: de lenta a rápidamente</p>
<p>PROPAGACIÓN LATERAL</p> 	<p>Este desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. Se distinguen dos tipos de propagación, uno en el que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas, y otro que ocurre en suelos cohesivos que sobreyacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico.</p>	<p>Extremadamente lento.</p>
<p>FLUJOS</p>	<p>Tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser saturado o seco. En muchos casos, se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya</p>	<p>Rápido o lento.</p>

	<p>sea un deslizamiento o una caída. Se clasifican como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flujo de detritos. - Crecida de detritos. - Flujo de lodo. - Flujo de tierra. - Deslizamiento por flujo. - Avalancha de detritos. 	
<p>DEFORMACIONES GRAVITACIONALES PROFUNDAS</p> 	<p>Presentan rasgos de deformación, pero sin el desarrollo de una superficie de ruptura definida.</p>	<p>Muy baja magnitud de velocidad y desplazamiento.</p>

Fuente: Tomado de PMA: GCA, 2007.

- **Susceptibilidad a la amenaza:** La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso determinado, en este caso MM (Ayala-Carcedo, 2002). Se entiende a este último como todo volumen de roca, suelo o una mezcla de ambos, que se moviliza lenta o rápidamente debido a la acción de la gravedad (por ejemplo, deslizamientos, derrumbes, desprendimientos, caídas de rocas, flujos de detritos, etc.). La estimación de la susceptibilidad se basa en la correlación de los principales factores (intrínsecos) que contribuyen a la formación de MM. Los mapas de susceptibilidad se realizan a partir de datos cartográficos de tipo topográfico, geomorfológico, litológico, estructural, vegetación, uso de suelos y otros (Ayala-Carcedo, 2002). Estos parten del análisis de las condiciones actuales existentes de

los MM, para, extrapolando los resultados de este análisis, confeccionar el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (MSMM).

2.3 SIG aplicados al análisis de los movimientos en masa

- **Los Sistemas de Información Geográfica (SIG):** son el resultado de la aplicación de las llamadas Tecnologías de la Información a la gestión de la Información Geográfica. Los SIG gestionan Información Geográfica, es decir información georreferenciada. La definición más extendida de SIG con pequeñas variaciones, es la establecida por el Departamento de Medio Ambiente, Burrough, Goodchild, Rhin y otros, la cual podemos sintetizar diciendo que un SIG es un Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar, mostrar y transferir datos espacialmente referidos a la Tierra (Gutierrez, Javier. 1994).
- **Análisis Multicriterio:** La evaluación multicriterio (y multiobjetivo) es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones (Barredo, 1996)
- **Análisis jerárquico:** Dentro de la evaluación multicriterio, una de las técnicas más usadas es el proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) desarrollado por el matemático Thomas Saaty que consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico. El propósito del método es permitir que los agente decisores (expertos consultados) puedan estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico.

3 TERCER CAPÍTULO: METODOLOGÍA

Existen una gran variedad de técnicas de evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa, estas se pueden agrupar en: metodologías heurísticas, basadas en el entendimiento de los procesos geomorfológicos que actúan sobre el terreno; metodologías estadísticas, basadas en predicciones estadísticas por combinación de variables generadoras de deslizamientos en el pasado y metodologías determinísticas, basadas en modelos de estabilidad. El tipo de metodología se determina de acuerdo al alcance del estudio.

Para efectos del presente estudio se optó por aplicar el método heurístico este se destaca por una rápida evaluación de las condiciones de estabilidad de un área dada considerando una gran cantidad de factores condicionantes para la susceptibilidad y los detonantes para la amenaza relativa

3.1 Fase I: Estudio preliminar

Como etapa inicial se realizó el estudio del método obtener la zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el municipio de Argelia, entre ellos se hizo la selección del método de zonificación.

- **Método de zonificación:** La selección del método de zonificación más adecuada dependió de factores como la disponibilidad y calidad de la información, los resultados planteados, escala de la zonificación, etc. Teniendo en cuenta que la escala de estudio es pequeña, la susceptibilidad se evaluó con un método básico como el análisis heurístico, el cual permite obtener un zonificación preliminar de susceptibilidad, combinado con un análisis Multicriterio APH (Anlytic Hierarchy/Network Process) y la aplicación de las herramientas de información geográficas (SIG) a los movimientos en masa.

El método Heurístico se basa en la asignación subjetiva de pesos o valores a los factores relevantes y a las subclases para obtener una suma de susceptibilidad a amenaza relativa. Se pueden realizar dos tipos de análisis heurísticos, mediante el

análisis geomorfológico y mapa de combinación cualitativo. Por la disponibilidad de la información de la zona de estudio se optó por el método basado en combinación de mapas cualitativos, en estos mapas se asignan pesos en una serie de mapas de parámetros. Las condiciones del terreno de un gran número de sitios se suman de acuerdo con estos pesos para obtener valores de susceptibilidad que se puedan agrupar en clases. En ese sentido, el análisis heurístico requiere un grado de subjetividad, lo cual no permite realizar una comparación de estudios realizados por diferentes autores de cualquier área de estudio (Hervás et al. 2002) y por (Yalcin et al. 2008).

- **Recopilación de la información:** Esta etapa se constituyó en la puerta exploratoria y de análisis de requerimientos de información relacionada con la susceptibilidad a movimientos en masa. Para desarrollar esta fase se consultaron y obtuvieron mapas temáticos, estudios físicos de la zona de estudio, sensores remotos y eventos de deslizamientos en la zona.
 - **Geología:** para la identificación y análisis de esta variable en el municipio de Argelia, fue necesario recopilar la información geológica de las planchas 341 y 363 levantadas por el servicio geológico colombiano a escala 1:100.000, posteriormente se realizó la categorización y calificación de las características geológicas de la zona en función de la susceptibilidad a movimientos en masa
 - **Geomorfología:** la información geomorfológica se recopiló del estudio realizado por el instituto geográfico Agustín Codazzi, denominado “Estudio general de suelos y zonificación de tierras en el Departamento del Cauca” es de resaltar que el estudio se levantó a una escala de 1: 100.000, de dicho estudio se tomó como referencia el componente geomorfológico, integrando y codificando las variables de paisaje, relieve y litología, adicionalmente para el análisis de las variables resultantes de los cálculos geométricos tales como la morfometría se empleó un DEM de 12,6 metros por pixel, tomando por el sensor Alos Palsar de la Nasa, se reclasificaron de acuerdo a las categorías

estipuladas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para el caso de las pendientes.

➤ **Cobertura vegetal:** para el análisis de la cobertura vegetal se descargaron imágenes del sensor Sentinel 2B de resolución de 12 metros por pixel, posteriormente se hizo el procesamiento de calibración radiométrica y la corrección atmosférica atmosférico de las imágenes, este proceso se realizó debido a que los datos obtenidos mediante sensores remotos ópticos son valores o Niveles Digitales (ND), dichos niveles no representan de manera directa ninguna variable biofísica y , por tanto, no es conveniente que se obtenga ningún índice espectral usando dichos valores crudos. Posteriormente se realizó la clasificación de la cobertura vegetal según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia con la imagen de reflectancias producto de la corrección atmosférica.

➤ **Suelos:** para el análisis y descripción de esta variable se tomó como referente bibliográfico y cartográfico el estudio general de suelos para el departamento del Cauca, desarrollado por el IGAC en el año 2009, a partir de este se obtuvieron los mapas temáticos que comprende esta variable.

3.2 Fase II: Planificación y diseño del modelo espacial

El primer paso fue a generación de valores espaciales de susceptibilidad de cada uno de los factores del área de estudio según las variables que componían cada factor. Estos valores se generaron mediante las matrices de Saaty, según mayor o menor predisposición al movimiento de ladera. Después se procesaron las capas .shp con diferentes herramientas hasta generar capas Raster con valores de píxeles coherentes con las variables de cada factor.

➤ **Proceso analítico jerárquico (AHP).**

El AHP se basó en la estructuración jerárquica y comparación de pares de alternativas y permitió, mediante la realización de una matriz de doble entrada

(matriz de comparación pareada o matriz de Saaty), generar la calificación del grado de incidencia que un factor tiene sobre los otros.

El primer paso en AHP es desarrollar una representación gráfica del problema, en función de la meta general, de los criterios y de las alternativas de decisión. (ver figura 1) Este tipo de gráfica pone de manifiesto la jerarquía del problema, muestra la jerarquía para la elaboración del mapa de susceptibilidad. El primer nivel de la jerarquía indica que la meta general es seleccionar el mapa de susceptibilidad. En el segundo nivel, los cuatro criterios (geología, geomorfología, cobertura vegetal y suelos) contribuirán a lograr la meta general. Finalmente, en el tercer nivel, cada atributo contribuye de manera única a cada uno de los criterios

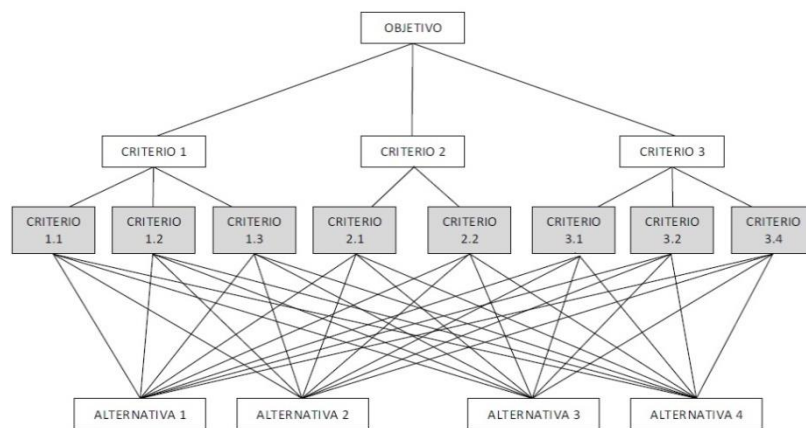


Figura 2. Ejemplo de estructura jerárquica AHP

Fuente: (Saaty, 1980)

Una vez definida la estructura jerárquica, se comparan los criterios de cada grupo del mismo nivel jerárquico y la comparación directa por pares de las alternativas respecto a los criterios del nivel inferior. Para ello se utilizan matrices de comparación pareadas usando una Escala Fundamental (Ver figura 1). Esta es la clave del método, usar una escala de comparación por pares, puesto que el cerebro humano está especialmente bien diseñado para comparar dos criterios o alternativas entre sí, pero menos cuando tiene que hacer comparaciones conjuntas.

Escala de valoración de la importancia de un criterio X sobre un criterio Y								
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante				Igual importancia	Más importante			

Figura 3. Escala de preferencia o importancia dentro del proceso analítico jerárquico
Fuente: Dpto. Métodos Estadísticos. Facultad de Económicas.
Universidad de Zaragoza.

Siguiendo el procedimiento planteado, se realiza la comparación por pares de criterios, para calificar cada uno de acuerdo con la importancia relativa de un criterio respecto a otro; esto se desarrolla para el total de los criterios definidos para el análisis mediante un taller donde cada criterio se califica por pares usando una escala de importancia que se presenta en la figura 2.

Tabla 2. Matriz de criterios en comparación por pares

MATRIZ DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO SEGÚN METODO AHP				
	GEOLOGIA	GEOMORFOLOGÍA	COBERTURA VEGETAL	SUELO EDÁFICO
GEOLOGIA	1	1	1/3	1/3
GEOMORFOLOGÍA	3	1	5	1/3
COBERTURA VEGETAL	5	9	1	5
SUELOS	1	1/3	1/3	1

Fuente: Elaboración propia

La entrada de datos en esta herramienta fue la matriz de comparación de pares de criterios, la cual se normalizó por columna (Ver tabla 2) (se dividió el valor de cada casilla de la matriz entre el total de la sumatoria de la columna a la cual pertenecía dicho valor). A partir de la matriz normalizada, se obtuvo el llamado vector de

prioridad asociado, que representó los pesos de cada uno de los criterios considerados. (ver tabla 3)

Tabla 3. Normalización de la matriz de criterios

	GEOLOGIA	GEOMORFOLOGÍA	COBERTURA VEGETAL	SUELO EDÁFICO	SUMA FILAS	VECTOR PROPIO
GEOLOGIA	0,1	0,088235294	0,05	0,05	0,28823 529	0,07
GEOMORFOLOGÍA	0,3	0,09	0,75	0,05	1,18823 529	0,30
COBERTURA VEGETAL	0,5	0,794117647	0,15	0,75	2,19411 765	0,55
SUELO EDÁFICO	0,1	0,029411765	0,05	0,15	0,32941 176	0,08

Fuente: Elaboración propia

El AHP ofrece un método para medir la consistencia entre las opciones pareadas que proporciona el decisor, si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión, si el grado de consistencia es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y posiblemente modificar sus juicios sobre las comparaciones pareadas antes de continuar con el análisis

- **Calculo de la razón de consistencia:** Se estima la consistencia o coherencia de la evaluación llevada a cabo en la estimación de los coeficientes de la matriz de comparaciones, mediante la adaptación de la razón de consistencia (RC) propuesta por Saaty (1981), según la siguiente expresión:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Donde, IC es el “Índice de Consistencia” de la evaluación, definido como (Ormazábal, 2002):

$$IC = \frac{\lambda \max - n}{n - 1}$$

De otra parte, el término IA es el “Índice de Aleatoriedad”, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IA = \frac{1.98(n - 2)}{n}$$

Como mencionamos anteriormente, El coeficiente RC expresa un valor relativo de la inconsistencia, de manera que si su valor es 1 indica que su inconsistencia es del 100%, y si es 0, el juicio emitido es totalmente coherente. Teniendo en cuenta lo recomendado por Saaty (1981), se acepta una tolerancia del RC del 10% (o un valor de menor o igual de 0.1) para calificar de buena una ponderación, siendo aceptables resultados hasta del 15%. Si el resultado no es suficientemente coherente (RC>15%) deberá volverse a realizar la valoración por pares, repitiéndose de forma iterativa hasta que el RC sea menor a 0.15. En la Tabla 4 se presenta la relación de consistencia para los criterios utilizados para el mapa de susceptibilidad.

Tabla 4. Relación de consistencia para los criterios de Geología, Geomorfología, Cobertura vegetal, Suelos

Cocientes de criterios	λ	Coeficiente de consistencia CI	Índice de aleatoriedad IA	Relación de consistencia RC
7,33	8,05	1,35	0,99	0,13
12,66		$IC = \frac{\lambda \max - n}{n - 1}$	IA $= \frac{1.98(n - 2)}{n}$	$RC = \frac{IC}{IA}$
6,53				
5,66				

Fuente: Elaboración propia

- **Combinación lineal ponderada (WLC)** Una vez los criterios o variables de calificación han sido estandarizados o parametrizados y sus respectivos pesos han sido establecidos, se hace una composición con el método de la combinación lineal ponderada o WLC por sus siglas en inglés (Voogd, 1983), es

el más simple método para la agregación de los criterios de evaluación en un criterio de calificación. Así, según el método WLC, el índice de susceptibilidad a movimientos en masa (ISD) se obtiene de la suma de cada criterio de evaluación multiplicado por su respectivo peso (obtenido de la calificación AHP), es decir:

$$IS = \sum_{i=1}^n c_i \cdot v_i$$

Dónde:

IS = Índice de Susceptibilidad
 n = Número de variables
 c = Criterio de evaluación
 v = Peso de cada variable

Al aplicar la ecuación expuesta, basándonos en la ponderación resultado del método AHP, como lo muestra la tabla 4 es consistente, quedaría de la siguiente forma:

$$IS = Geología(0,07) + Geomorfología(0,3) + Cobertura Vegetal(0,55) + Suelos (0,08)$$

Tabla 5. Modelo de Matriz de ponderación multicriterio

TIPO	PARÁMETRO	PESO (%)
Intrínsecos	Geología	7
	Geomorfología	30
	Cobertura vegetal	55
	Suelos	8

Fuente: Elaboración propia

3.3 Fase III: Geoprocetamiento y estructuramiento cartográfico

Para el refinamiento y estructuramiento de la cartografía temática de cada una de las variables que están involucradas en la generación de procesos de movimientos en masa, Esta fase correspondió a la aplicación de la planificación y diseño que incluye elementos como selección de la información temática básica a utilizar, definición y parametrización de las variables y procesamiento de la información cartográfica que se visualiza en los mapas temáticos.

Se elaboraron 29 mapas temáticos en los que se representaran las variables y sub-variables que condicionan la susceptibilidad del terreno a presentar movimientos en masa con la respectiva zonificación, objetivo principal de la investigación que se planteó.

4 CUARTO CAPÍTULO: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ARGELIA.

A continuación se realiza la descripción de cada variable que conforma el modelo de susceptibilidad planteado en la investigación, posteriormente se realiza la respectiva calificación de los atributos o sub-variables que componen cada variable.

4.1 Marco geológico.

Por su ubicación en términos geográficos, el municipio de Argelia hace parte de una región Montañosa reciente y de gran actividad tectónica, puesto que está ligado la zona de subducción de la placa oceánica de nazca sobre la placa suramericana, cuyo plano de deslizamiento, Denominado plano de Bennioff (Valencia, Marcos 2016), es un foco de generación sísmica que se profundiza hacia el oriente bajo el sistema andino. Por ende es susceptible de ser afectada por movimientos en masa de diferente intensidad, originados principalmente por el basamento estructural de la zona, también por el sistema de fallas de profundidad variable que atraviesan tanto su territorio, como la región.

Como mencionamos anteriormente en la historia geológica del área que ocupa el municipio de Argelia en la Cordillera Occidental y su vertiente Pacífica se remonta al periodo cretáceo, en una dorsal oceánica en la que efusiones submarinas depositan basaltos cretáceos que se observan en las cordilleras, sobre ella se depositaron arcillas y sedimentos turbidíticos que constituyen la Formación Dagua. A partir del cretáceo tardío o el terciario temprano se produjo una ruptura en la placa sobre la que reposaban las unidades litológicas mencionadas, esta ruptura producto de esfuerzos compresivos, dio inicio al proceso de subducción en el cual se da cabalgamiento de la porción oriental de la placa. Producto de la subducción se da un intenso magmatismo con el consecuente emplazamiento de cuerpos intrusivos e intensa actividad ígnea que origina las rocas plutónicas y volcánicas terciarias de la actual Cordillera Occidental, los esfuerzos compresivos y la elevación de la temperatura metamorfosearon las rocas cretáceas. El intenso magmatismo originó paralelamente un arco de islas. En el terciario este arco de islas se aproximó al continente Suramericano ocasionando plegamiento al Este del arco

insular que fue paulatinamente emergido para formar la Cordillera Occidental, simultáneamente el frente magmático migró hacia el Oeste, hasta localizarse hacia el Oriente de la naciente cordillera. Los continuos esfuerzos comprensivos generaron grandes fallas inversas y plegamientos que afectaron las unidades litológicas presentes en la Cordillera Occidental. Durante el Cenozoico tardío y más específicamente en el Pleistoceno se originó un intenso vulcanismo posterior al levantamiento de la cordillera occidental. Además se generaron depósitos piroclásticos que llenaron los bajos topográficos.

Para la descripción de las unidades geológicas del municipio de Argelia, se empleó la información de las planchas geológicas 341 y 363 elaboradas por el servicio geológico colombiano con escala de 1:100.000, en el marco del proyecto “*investigación integrada del andén pacífico colombiano*” realizado en el año 2001, información con la que se pudo identificar las composiciones litológicas y las transformaciones que se han llevado a cabo en las diferentes eras geológicas, así mismo se idéntico la geología estructural que comprende la localización de las fallas geológicas presentes en el área de estudio, información que se resume en la tabla 6 y la figura 4.

4.1.1 Era cenozoica

el municipio de Argelia se encuentra influenciada en menor medida por los procesos geológicos de la era cenozoica o cenozoico el cual se inició hace 65 millones de año, era en que, Valencia (2016) considera que las actuales masas continentales eran ya identificables en su mayoría, pero sus posiciones relativas y sus formas se fueron modificando hasta llegar a la presente configuración geográfica. Es así que importantes desplazamientos horizontales de las placas, favorecidos por los procesos de expansión del fondo oceánico, dieron lugar a una sucesión de colisiones de diferentes tipos y características. Consecuentemente hubo cierres de mares y océanos y formación de cinturones orogénicos que involucraron intensas deformaciones, cabalgamientos y engrosamientos corticales. Esta dinámica provocó la paulatina modificación de la circulación oceánica, atmosférica e inclusive, importantes variaciones latitudinales de algunos continentes. Como bien se expresa en el cuadro 6, las eras geológicas, evolucionaron mediante fases cronogeológicas, identificable mediante los periodos expresados en millones de años, que

constituyen en sí, la totalidad cronológica de la era que se investiga. Según el estudio del servicio geológico colombiano, para el municipio de Argelia se identificó un (1) periodo, para la era cenozoica, el cual es el Paleógeno.

➤ **Periodo Paleógeno:** El Paleógeno o terciario temprano es un período geológico que inicia la era Cenozoica; comenzó hace $65,5 \pm 0,3$ millones de años y acabó hace 23,03 millones de años, con una duración de unos 43 millones de años, marcó un tiempo de transición en la historia de la Tierra. El cambio climático más profundo fue el enfriamiento de las regiones polares. En el ámbito global se formaron cadenas montañosas actuales en América del Norte (Sierra Nevada y Montañas Rocosas) y en Europa (Alpes, cadenas Ibéricas, Béticas, Pirineo y Cantábrica). Los sedimentos que registran estos y otros sucesos cenozoicos están, en su mayoría, no consolidados, a excepción de carbonatos y algunos siliciclásticos litificados. En el sur occidente colombiano, Para el Paleógeno Suárez, M. (2007).se registran depósitos marinos y deltaicos en la cuenca Tumaco (secuencias perforadas por los pozos Tambora-1 y Remolinogrande-1), marinos en la subcuenca San Juan (Formación Salaqui en el pozo Buchadó-1) y continentales (Fm. Mosquera) en la cuenca Cauca – Patía. En este periodo se identifica en el municipio de Argelia mediante la formación E3pad con depósitos de Rocas igneas Porfirias andecíticas

➤ **Pórfidos Andesíticos del Río Perlas (E3pad):** Parra & Velásquez (2002), definen como Pórfidos Andesíticos del río Perlas a los cuerpos intrusivos hipoabisales menores de 10 Km² que forman cerros de vertientes escarpadas, Algunos cuerpos son tan pequeños que no alcanzan a salir en el mapa respectivo, tales como silos y diques de 20 m de espesor que afloran en el cauce del río San Juan del Micay, las arcillolitas se encuentran fuertemente endurecidas por lo menos en un tramo de 5 m con formación de cornubianas de albita – epidota. Esta formación litológica se encuentra en las veredas de Puente Tierra, Alpes, villa nueva, la cumbre, el encanto y en mayor proporción en los cristales bajos. Toda esta unidad, abarca una

extensión de 1759,98 has, equivalentes al 2,27 % sobre el área total del municipio

4.1.2 Era mesozoica

A nivel del globo terrestre, entre los 230 y 245 millones de años, la Pangea se disoció nuevamente en varias unidades, cortadas por fallas y separadas por aberturas oceánicas. Estas aberturas se escalonan en el tiempo y se confrontan en la superficie terrestre, a la larga se contraponen pues la formación de un océano necesita el cierre de otro. Al final del mesozoico, se presentó mucha actividad tectónica, donde comienza el plegamiento de toda la gruesa sucesión de sedimentos con el retiro del mar de lo que es hoy la cordillera oriental.

➤ **Periodo Cretácico:** En el cretáceo Temprano se presentó un segundo periodo de acreción y la secuencia de piso oceánico Mesozoico inferior, este periodo Geológicos encontramos depósitos pertenecientes al Grupo Diabásico (K2db) y del Grupo Dagua (k2dg)

➤ **Grupo Diabásico (K2db):** Nelson (1962) es el primero en utilizar el término Grupo Diabásico, para referirse a los derrames diabásicos que se exponen en la cordillera Occidental, en algunos lugares, como en el municipio de Argelia se presentan con intercalaciones delgadas de sedimentos (pizarras silíceas o liditas, en ocasiones fosilíferas). Para este autor, las diabasas son rocas uniformes en composición, presentan variación a basaltos y se encuentran como silos o en la parte basal de los flujos de lavas almohadilladas. como parte de la Provincia Litosférica Oceánica Colombiana PLOCO, originada como basaltos de meseta oceánica *plateau*. Las rocas volcánicas del Grupo Diabásico ocupan principalmente el flanco occidental de la cordillera Occidental.

La unidad consta principalmente de diabasas, basaltos y lavas almohadilladas con algunas sedimentitas asociadas entre las que se encuentran limolitas silíceas, areniscas finas y calizas, es común encontrar zeolitas, prehnita y pumpellyta, lo cual es indicativo de metamorfismo de bajo grado.

Esta formación se localiza sobre parte de las veredas de el Naranjal, Santa Clara, en su totalidad las veredas El Pinche, Agua Clara, Bello Horizonte, Bombillal, La Ceiba, Las Vegas, La Leona, Cabecera del Plateado, Pepinal, Buena Vista, San Antonio Alto, San Antonio Bajo y la cabecera del Corregimiento de Puerto rico. Toda esta unidad abarca una extensión territorial de 14393,28 hectáreas, equivalente sobre el área total del municipio al 18,6 por ciento

- **Grupo Dagua (k2dg):** Nombre asignado por Nelson (1957), para describir una serie de filitas, calizas, areniscas, chert negro y pizarras silíceas, corresponden a una de las litologías más antiguas expuestas en la región y está compuesta en el municipio, por potentes secuencias de rocas sedimentarias pelíticas, de espesor variable, plegadas, fracturadas y con leves efectos de metamorfismo dinámico.

Esta unidad se localiza en la gran mayoría de las veredas del municipio, al norte se encuentra sobre el corregimiento de Santa Clara, Puerto Rico y Mundo Nuevo, en la parte centro se localiza en los corregimientos de El Naranjal, El Mango, El Diviso y La Belleza, en la parte sur del municipio de localiza en los corregimientos de la Florida, Cabecera Municipal y San Juna de la Guadua. Acaparando 61189,4 hectáreas, equivalentes al 79,1 por ciento sobre el área total del municipio.

Tabla 6. Unidades Geológicas identificadas en el Municipio de Argelia

ERA	PERIODO	EPOCA	LITOLOGIA	FORMACIÓN	AREAS	PORCENTAJE
Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno	Rocas igneas Porfirias andeciticas	E3pad	1759,98	2,27556252
Mesozoico	Cretáceo	Superior	Diabasas, Basaltos, lavas almohadilladas, brechas volcanicas, Niveles de rocas sedimentarias tales como lomolitas y filitas.	k2db	14393,28505	18,6097596
			intercalación de sedimentos con efectos dinámicos, lodolitas y areniscas	k2dg	61189,40451	79,1146778

Fuente: Elaboración propia

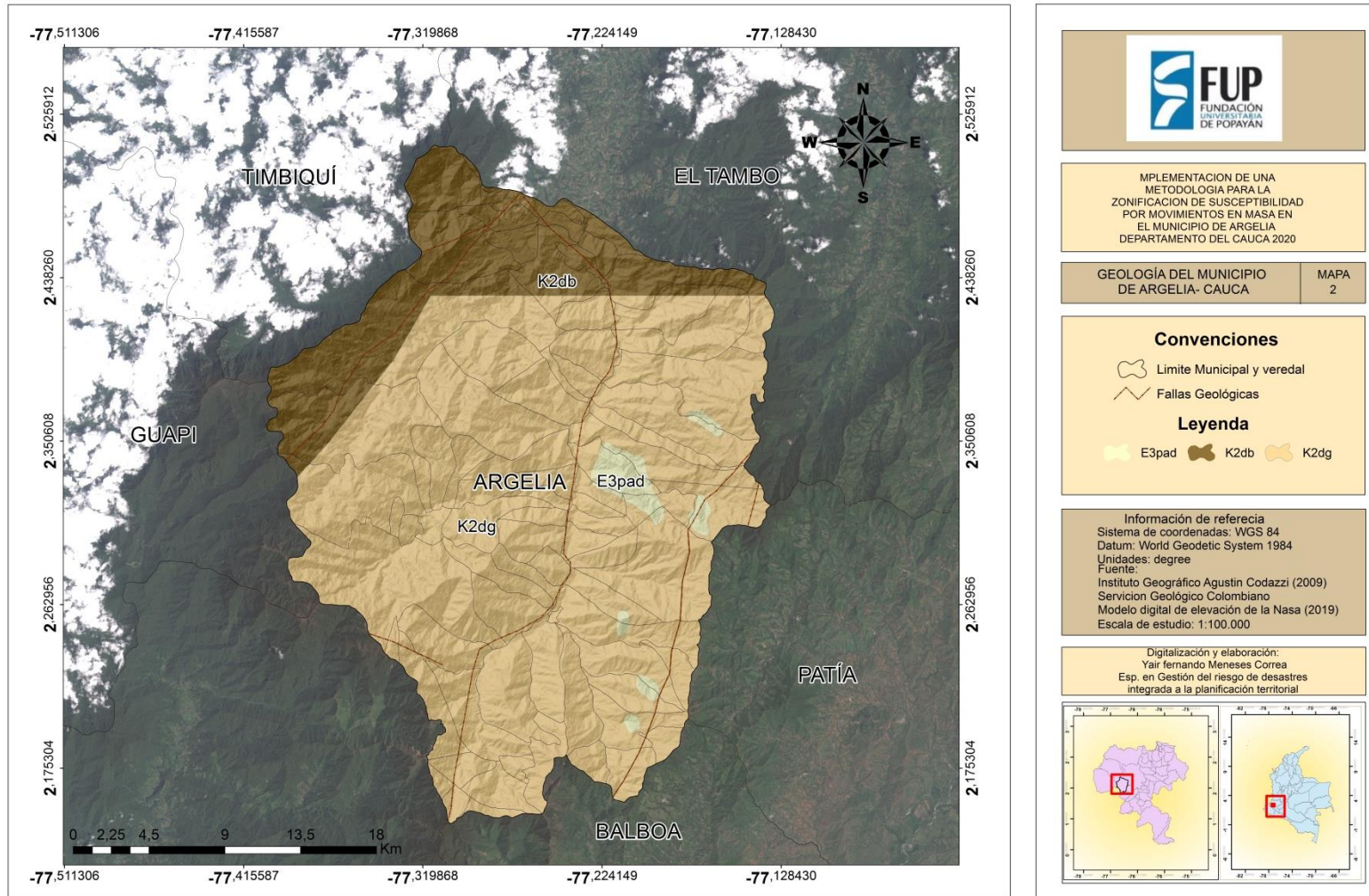


Figura 4. Mapa de unidades Geológicas presentes en el municipio de Argelia, departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.2 Valoración de la susceptibilidad por el atributo de Geología

Para el proceso de evaluación de la susceptibilidad del componente geológico, la caracterización Geológica debe contemplar los elementos básicos de las propiedades y características de los materiales rocosos. También es necesario anotar todas las discontinuidades estructurales, aquellas fallas de origen geológico que controlan estructuralmente el comportamiento de los macizos, los parámetros que se evalúan dada su incidencia en la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, son la densidad de fracturamiento de las rocas, resistencia y fábrica o estructura. A cada variable se le asignó un peso (ver figura 5)

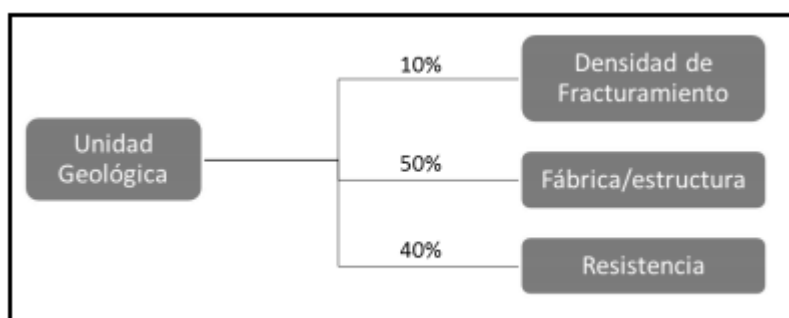


Figura 5. Ponderación de las sub-variables del atributo Geología

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2013)

4.2.1 Densidad de fracturamiento

Según el SGC (2013) El método utilizado para calcular la densidad de fracturamiento es el algoritmo line Density de ArcInfo, el cual es expresado en metros por kilómetro cuadrado, este método calcula la densidad de líneas en la vecindad de cada pixel definida por un radio de búsqueda, para esto a partir de cada centro se dibuja un círculo de radio R, se toma la longitud de la línea de falla que cae dentro de este círculo y se multiplica por el peso de la actividad, la suma total se divide entre el área del círculo (ver tabla 7 y figura 6)

Tabla 7. Rangos de densidad y clasificación de susceptibilidad a nivel nacional

Rango de densidad (m/km ²)		Valor de clasificación
0,089 – 2,215	Muy baja	1
2,215 – 3,809	Baja	2
3,809 – 5,404	Media	3
5,404 – 7,530	Alta	4
7,530 – 22,591	Muy alta	5

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2013)

4.2.2 Fabrica y estructura.

Según Mitchel el término “fábrica” se refiere al arreglo de partículas, grupos de partículas y espacios vacíos en un suelo. El término “estructura” es utilizado por algunos como sinónimo de fábrica, sin embargo, la estructura tiene un significado más amplio, que integra los efectos combinados de la fábrica, composición y fuerzas entre partículas. La fábrica, estudiada a nivel de microscopía óptica se conoce como “microfábrica”, mientras que los rasgos que pueden ser identificados a simple vista o con ayuda de una lupa, tales como estratificación, fisuramiento, vacíos y no homogeneidad, se identifican como la “macrofábrica”. La fábrica tiene gran influencia en el comportamiento de los suelos y rocas, en especial en lo referente a la anisotropía que genera debido a la orientación de las partículas, la cual así mismo gobierna anisotropía en las propiedades geomecánicas, la clasificación de las rocas según su fábrica/estructura, la clasificación de la fábrica establece diferencias de las rocas en cuanto a su resistencia y direccionalidad de las propiedades mecánicas. (ver tabla 8, tabla 9 y figura 7)

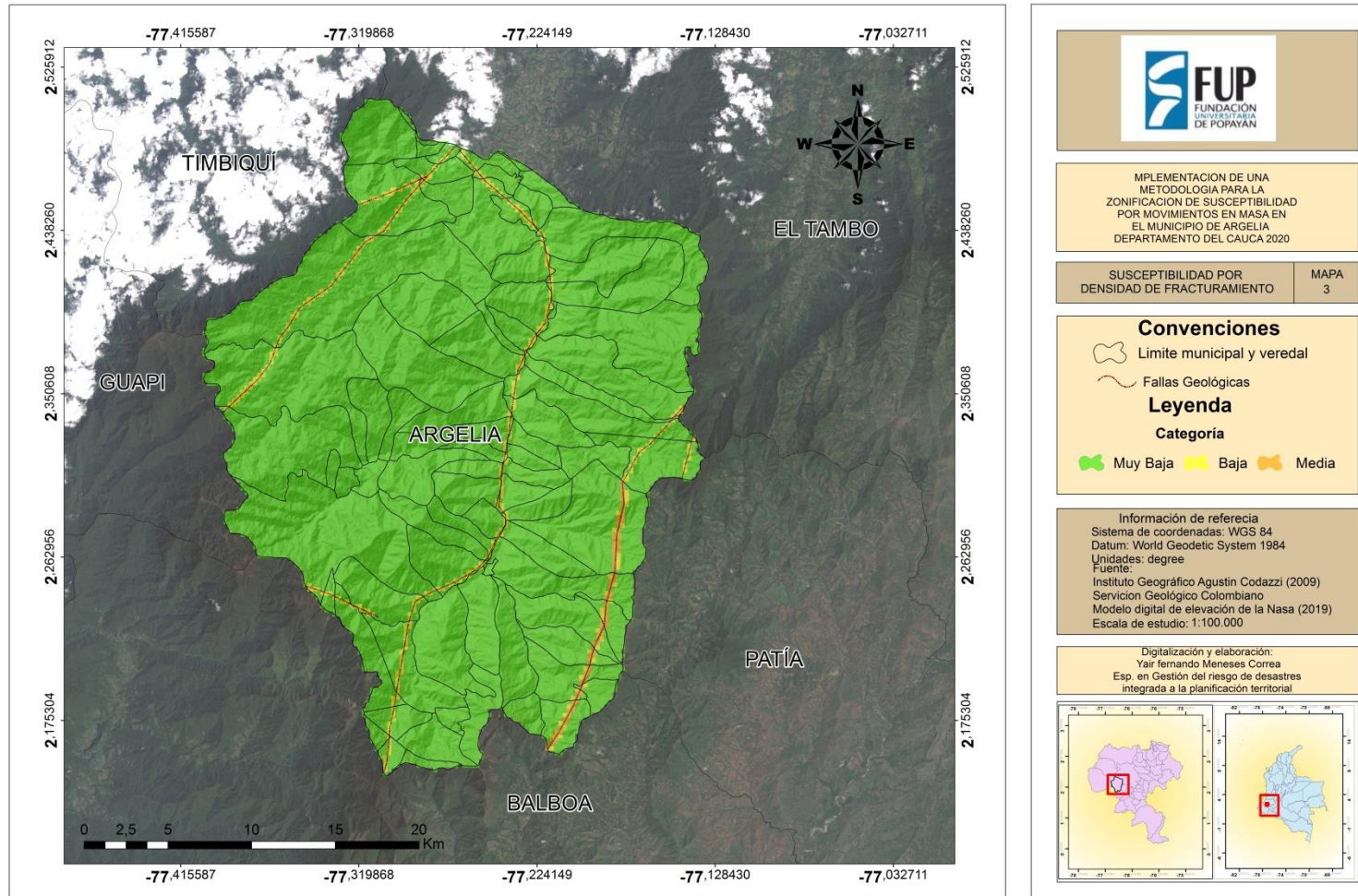


Figura 6. Mapa de susceptibilidad por Densidad de fracturamiento, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Estructura/Fábrica de las rocas y propuesta de clasificación

Textura/Fábrica	Características	Calificación
Cristalin a masiva	Rocas de cualquier origen cuyas partículas minerales están entrelazadas y con orientación aleatoria. Corresponde a las rocas más resistentes y menos deformables, salvo las rocas volcánicas cuya calidad es un poco dispersa según sean porosas o no lo sean.	1
Cristalina foliada y rocas de falla	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, con una orientación preferencial a lo largo de la cual las rocas son menos resistentes. Su calidad se dispersa como consecuencia de su fábrica orientada, es decir, por los planos de esquistosidad y foliación.	5
Cristalinas bandeadas	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, conformando bandas composicionales con alguna influencia direccional.	2
Clásticas cementadas	En rocas con partículas cementadas, con resistencia y deformación variable, dependiendo de la calidad del material cementante, la relación matriz-clastos y el grado de empaquetamiento general que posea.	3
Clásticas consolidadas	En estas rocas se presenta comportamiento variable esfuerzo-deformación, con direccionalidad de sus propiedades mecánicas. La resistencia se acrecienta con el grado de consolidación diagenética.	4

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2013)

Tabla 9. Calificación de susceptibilidad según fábrica y textura de la roca

FORMACIÓN	LITOLOGIA	FABRICA Y TEXTURA	CALIFICACIÓN
E3pad	Rocas igneas Porfirias andeciticas	Cristalina masiva	1
k2db	Diabasas, Basaltos, lavas almohadilladas, brechas volcanicas, Niveles de rocas sedimentarias tales como lomolitas y filitas.	Cristalina foliada y rocas de falla	5
k2dg	intercalación de sedimentos con efectos dinámicos, lodolitas y areniscas	Clásticas consolidadas	4

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2013)

4.2.3 Resistencia.

La calificación del atributo resistencia se hizo con base en el “Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, escala 1:100.000”, en donde se propone una calificación de acuerdo con la categorización de la resistencia a la compresión simple según Hoek, siendo 1 la calificación propuesta para las rocas extremadamente duras y muy duras, 2 para las rocas duras, 3 para las rocas moderadamente duras, 4 para las rocas blandas y 5 para las rocas muy blandas y extremadamente blandas. Algunas unidades geológicas corresponden a intercalaciones de rocas con diferente resistencia, en estos casos se asignó una calificación ponderada de acuerdo con el criterio de los profesionales en el área de geología, (ver tabla 10, tabla11 y figura 8) pueden consultarse las características que clasifican las rocas en los diferentes valores de resistencia.

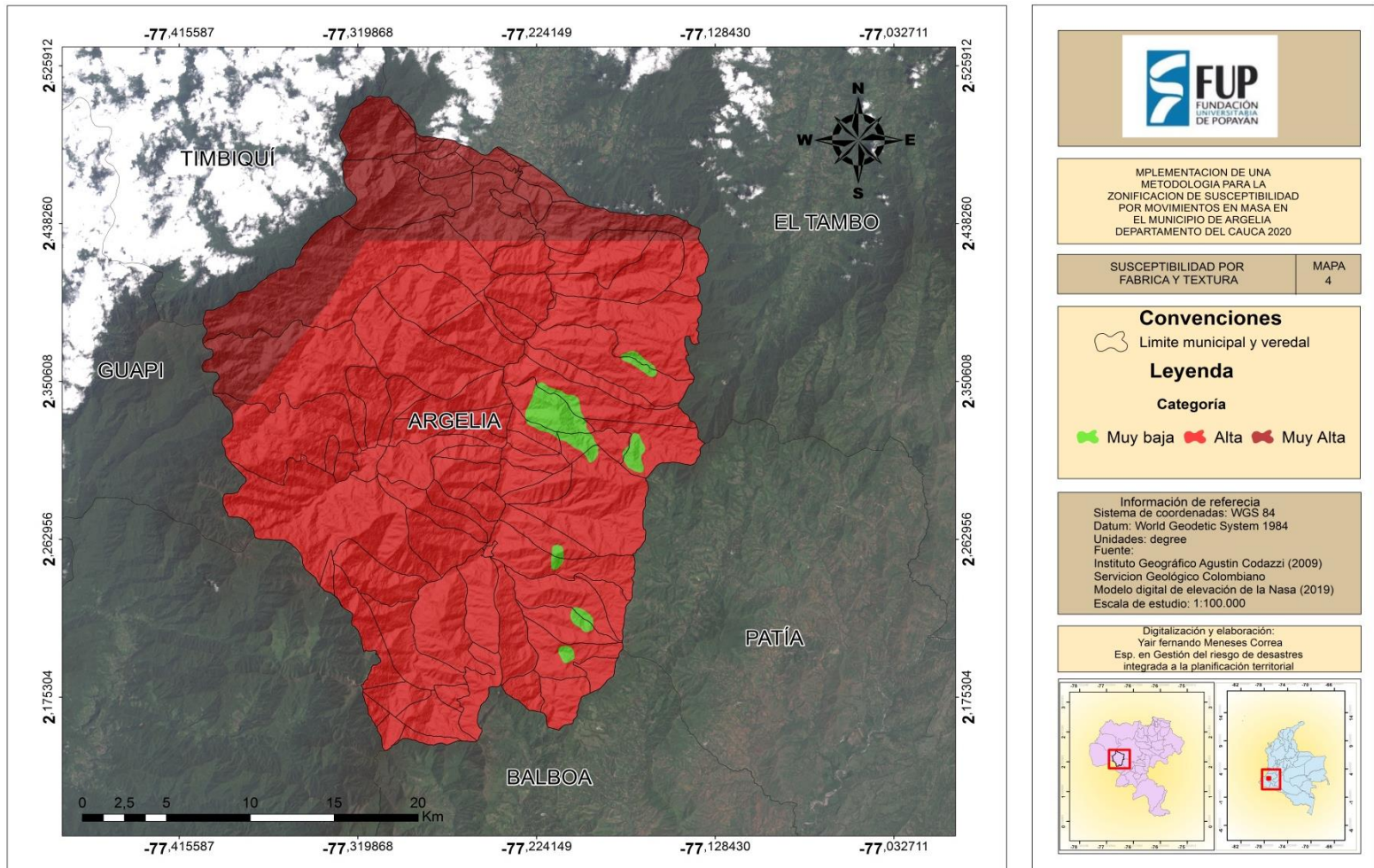


Figura 7. Mapa de susceptibilidad por Fábrica y Textura, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Calificación de las rocas dependiendo su resistencia

Grado	Término	Propuesta de calificación
R6	Extremadamente dura	1
R5	Muy dura	1
R4	Dura	2
R3	Moderadamente dura	3
R2	Blanda	4
R1	Muy blanda	5
R0	Extremadamente blanda	5

Fuente: (Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, 2014).

Para el municipio de Argelia se identificaron con base a la metodología del SGC (2013) la resistencia de las rocas basándonos en las unidades geológicas descritas anteriormente.

Tabla 11. Calificación de susceptibilidad según su resistencia

FORMACIÓN	LITOLOGIA	RESISTENCIA
E3pad	Rocas igneas Porfirias andecíticas	R5
k2db	Diabasas, Basaltos, lavas almohadilladas, brechas volcánicas, Niveles de rocas sedimentarias tales como lomolitas y filitas.	R3
k2dg	intercalación de sedimentos con efectos dinámicos, lodolitas y areniscas	R3

Fuente: Elaboración propia

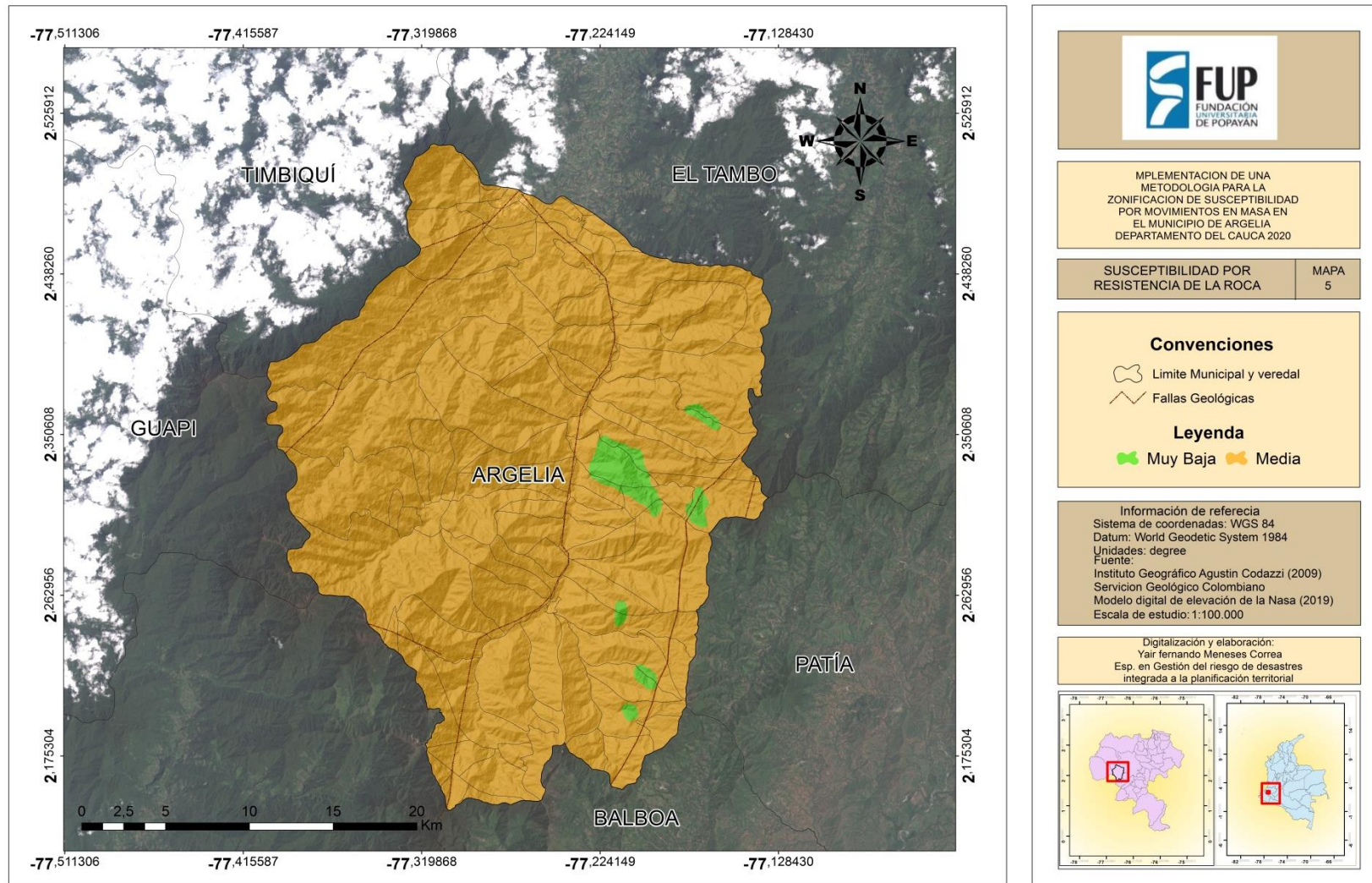


Figura 8. Mapa de susceptibilidad por Resistencia de la roca, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca
Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Susceptibilidad por el atributo de Geología

El mapa de la susceptibilidad geológica a los movimientos en masa, incluye los tres atributos descritos (densidad de fracturamiento o densidad de fallas, fábrica/estructura o textura y resistencia de las rocas a los movimientos en masa. Con la siguiente ecuación se calcula la susceptibilidad Geológica para el municipio de Argelia.

$$SUS_GEO = (Densidad\ de\ fracturamiento * 0.1) + (Fabrica\ y\ estructura * 0.5) + (Resistencia * 0.4)$$

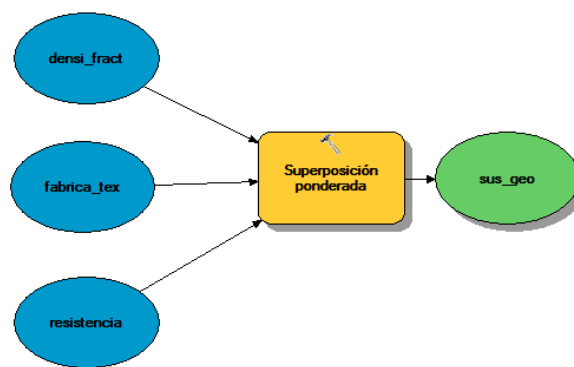


Figura 9. Modelo para la generación del mapa de susceptibilidad geológica

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10 y en la tabla 12, se observan las categorías de susceptibilidad de la geología en el municipio de Argelia, el 2,09% del área total presenta una susceptibilidad Muy baja, 0,07 correspondiente a susceptibilidad Baja y el 97,82% categorizado como susceptibilidad Media, en esta zona no se identificaron zonas de susceptibilidad geológica Alta y Muy alta

- **Susceptibilidad Muy baja:** La zonas de identificadas en esta categoría, presentan una Calificación una resistencia de roca muy dura (R5) localizadas sobre depósitos de Rocas igneas Porfirias andeciticas, según su fábrica y textura de tipo Cristalina masiva, en el municipio de Argelia se localiza mayoritariamente en la parte alta y media de la veredas Cristales

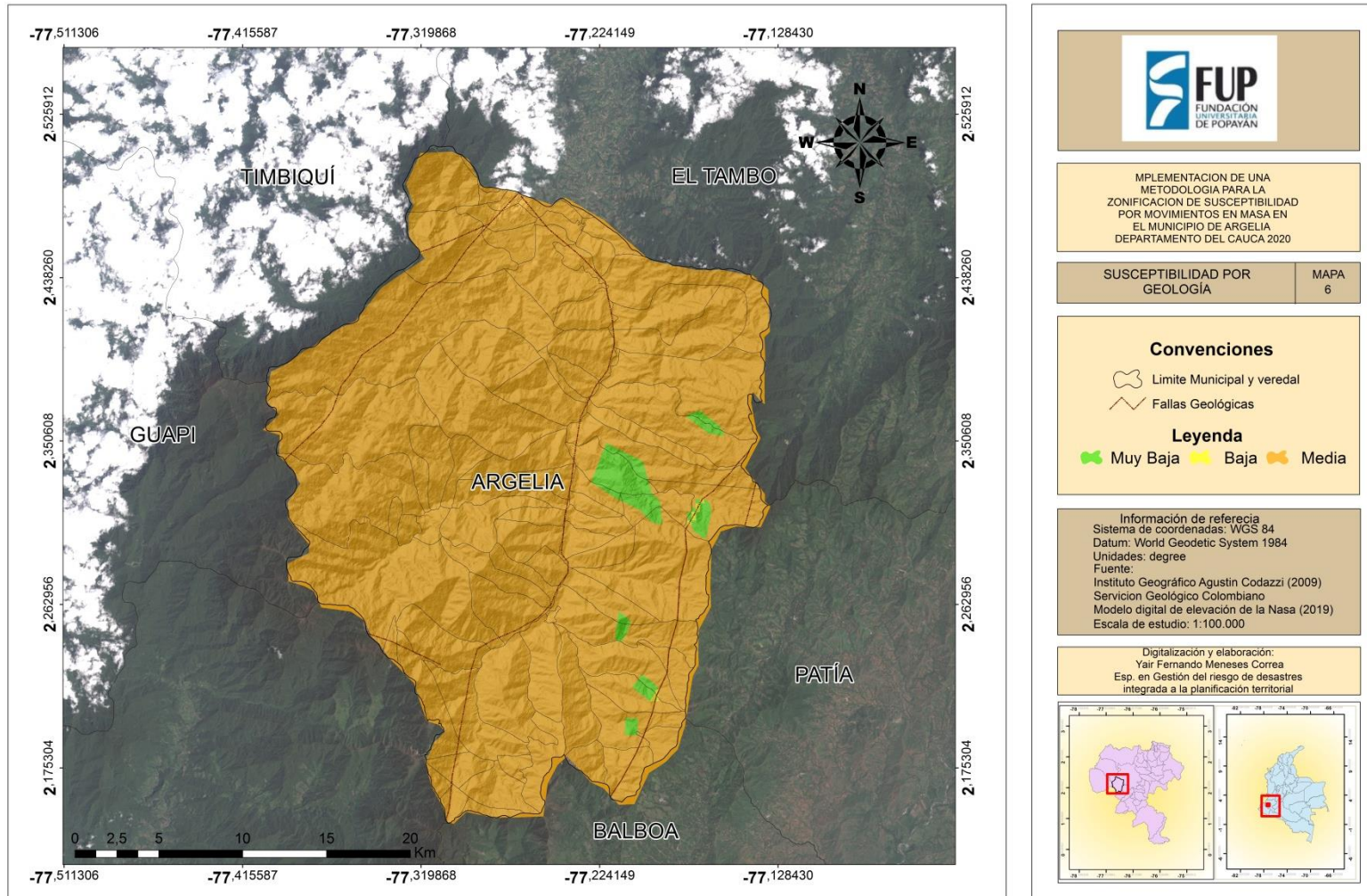
Bajos, en menor medida en las veredas Campo Alegre, La Cumbre, Los Alpes, El Plan, y la vereda Puente tierra. Esta categoría comprende un área de 1640,28 Has, equivalentes al 2,094 % sobre el área total del Municipio

- **Susceptibilidad Baja:** son áreas que presentan rocas cristalinas masivas de muy alta resistencia y densidad de fracturamiento variable entre baja y muy alta, esta categoría se identifica en menor proporción el en municipio, pues presenta un área de 60,38 has, representando tan solo el 0,077 % sobre el área total, es de recalcar que el análisis se realizó a una escala 1: 100.000, si se aumenta el nivel de detalle, esta zona es propensa a expandir su en área. Se localiza en la parte baja de la vereda La Cumbre.
- **Susceptibilidad Media:** Las zonas de susceptibilidad media son las más representativas del municipio y corresponden a depósitos de Diabasas, Basaltos, lavas almohadilladas, brechas volcanicas, con rocas sedimentarias tales como lomolitas y filitas clásticas cementadas de resistencia alta y densidad de fracturamiento variable. Se localizan sobre todo el municipio, abarcando un área de 76598,2 has, equivalentes al 97,82 % sobre el área total de municipio de Argelia.

Tabla 12. Categorías de Susceptibilidad Geológica

Susceptibilidad Geológica			
Calificación	Susceptibilidad	Área (has)	Porcentaje
1	Muy Baja	1640,28	2,0948964
2	Baja	60,38	0,07711479
3	Media	76598,2	97,8279888
		78298,86	100

Fuente: Elaboración Propia



4.3 Valoración de la susceptibilidad por el atributo de Geomorfología

Las formas de relieve de la zona de estudio son el resultado del conjunto de numerosos factores, como por ejemplo litología, estructuras geológicas, tectónica y clima, entre otros, que a su vez, se encuentran íntimamente relacionados con los procesos denudativos (erosión y movimientos en masa). Las diversas unidades que integran el paisaje o que conforman el terreno, son el objeto de estudio de la geomorfología y corresponden a las denominadas geoformas. Su definición obedece a un concepto genérico que designa todos los tipos de formas del relieve independientemente de su origen, de su dimensión y de su nivel de abstracción, similarmente a como es utilizado el término suelo en pedología o planta en botánica. (Zinck, 1988; Zinck & Valenzuela 1990, en Zinck, J., 2012 en SGC, 2013). En resumen, la geomorfología está encargada de estudiar tres principales aspectos de las diferentes expresiones del terreno: forma, procesos e historia. (Huggert, R., 2007 EN SGC, 2013). En la actualidad estas geoformas están sufriendo una continua erosión, que ha originado grandes cambios en su relieve, reflejados en profundas disecciones de las pendientes, depósitos de material dispuestos sobre las laderas, aumento de la tasa de sedimentación de los cauces y hasta pérdida de la cobertura vegetal. Para la descripción, clasificación y posterior calificación de la variable geomorfología en la identificación de zonas o áreas con predisposición de generar movimientos en masa, se definen los atributos o parámetros de este insumo temático: la morfogénesis, la morfodinámica y la morfometría, así como su respectiva ponderación (ver figura 11), definidos con base en un Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) descrito en el “Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa, escala 1:100.000, versión 2”(SGC,2013)

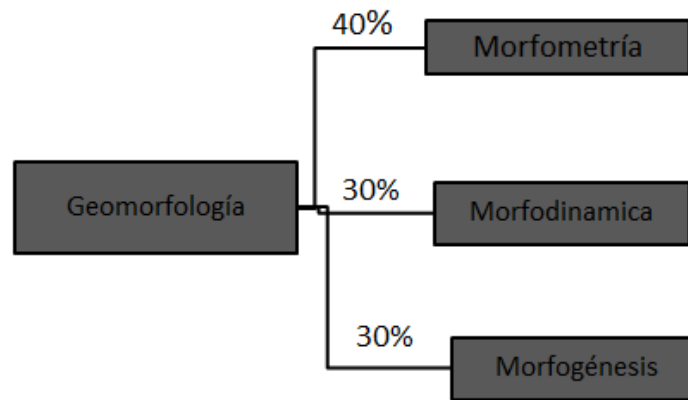


Figura 11. Ponderación de las sub-variables del atributo Geomorfología

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2013)

4.3.1 Morfometría.

La morfometría corresponde al atributo de la geomorfología que estudia las características cuantitativas de las formas del relieve (alturas, superficies, pendientes, volúmenes, etc.), a partir de diversos índices numéricos. (UNAM, 1989) En otras palabras, este atributo comprende la caracterización y el análisis digital de las superficies topográficas continuas (Pike et al., 2009 en Zinck, J., 2012), abarcando los rasgos dimensionales de las geoformas, los cuales se derivan de una representación numérica de la topografía, (Pike, 1995; Pike & Dikau, 1955 en Zinck, J., 2012).

Esta variable comprende aspectos cuantitativos en términos de rugosidad y pendiente del terreno y el flujo acumulado en una celda (acuena). Para las variables de morfometría se empleó el modelo digital de elevaciones (DEM), insumo con el cual, se generaron y se calificaron las coberturas de los atributos morfométricos considerados en el presente trabajo. (ver figura 12)

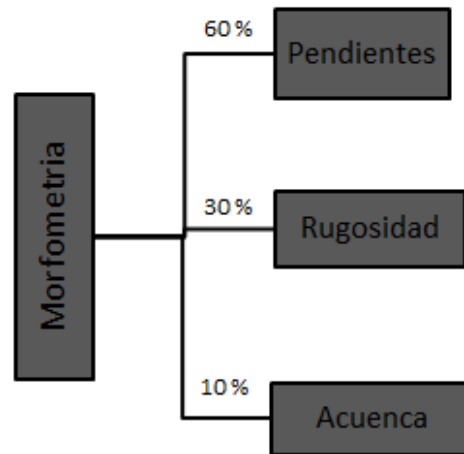


Figura 12. Ponderación de las sub-variables del atributo Morfometría

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (2013)

- **Pendiente:** La clasificación de pendientes permite tener una zonificación del área de estudio de acuerdo al porcentaje de inclinación que se encuentre en las vertientes allí existentes, la inclinación de cualquier terreno se puede medir por medio de la pendiente, mientras más se incline una superficie más pendiente tendrá.

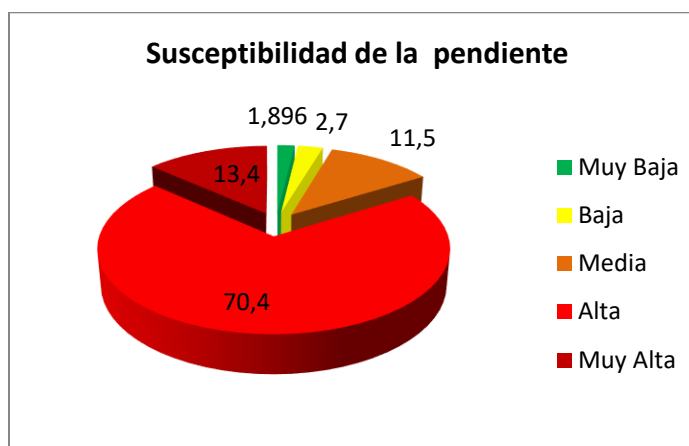
Para la elaboración del mapa de pendientes, se realizó un conjunto de geoprocusamientos, en el cual se calculó de acuerdo al MDT y se procesó con el software GIS este proceso se lo realiza por medio de la herramienta Slope en Surface del menú Spatial Analyst Tools obteniendo una clasificación de pendientes expresada en porcentajes para poder determinar rangos de pendientes dicha clasificación es reclasificada por medio de la herramienta Reclassify en Reclass del anterior menú, así se obtiene un ráster de pendientes reclasificadas, en este caso se tomó la clasificación establecida por el servicio Geológico, posteriormente se convirtió el raster a polígono y se obtuvo el insumo para identificar las pendientes en el municipio de Argelia (ver tabla 13, gráfico1 y figura 13)

Tabla 13. Susceptibilidad en función de la Pendiente

Calificación	Descripción	Susceptibilidad	Área (Has)	Porcentaje
1	Plana a suavemente inclinada	Muy Baja	1467,349716	1,896
2	Inclinada	Baja	2126,284341	2,74737909
3	Muy inclinada	Media	8921,563937	11,5275825
4	Abrupta	Alta	54470,26976	70,3812172
5	Escarpada	Muy Alta	10407,72312	13,4478537
			77393,19087	100

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1. Porcentaje de Susceptibilidad según la Pendiente



Fuente: Elaboración propia

- **Susceptibilidad Muy Baja:** En el municipio de Argelia se identificó para el atributo de pendiente en relación con el grado de susceptibilidad, Solamente el 1,86 % del área total, equivalentes a 1467,34 has, presenta una susceptibilidad Muy Baja, con pendientes planas a suavemente inclinadas, característica morfométrica en la que se localizan los centros poblados que se sobre las terrazas aluviales jóvenes del río Micay, también esta categoría de susceptibilidad se localiza sobre el lecho disectado de los drenajes del sistema hídrico del municipio, también se identificas bajas pendientes en la parte baja de la vereda Las Vegas.
- **Susceptibilidad Baja:** El 2,74% del área del municipio, 2126,28 Has aproximadamente, se categoriza como susceptibilidad Baja, con pendientes inclinadas, identificado principalmente en las terrazas aluviales antiguas del río

Micay, también en la parte norte del municipio, hacia límites con el municipio del tambo, sobre la veredas de Las Vegas, El Plateado, Panbilal, San Antonio Bajo, La Ceiba, Pepinal y Buena Vista, hay otra veredas que presentan esta categoría pero en menor proporción, son las atravesadas por el río Micay.

- **Susceptibilidad Media:** El 11,52% del área total, se categoriza como Susceptibilidad Media, presenta pendientes muy inclinadas, localizadas principalmente sobre los depósitos de piedemonte, zonas subsiguientes de las terrazas aluviales del río Micay y demás sistema hídrico del municipio, concentrándose también en la parte norte del municipio en el corregimiento santa clara y el corregimiento del plateado con dirección Noreste y en los límites noroccidentales con el municipio del Patía.
- **Susceptibilidad Alta:** Encontramos que el 70% del territorio municipal, unas 54470,26 Has aproximadamente, se encuentra en una susceptibilidad alta, presentando una pendiente abrupta, característica identificada en todas las veredas del municipio, con menor presencia en el centro poblado del plateado y en la vereda las vegas, en las áreas de las veredas que son influenciadas por las terrazas aluviales del río Micay.
- **Susceptibilidad Muy Alta:** Las zonas categorizadas como amenaza Muy Alta, presentan una pendiente escarpada, equivalen al 13,44 % sobre el área total, aproximadamente 10407,7 has, en todos los corregimientos se identifican áreas con esta categoría, unos de los que menos se identifican es el corregimiento del Plateado, sobre las veredas del Pambillal, San Antonia Bajo y cabecera veredal del Plateado, donde más se concentran estas áreas muy susceptibles a deslizamientos en función de la pendiente es en los corregimientos de San Juan de la Guadua, El Diviso, parte occidental del El Naranjal y La Florida, en la parte la parte oriente del municipio o parte alta de los corregimientos, sentido Sur-Norte, se encuentra de Argelia, El Mango, Sinaí y Puerto Rico.

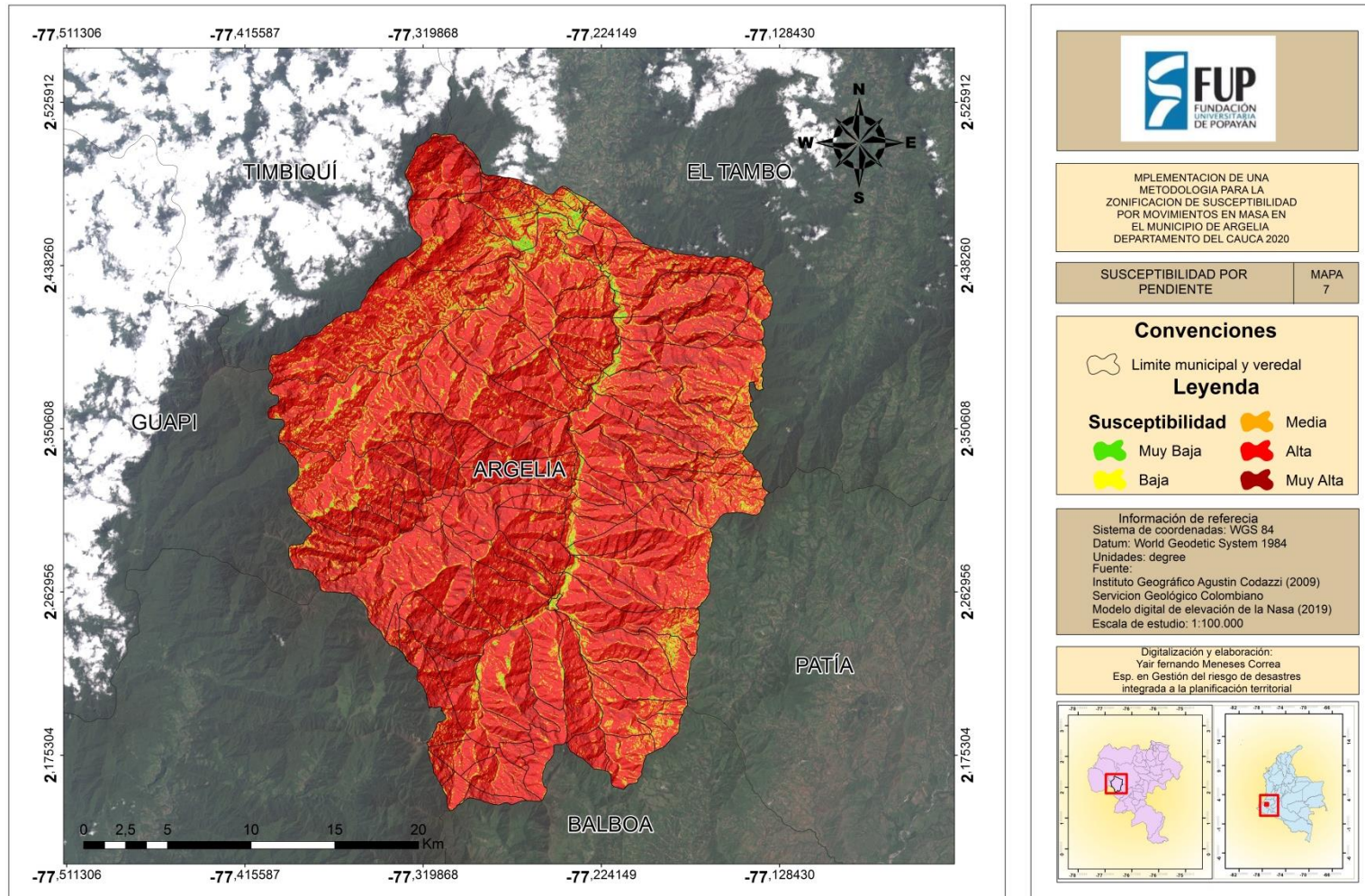


Figura 13. Mapa de susceptibilidad de la pendiente, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

- **Rugosidad:** La rugosidad del terreno se define como la variación de la pendiente en un área y representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda (SGC, 2013). El valor 1 corresponde a rugosidad nula y los valores se hacen menores al aumentar la dispersión de los vectores (alta rugosidad). La rugosidad define bien las formas y los límites de taludes y laderas, tanto en los valles como en las crestas (Felicísimo, 1992 en SGC, 2013). Se relaciona con los movimientos en masa de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentarlos, debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno y por ende, aumenta la inestabilidad del mismo.

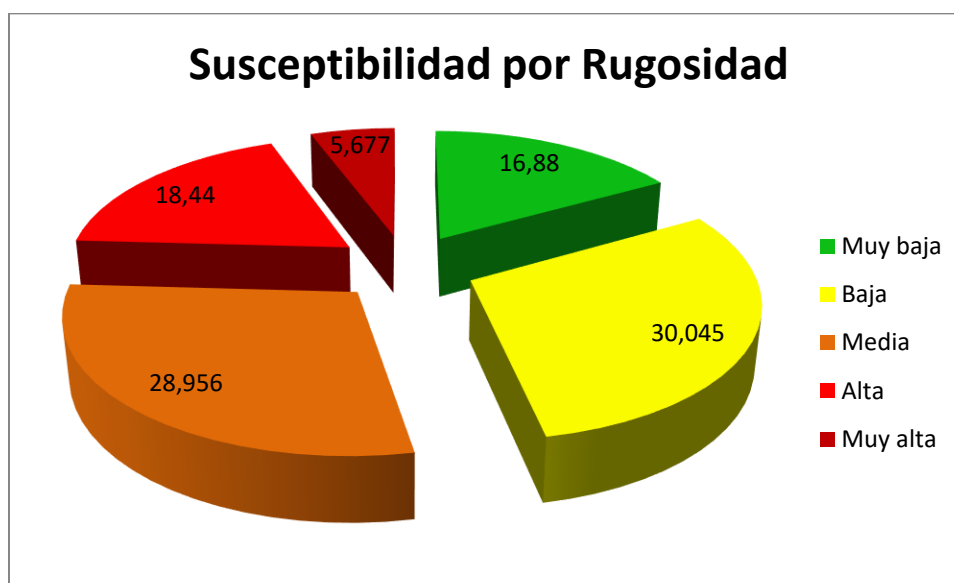
El proceso metodológico para la obtención del mapa de rugosidad requiere del modelo de elevación digital (DEM), y la extensión Terrain Ruggedness (VRM), compatible con los softwares de Arcgis V. 9.3 en adelante. Se activa la extensión Ruggedness y se incluye el modelo de elevación digital (DEM) en ella, dejando como valor 3, debido a que la función matemática exige que se implementen valores impares. Luego se clasifica de acuerdo con áreas, siendo el valor más pequeño para rugosidad de áreas pequeñas, y valores grandes, como 21, para rugosidad de áreas mayores. La variable es inversamente proporcional, debido a que, a menor valor, es mayor su precisión. Obtenido el resultado, se genera una clasificación al atributo de rugosidad equivalente a 5 clases, conformadas en la siguiente tabla (ver tabla 14) . Valores de calificación susceptibilidad de la rugosidad).

Tabla 14. Valores de susceptibilidad de la Rugosidad

Valores	Calificación	Descripción	Susceptibilidad	Área (Has)	Porcentaje
1	1	Rugosidad muy baja o nula	Muy baja	13064,6358	16,8810162
0,9975	2	Rugosidad baja	Baja	23252,9334	30,0454716
0,995	3	Rugosidad media	Media	22409,7849	28,9560265
0,99	4	Rugosidad alta	Alta	14271,3273	18,4402008
0,985	5	Rugosidad muy alta	Muy alta	4393,79111	5,67728485
				77392,4724	100

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2. Porcentaje de Susceptibilidad según la rugosidad



Fuente: Elaboración propia

- **Susceptibilidad Muy Baja:** En el municipio de Argelia se identificó, mediante el procesamiento cartográfico para el cálculo de la rugosidad, que 13064,63 has, equivalentes al 16,88 % sobre el área total presenta una rugosidad categorizada como susceptibilidad Muy Baja, presentando valores cercanos a 1, es decir, la

variabilidad de la pendiente no es tan drástica, encontrándose en todas las veredas, en menor proporción en la cabecera del plateado.

- **Susceptibilidad Baja:** La calificación Baja abarca una extensión de 23252,93 has, equivalentes al 3,45 % sobre el área total del municipio, también localizada sobre todas las veredas en áreas heterogéneas.
- **Susceptibilidad Media:** La categoría de susceptibilidad Media, acapara un área de 22409,78 Has, equivalentes al 28,95% sobre el área total, situado en todas las vereda del municipio.
- **Susceptibilidad Alta:** La susceptibilidad alta abarca 14271,32 Has, equivalentes al 18,44 % sobre el área total del municipio.
- **Susceptibilidad Muy Alta:** la categoría de susceptibilidad Muy Alta, contempla 4393,79 Has, en datos porcentuales equivalente al 5,67% sobre el área total del municipio, es la de menor proporción y se sitúa principalmente sobre las terrazas aluviales del río Micay, aquí se evidencia la diferencia pronunciada entre la pendiente, pasa de una pendiente abrupta a plana en muy poca área, influenciado por la dinámica hidrológica disectiva del río.

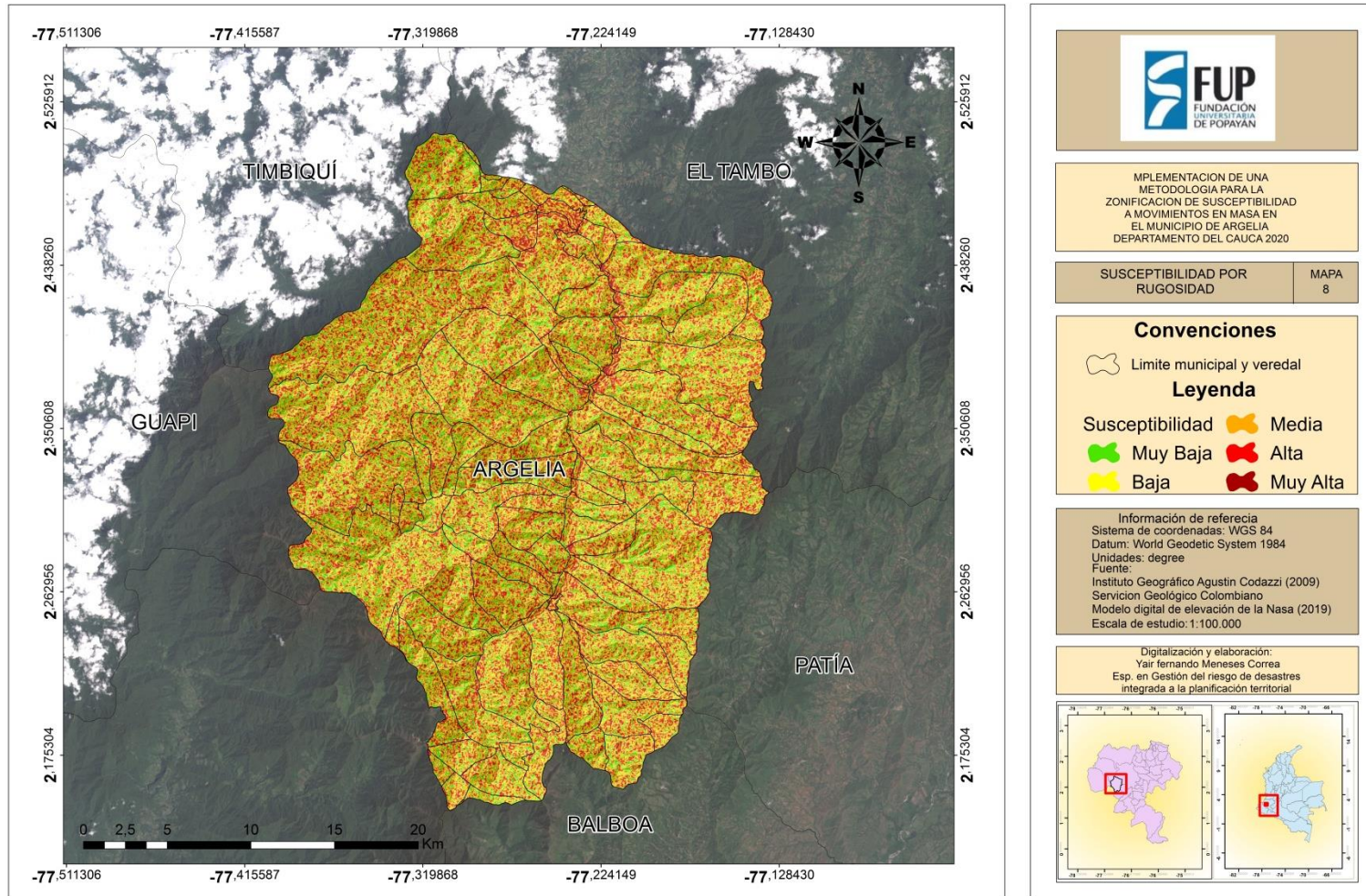


Figura 14. Mapa de susceptibilidad por rugosidad, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

- **Acuena:** El atributo Acuena se refiere a aquella variable cuantitativa no continua que corresponde a la superficie aguas arriba de una celda dentro de una cuenca respecto de la cual vierte hacia esta celda de salida (cuenca acumulada). Se expresa en metros cuadrados (m^2) y se obtiene del DEM (SGC, 2013). El área de una cuenca se relaciona con los volúmenes de agua capaces de infiltrar o drenar en un terreno. La Figura 15 describe el proceso para determinar el atributo Acuena y la Tabla 15 presenta los valores de clasificación de esta variable en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

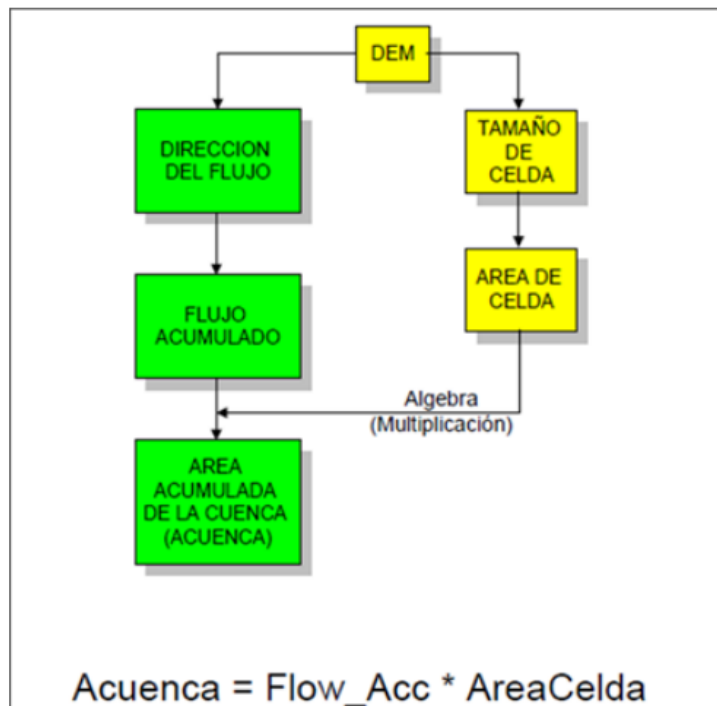


Figura 15. Flujograma para la elaboración del atributo Acuena

Fuente: (SGC, 2013).

- **Cálculo del atributo Acuena:** El flujo de las aguas a través de la superficie es siempre en la dirección de máxima pendiente, una vez que la dirección de flujo (flow direction) es conocida es posible determinar cuáles y cuántas celdas fluyen hacia una celda particular, la sumatoria de estas se denomina flujos acumulados (flow accumulation). Los valores de los flujos

acumulados multiplicados por el área del pixel crean la variable ACUENCA o sea el área de la cuenca. (Santacana, 2001 en SGC, 2013).

➤ **Dirección de flujo:** Una de las claves del modelado hidrológico lo constituye la determinación de la dirección de flujo de cualquier punto de una cuenca (cualquier celda). El proceso de cálculo de la dirección de flujo consiste en determinar la dirección de máxima pendiente hacia abajo de cada celda. Existen ocho direcciones de salida válidas que se relacionan con las ocho celdas adyacentes hacia donde puede ir el flujo. Este enfoque comúnmente se denomina el modelo de flujo de ocho direcciones (D8). La Figura 16 presenta gráficamente el cálculo de la dirección del flujo (SGC, 2013)

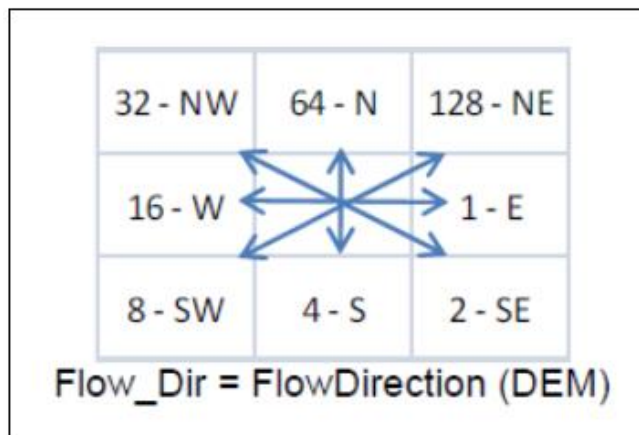


Figura 16. Cálculo de la dirección del flujo

Fuente: (SGC, 2013).

➤ **Flujos Acumulados:** Constituye el peso acumulado en una celda determinada de todas las celdas que fluyen pendiente abajo hacia ella. De este modo, es posible conocer rápidamente la cantidad de agua que puede recibir una celda determinada. Asimismo, el cálculo de flujos acumulados posibilita también determinar la cantidad de agua de lluvia que puede fluir por una celda dada, asumiendo que toda la lluvia se convierte en escurrimiento superficial y que no existe infiltración, evapotranspiración u

otras pérdidas. Este tipo de flujo representa zonas donde hay mayor cantidad de agua fluyendo. Las zonas más oscuras representan los lugares donde hay mayor flujo de agua, lo cual coincide con los ríos y quebradas. La Figura 17 representa un esquema para el cálculo de esta variable (SGC, 2013).

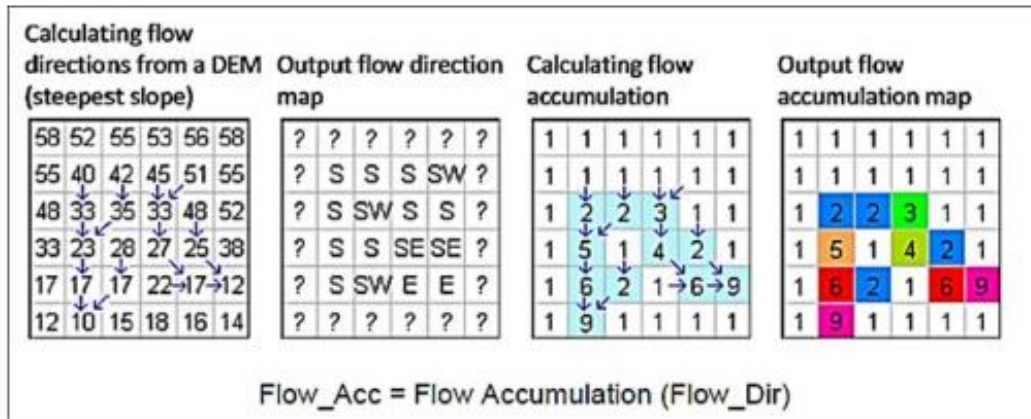


Figura 17. Cálculo de las direcciones de flujo.

Fuente: (SGC, 2013)

En el municipio de Argelia Cauca se identificaron 4 categorías de susceptibilidad ante movimientos en masa de la variable Acuenca, las cuales son:

- **Susceptibilidad Muy Baja:** ocasionada por la no retención de flujos de agua, es decir, el constante flujo de esta, evidenciándose en las divisorias de aguas o lomos en un 11,72% del área total, 9071,95 Has aproximadamente, en las Quebradas y ríos, representa el 0,090 % sobre el total del área, 70,20 Has .
- **Susceptibilidad Baja:** Es la que mayor predominancia tiene en el Municipio, son zonas de escorrentía lenta abarca el 71,90% sobre el área total, con una extensión de 55645,56 Has .
- **Susceptibilidad Media:** presenta característica de Drenajes no permanentes, representa el 13,83 % sobre el are total, equivalentes a 10705,9 Has.
- **Susceptibilidad Muy Alta:** son zonas de flujos acumulados, es decir donde el agua baja por las vertientes de las microcuencas bajo potencial hidrogravitarorio

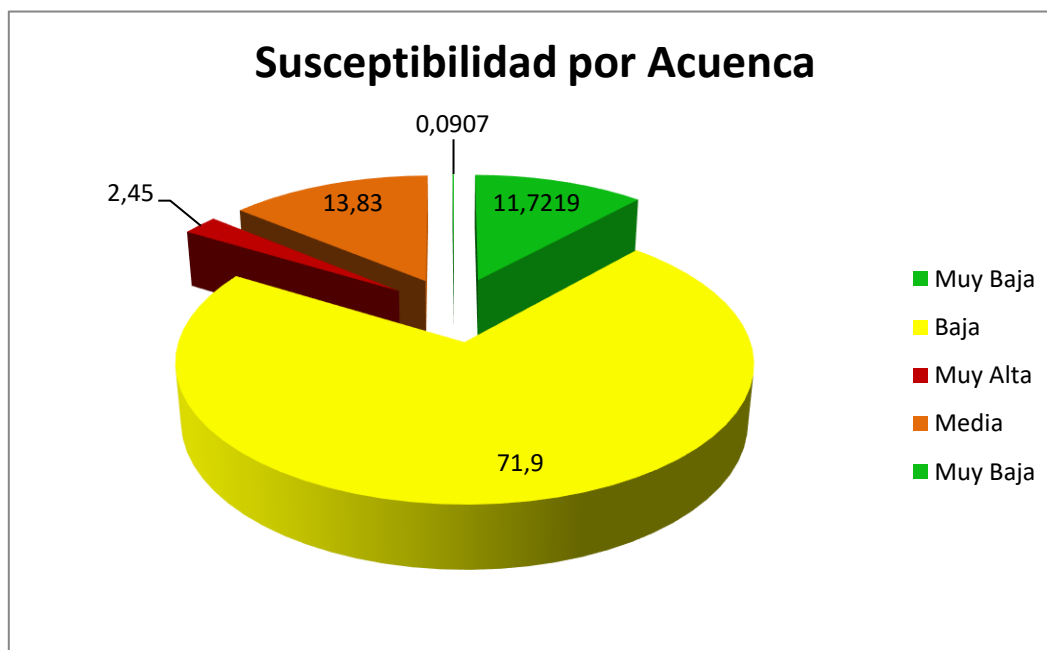
de forma lenta a estancada, estas zonas son las más susceptibles a presentar movimientos en masa de tipo deslizamiento, comprende el 2,45 % sobre el área total, 1899,3 Has aproximadamente (ver tabla 15 y Grafico 3)

Tabla 15. Valores de susceptibilidad de Acuencia

Calificación	Descripción	Susceptibilidad	Area	Porcentaje
1	Divisoria de aguas o lomos	Muy Baja	9071,95631	11,7219359
2	Escorrentía lenta	Baja	55645,5671	71,9000121
5	Flujo acumulado	Muy Alta	1899,31046	2,45411184
3	Drenaje no permanente	Media	10705,9438	13,8332221
1	Quebradas, ríos	Muy Baja	70,209463	0,09071812

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3. Porcentaje de Susceptibilidad por el atributo de Acuencia



Fuente: Elaboración propia

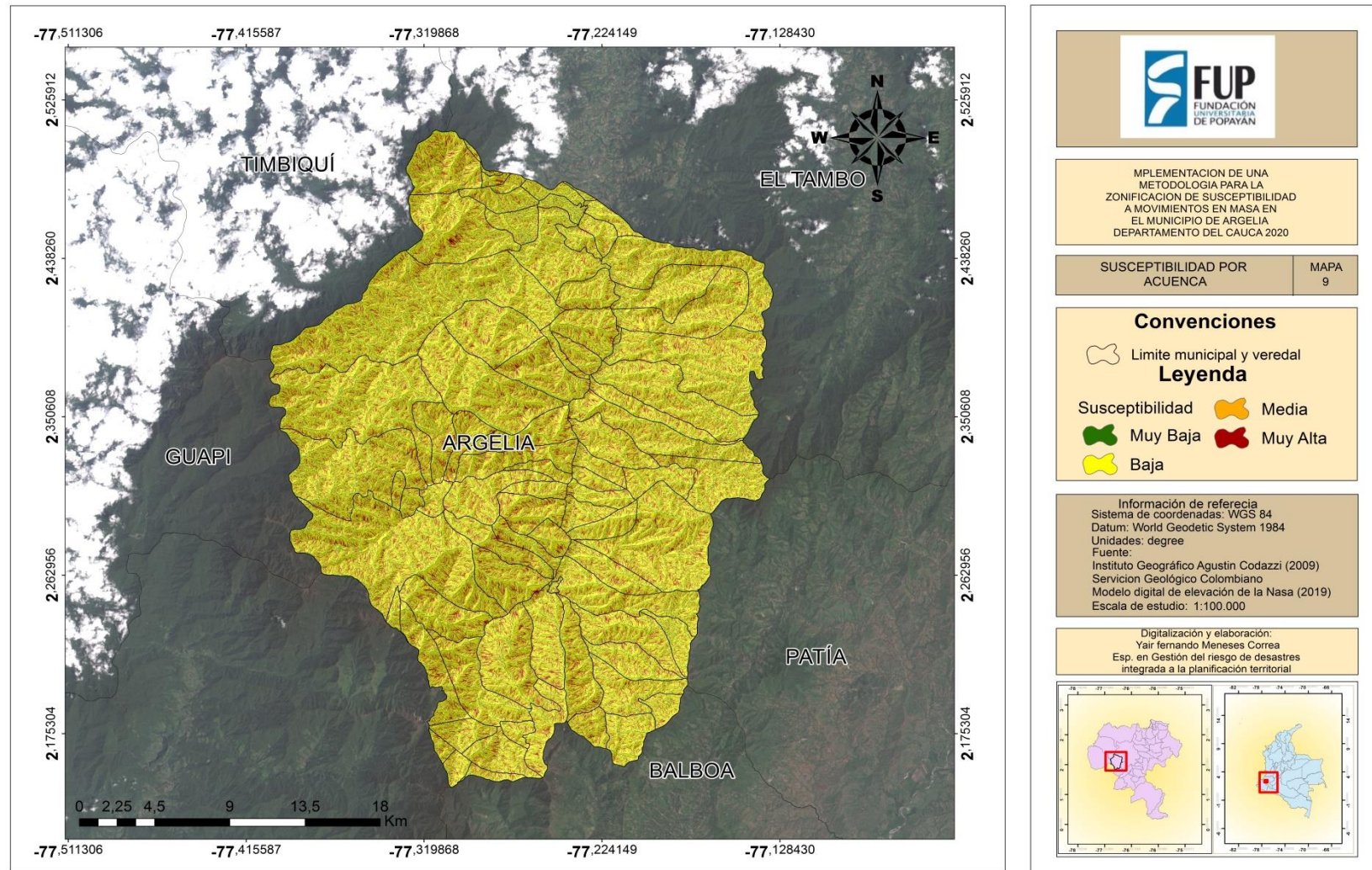


Figura 18. Mapa de susceptibilidad por el atributo de Acuenca, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo de la susceptibilidad a los movimientos en masa por morfometría:** Con la determinación de las variables geométricas y bajo el criterio de establecer la influencia de las mismas respecto a la susceptibilidad final, se hace necesario realizar el cálculo de la susceptibilidad de la morfometría, elemento indispensable para la susceptibilidad de la geomorfología. Para tal fin, se aplicó la siguiente ecuación, con base en el procedimiento establecido en “Documento Metodológico De La Zonificación De Susceptibilidad Y Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1:100.000” (Leyva et al., 2012).

$$\text{Morfometría} = 0,6 \text{ Pendiente} + 0,3 \text{ Rugosidad} + 0,1 \text{ Acuencia}$$

- **Susceptibilidad Muy Baja:** Los resultados del modelamiento cartográfico de la sub-variable morfometría, arrojan que 168,56 has, aproximadamente el 0,22% de la superficie total del municipio de Argelia se encuentra en una susceptibilidad Muy Baja comprendido por las zonas con más bajas calificaciones cuyos resultados están en un rango igual a 1, se encuentran presentes en pequeñas áreas sobre todas las veredas, principalmente en la parte norte del municipio.
- **Susceptibilidad Baja:** Con un 3,55% sobre el área total, 2749,94 has aproximadamente se encuentran las zonas calificadas como Susceptibilidad Baja, comprendidas por las locaciones cuyos resultados oscilan entre valores mayores que 1 hasta 2, se evidencian sobre la parte baja de las veredas que tienen áreas influenciadas por las terrazas aluviales jóvenes del río Micay, también se vislumbra una mayor concentración de una Baja susceptibilidad en las veredas de Las Vegas, Centro poblado del Plateado, Pambillal y San Antonio Bajo.
- **Susceptibilidad Media:** Las zonas calificadas como susceptibilidad Media, con valores mayores a 2 y menores o iguales a 3, Presenta una extensión de 33319,502 (has) aproximadamente, equivalentes

al 43,05 % sobre el área total del municipio, distribuido sobre todas las veredas.

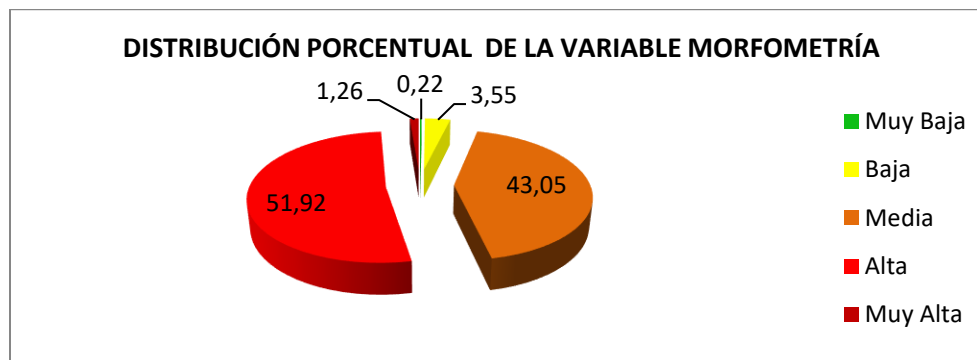
- **Susceptibilidad Alta:** Los valores de esta categoría de la susceptibilidad por morfometría están evaluados en los rangos mayores a 3 e iguales a 4 para las calificaciones “Alta”, el 51,92% sobre el área total del municipio, 40178,85 (has) aproximadamente, se encuentra en la categoría de susceptibilidad Alta, con mayor concentración en los corregimientos de El Diviso, San Juan de la Guadua, El Mango, Sinaí, Puerto rico, La Belleza, La Emboscada y El Naranja, loas demás veredas del municipio presentan áreas de esta categoría pero de forma más dispersa,
- **Susceptibilidad Muy Alta:** la categoría de susceptibilidad Muy Alta calificada con valores mayores a 4 e iguales a 5 corresponde el 1,26% sobre el área total, 975,6 (has) aproximadamente

Tabla 16. Valores de susceptibilidad Morfométrica

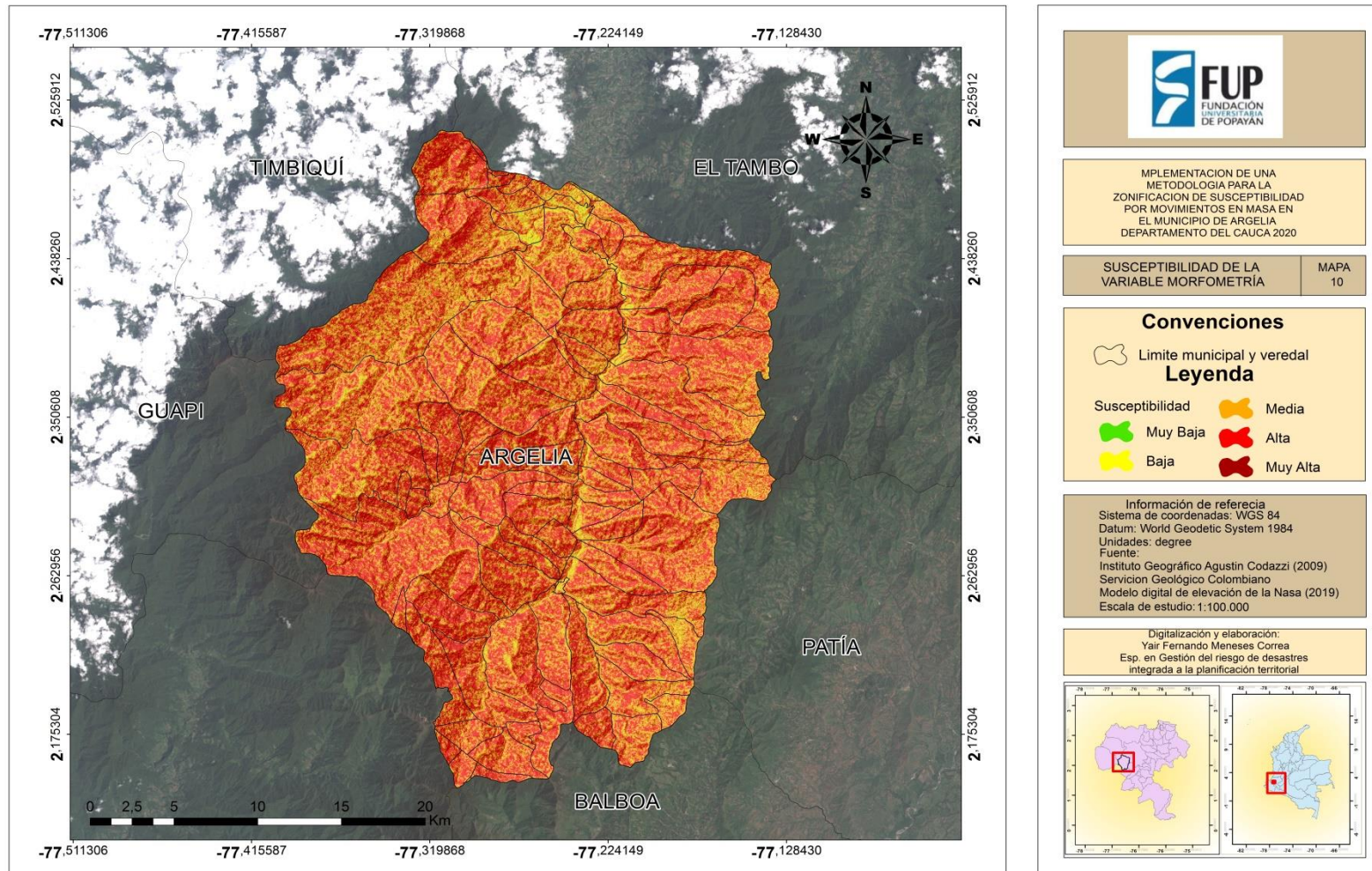
MORFOMETRÍA			
Calificación	Descripción	Área (Has)	%
1	Muy Baja	168,566442	0,22
2	Baja	2749,94269	3,55
3	Media	33319,5021	43,05
4	Alta	40178,8552	51,92
5	Muy Alta	975,668622	1,26

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4. Porcentaje de Susceptibilidad por el atributo de Morfometría



Fuente: Elaboración propia



4.3.2 Morfodinamica

La morfodinámica corresponde al atributo de la geomorfología encargado de estudiar los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos) tanto antiguos, como recientes que han modelado, continúan moldeando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas (SGC, 2013). Se refiere a la dinámica exógena relacionada con la actividad de los agentes como el viento, agua, hielo y la acción de la gravedad terrestre.

La generación del atributo morfodinámico se realiza a través de un proceso de agrupamiento mediante la representación cartográfica de los suelos transportados vistos como geoforma, del inventario de procesos a partir del sistema de información SIMMA y de las variables geométricas derivadas del modelo DEM. Para este estudio, por falta de información o por su baja calidad, solo se realizó la clasificación a partir de las variables geométricas generadas a partir del DEM.

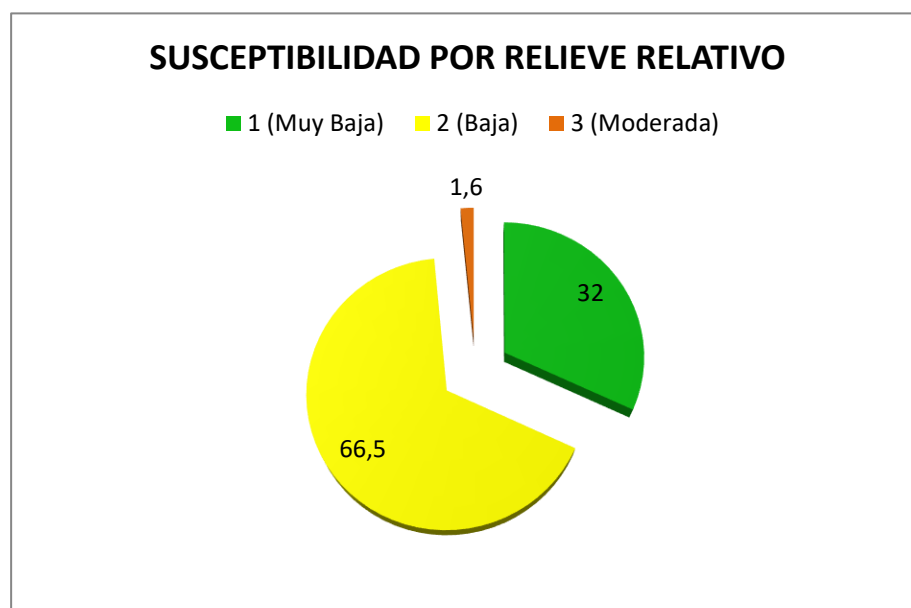
- **Relieve relativo (RR):** El relieve relativo representa la diferencia de altitud de la geoforma, independientemente de su altura absoluta o nivel del mar. Ella se mide por la diferencia de alturas entre la cota más baja y alta, sin importar la unidad geomorfológica tratada, llámese colina, montaña, meseta, terraza y otros. (INGEOMINAS, 2004), y se expresa como la máxima diferencia de altura del terreno por Km². Para este caso cuando se usa ArcGis como herramienta de análisis, este índice se genera utilizando la orden (FocalRange) con un parámetro de 30 píxeles que es el valor aproximado de un kilómetro cuadrado. (Para modelos DEM de un arcosegundo.), (SGC, 2013).

INTERVALO DE ALTURA	DESCRIPCIÓN DEL RELIEVE	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL	CALIFICACIÓN	AREA(Has)	%
< 50m	Muy bajo	Materiales muy blancos y erosionados	1	56,950 85	0,1
50 - 200m	Bajo	Blando erosionable	1	24633, 29244	32
200 - 400 m	Moderado	Moderadamente blanco y erosión alta	2	51505, 03978	67
400 - 1000 m	Alto	Resistente y erosión moderada	3	1200,3 83594	1,6

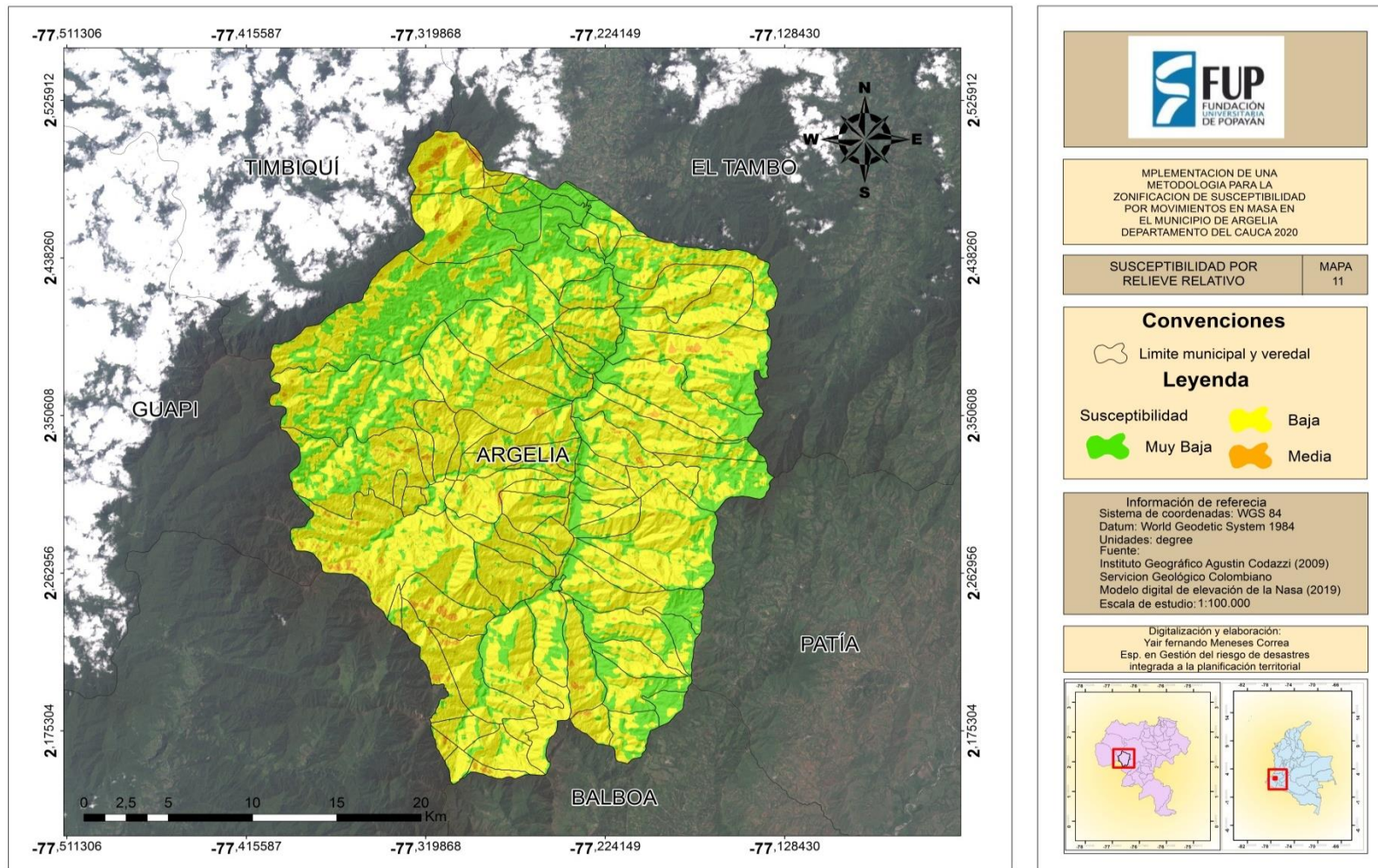
Tabla 17. Valores Relieve Relativo

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5. Porcentaje de Áreas por Relieve Relativo



Fuente: Elaboración Propia



- **Inclinación de la ladera (IL):** La inclinación de la ladera está generalmente relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de los movimientos en masa. En general se puede afirmar que existe una relación directa y proporcional. Aunque si es un factor dinámico importante, esta relación no siempre es correlacionable y depende principalmente del tipo de material (VARGAS, 2001 en INGEOMINAS 2004).

Tabla 18. Valores Inclinación de Ladera

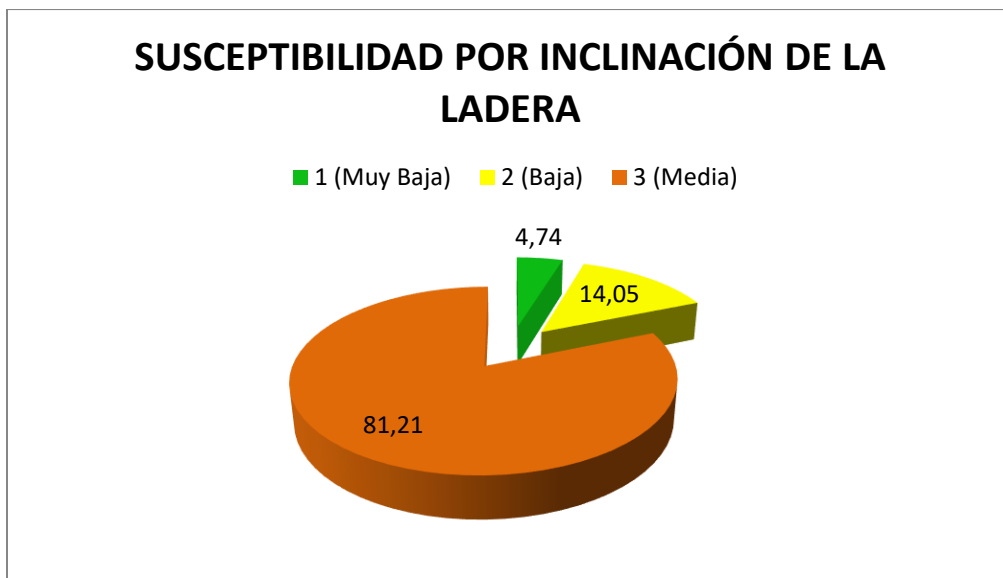
INCLINACION (Grados)	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	CALINCLI	ÁREA (HAS)	%
< 5	Plana a suavemente	Muy blanda y Muy baja susceptibilidad a MM	1	1426,11917	1,84268145
5 - 10°	Inclinada	Blanda y baja MM.	1	2242,05348	2,89694608
10-15°	Muy Inclinada	Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a MM.	2	4011,94903	5,18381927
15 - 20°	Abrupta	Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a MM	2	6864,04282	8,86899539
20 - 30°	Muy Abrupta	Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3	23996,3143	31,0055176
30 - 45°	Escarpada	Muy Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3	33885,4467	43,7832162
> 45°	Muy Escarpada	Extremadamente Resistente y Alta susceptibilidad a MM.	3	4967,76476	6,418824

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 18 se muestran los grados de inclinación de la ladera, tomado y modificado de Vargas 2001, en INGEOMINAS 2004 y su relación con la resistencia del material. La calificación se hace sobre la base que el proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, al igual que el caudal máximo, están muy influenciados por la

configuración topográfica, que está directamente relacionada con la inclinación de la ladera, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente, en la figura 21 se vislumbran los resultados espaciales.

Gráfico 6. Porcentaje de Áreas por Inclinación de Ladera



Fuente: Elaboración Propia

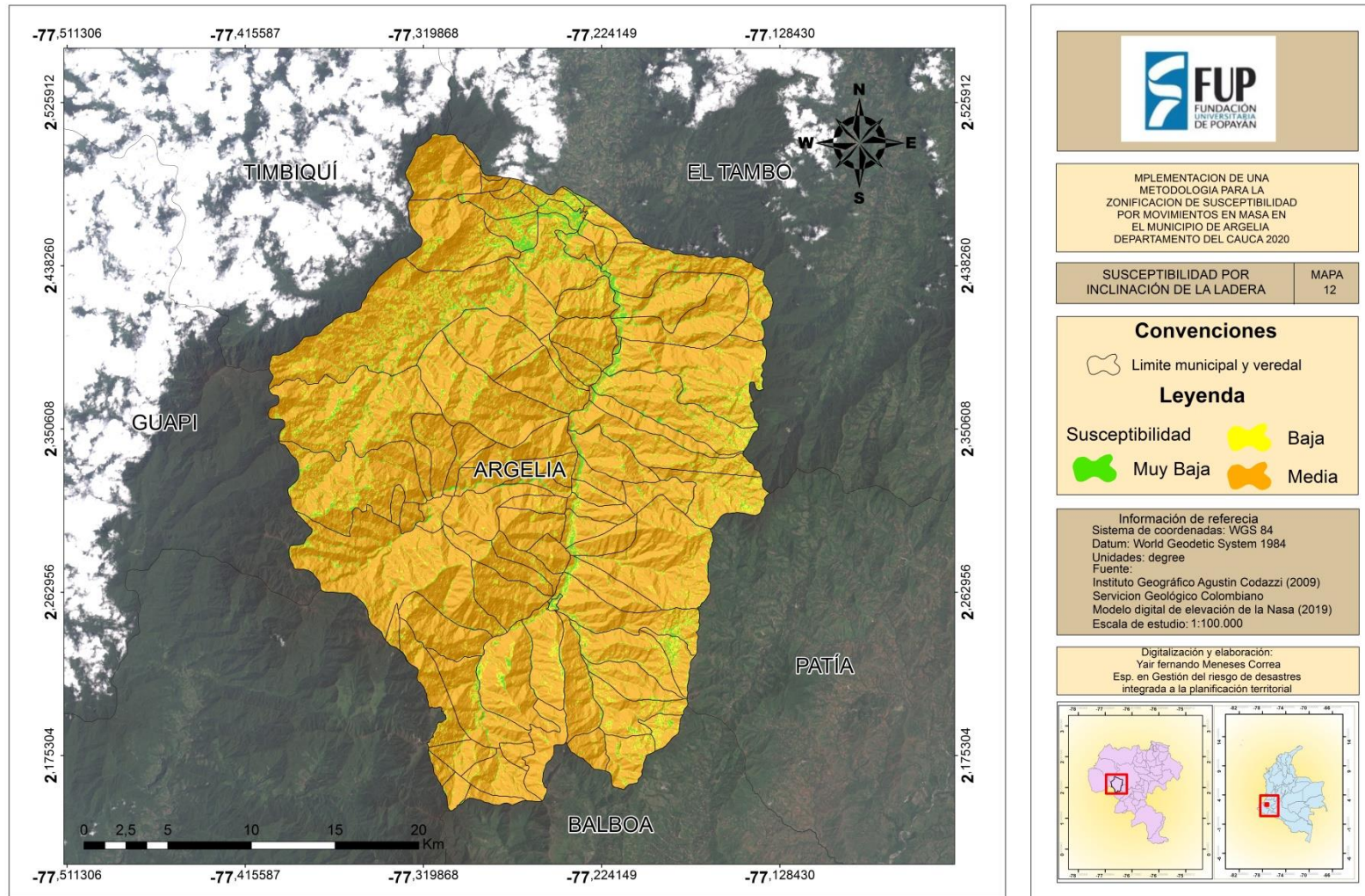


Figura 21. Mapa de susceptibilidad por Inclinação de Ladera, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca
 Fuente: Elaboración propia

Según lo anterior, se considera que la inclinación de la ladera que constituye una geoforma, no es atributo suficiente para determinar la ocurrencia de un movimiento, en tanto no exista la contribución de la posición geográfica de dicha ladera a la ocurrencia o amplificación del evento. En el mismo sentido puede considerarse que una geoforma puede ubicarse a una cota respecto al nivel del mar que propicie la ocurrencia de un movimiento en masa por factores climáticos y erosivos, sin embargo, si las laderas que constituyen dicha geoforma no tienen una inclinación significativa, la posibilidad que se modifiquen las condiciones de estabilidad es mínima, siempre y cuando no se modifique el equilibrio natural de la geoforma (SGC,2013)

➤ **Cálculo de susceptibilidad a Movimientos en masa por Morfodinámica**

Para el cálculo de la susceptibilidad ante movimientos en masa según la variable de Morfonidánica se emplearon los cálculos geométricos derivados del DEM, dichos cálculos son los valores de relieve relativo y la de inclinación de laderas, se realizaron mediante la aplicación del siguiente modelo cartográfico.

$$Sus_Morfodinámica = 0,6 \text{ Relieve Relativo} + 0,4 \text{ Inclinación de la Ladera}$$

Tabla 19. Valores de Susceptibilidad por la Variable de Morfodinámica

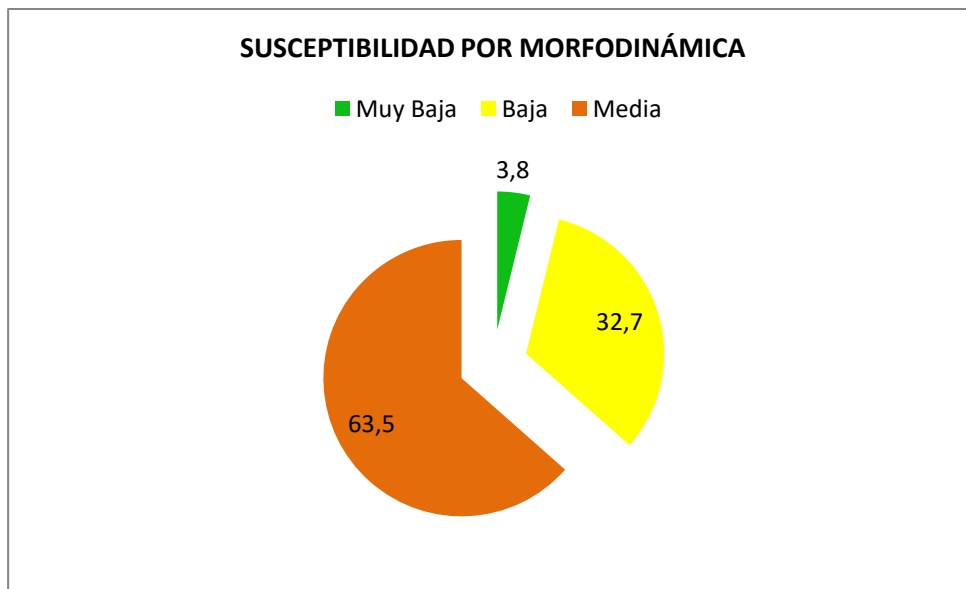
Calificación	Categoría	Área (has)	Porcentaje
1	Muy Baja	2959,65	3,8
2	Baja	25200,1	32,7
3	Media	48951,6	63,5

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado del procesamiento matemático-espacial de la sub-variable morfodinámica, como se expresó anteriormente, este modelo solo comprende el atributo de Relieve relativo e inclinación de ladera.

- **Susceptibilidad Muy Baja:** se obtuvo que 2959,65 hectáreas, aproximadamente el 3,8 por ciento sobre el área total del municipio presenta una categoría de Muy Baja susceptibilidad ante movimientos en masa, se identifica en todas las veredas en pequeñas extensiones y se concentra sobre las terrazas aluviales intermedias del río sanjuán del Micay.
- **Susceptibilidad Baja:** Las zonas categorizadas como susceptibilidad Baja, abarcan una extensión de 25200,1 has, aproximadamente el 32,7 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia, se localiza sobre las terrazas antiguas del río san juan del Micay, también sobre la parte noroccidental del municipio, abarcando grandes extensiones en los corregimientos del Naranjal, Santa clara y el Plateado, en la parte oriental del municipio se encuentran áreas de gran extensión en la parte alta del corregimiento de Argelia, El mango y el Sinaí.
- **Susceptibilidad Media:** El Área calificado como Susceptibilidad Media ante Movimientos en masa, abarca una extensión de 48951,6 has, representando el 63,5 por ciento sobre el área total del municipio, es la categoría de mayor extensión, se localiza en la parte centro y nororiental del municipio de Argelia, principalmente en las zonas de laderas y parte alta de piedemonte de los corregimientos de San Juan de la Guadua, La Florida, El Diviso, El Mango, La Belleza, Argelia, El Sinaí y Puerto Rico.

Gráfico 7. Porcentaje de Área susceptible por la variable Morfodinámica



Fuente: Elaboración Propia

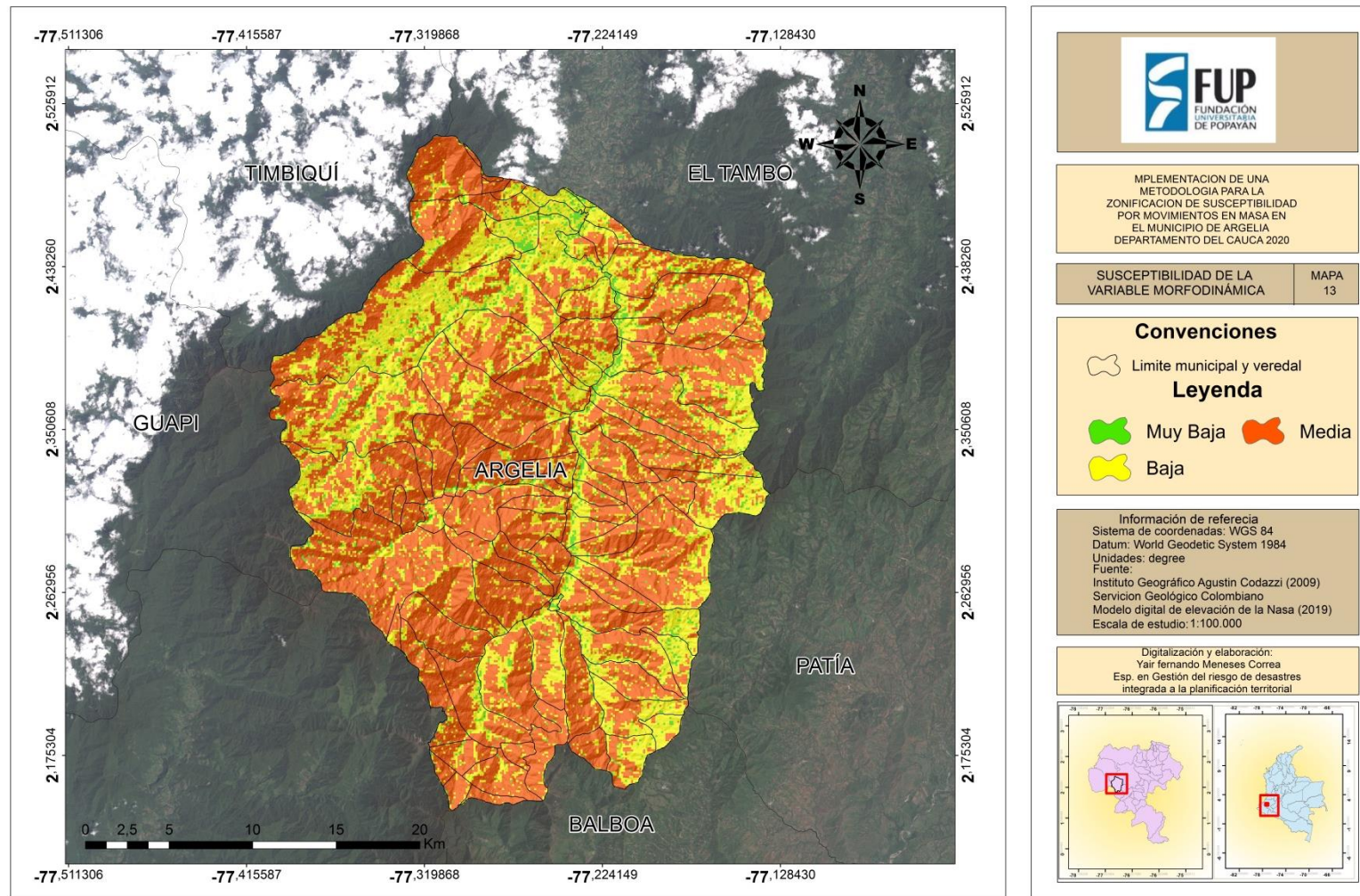


Figura 22. Mapa de susceptibilidad por Morfodinámica, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca
 Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Morfogénesis:

La morfogénesis comprende un proceso de identificación, delimitación y descripción de las formas del terreno, que relaciona el origen de las geoformas y la interacción dinámica de los agentes endógenos y exógenos, la morfogénesis indaga sobre las causas y procesos que dieron lugar a la formación del paisaje geomorfológico (SGC, 2013). La información morfogenética se representa en forma de unidades, resultantes de la interpretación, caracterización y zonificación geomorfológica. Los aspectos propios de las geoformas en su orden espacial individual y en su entorno se correlacionan igualmente con las condiciones morfométricas de una zona determinada. La morfogénesis apoyada en la morfocronología, recopila, explica y sintetiza de mejor manera la evolución del relieve y modelados.

La variable morfogénesis comprende el 30% de ponderación dentro del tema geomorfología, e incorpora los parámetros: génesis, procesos genéticos, modelado del relieve y ambiente de formación, los cuales independiente de tener un ambiente en común, pueden variar entre si y modificar las condiciones de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa. Para la calificación de esta variable, se emplearon los criterios de calificaciones del documento metodológico del SGC (2013) (ver tabla 20)

Para la identificación de esta sub-variable en el municipio de Argelia, se recurrió a información contenida en el estudio de suelos y zonificación de tierras, realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi del año 2009.

Tabla 20. Calificación de las unidades geomorfológicas según la morfogénesis

Ambiente	Origen	Proceso Genético	Modelado		Rango de Calificación	
			Agradación	Degradación	Agradación	Degradación
Costero	0	1	1	0	2	1
Fluvial	0	1	1	0	2	1
Eólico	1	1	1	0	3	2
Kárstico	1	1	1	0	3	2
Volcánico	2	0	1	0	3	2
Antrópico	2	1	1	0	4	3
Denudacional	2	1	1	0	4	3
Glacial	2	1	1	0	4	3
Estructural	3	0	1	0	4	3
			Exógeno	1	Agradacional	1
			Endógeno	0	Degradacional	0

Fuente: SGC (2013)

Para el municipio de Argelia se identificaron 3 ambientes morfogenéticos basados guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos, propuesta por el IDEAM (2013), dentro de los cuales se caracterizaron diferentes unidades o tipos de relieve. Estos ambientes corresponden al fluvial, denudacional y estructural, cuya cobertura espacial y porcentual se resume en la tabla 21

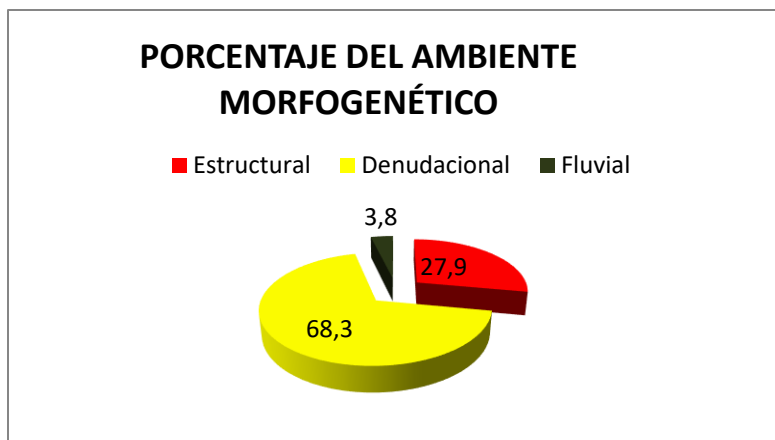
Tabla 21. Relación de ambientes morfogenéticos por área y porcentaje de cobertura

Ambiente	Area (has)	Porcentaje
Estructural	21628,2061	27,9
Denudacional	52920,3478	68,3
Fluvial	2935,42548	3,8

Fuente: Elaboración Propia

A grandes rasgos existe una predominancia del ambiente denudacional y seguidamente del estructural,(Ver gráfico 8) el ambiente fluvial sigue la orientación del río San Juan del Micay, atravesando de sur a norte el municipio de Argelia.

Gráfico 8 Porcentaje del ambiente morfogenético



Fuente: Elaboración propia

4.3.3.1 Ambiente Estructural:

El ambiente estructural abarca una extensión de 21628,2061 has, equivalentes al 27,9 por ciento sobre el área total del municipio, corresponde a las zonas dominadas por los bloques tectónicos de rocas sedimentarias plegadas y los macizos ígneos – metamórficos sin geoformas marcadas de otros ambientes. Comprende crestas, mesetas y lomeríos.

4.3.3.2 Ambiente Denudacional:

Las geoformas del ambiente denudacional son las de mayor extensión en el municipio de Argelia, cuentan con un área de 52920,3478 has, representando el 68,3 por ciento sobre el área total. Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas estructurales preexistentes y además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos. Comprende las unidades de colinas coluviales y laderas erosiónales.

4.3.3.3 Ambiente Fluvial:

está dominado por la acción de las corrientes de agua y el transporte de sedimentos sobre la superficie terrestre. Abarca un área de 2935,42 has, equivalentes al 3,8 por ciento sobre el límite total del municipio. Las geoformas fluviales cubren una importante área donde se asientan la mayoría de los centros poblados, están representadas especialmente por llanuras aluviales, conos aluvio-torrenciales, terrazas y valles laterales.

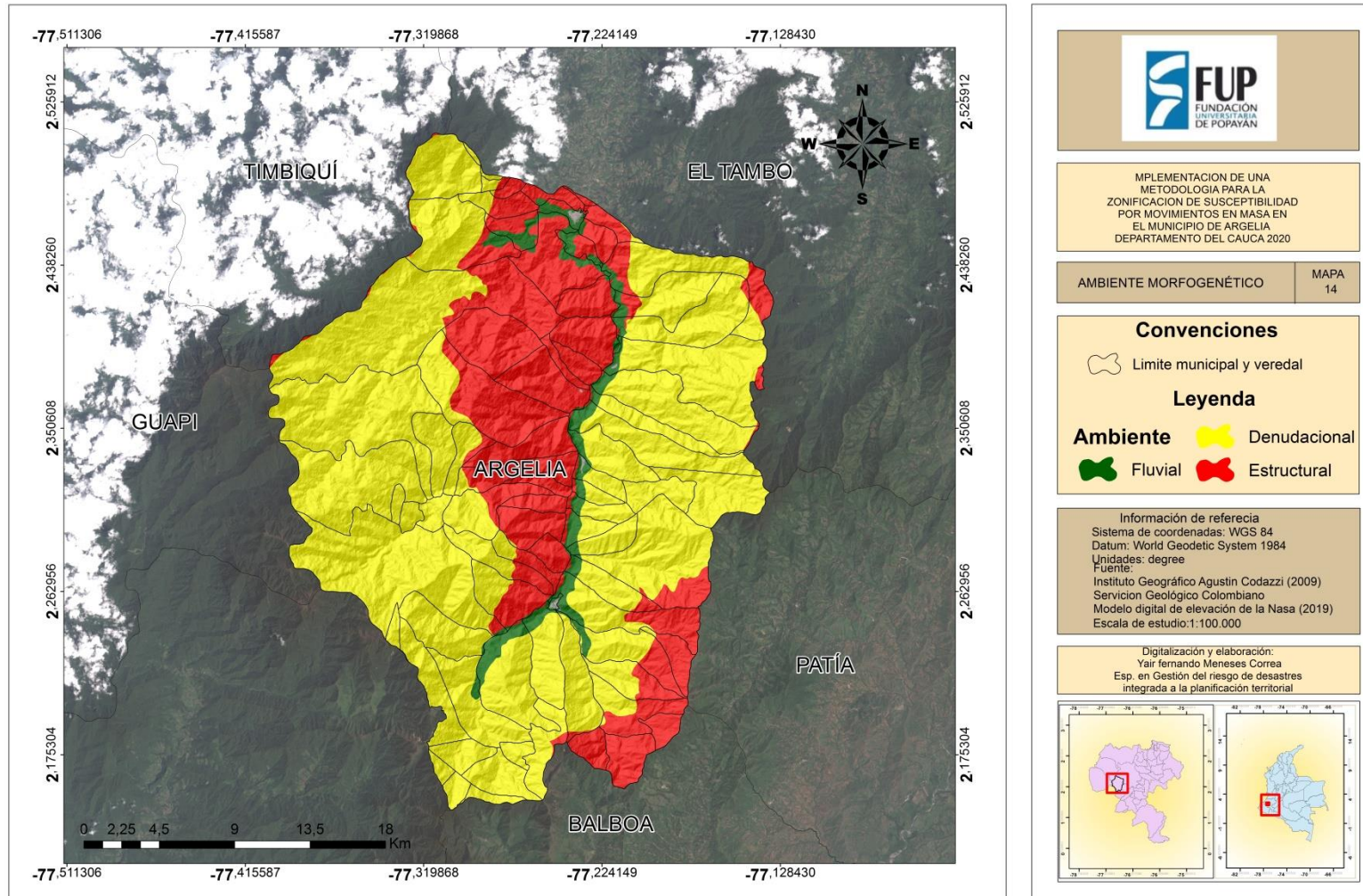


Figura 23. Mapa de ambiente morfogénico, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

➤ **Calificación de susceptibilidad ante movimientos en masa por morfogénesis**

La calificación por susceptibilidad de la variable morfogénesis, tuvo en cuenta la combinación de los parámetros génesis, procesos genéticos y modelado, así como el ambiente al cual pertenece cada unidad geomorfológica. Las categorías resultantes se presentan en el mapa de la figura 24 y en la tabla 22 y 23

Tabla 22. Calificación de los atributos de la morfogénesis

PAISAJE	ATRIBUTO DEL PAISAJE	TIPO_RELIE	LITOLOGÍA	UCG	AMBIENTE	ORIGEN	PROCESO GEO	MODELADO	RANGO DE CALIFI	AREA (has)
MONTAÑA	Montaña estructural erosional (MS)	Lomas y colinas (lc)	Capas de cenizas volcánicas sobre esquistos y diabasas	MSlc	Estructural	3	0	1	4	21329,1101
		Filas y vigas (fv)	Rocas sedimentarias (areniscas y lutitas)	MSfv1	Denudaciona l	2	1	0	3	8009,3817
			Rocas ígneas volcánicas que alternan con esquistos	MSfv2	Estructural	3	0	1	4	82,112454
			Capas de cenizas que sepultan rocas ígneas (basaltos, granodioritas y cuarzdioritas)	MSfv3	Denudaciona l	2	1	1	4	37622,6569
	Montaña fluvio-volcánica (MQ)	Vallecitos (v)	Depósitos coluvio-aluviales heterogéneos	MQv	Fluvial	0	1	1	2	2935,42548

	Montaña volcánica estructural-erosional (MVS)	Filas y vigas (fv)	Capas de cenizas volcánicas sobre arcillas rojas provenientes de rocas ígneas (diabasas)	MVSfv 1	Denudaciona l	2	1	0	3	7288,3092
			Capas de cenizas volcánicas sobre rocas metamórficas e ígneas (diabasas y esquistos)	MVSfv 2	Estructural	3	0	1	4	216,983518
	Zona urbana (ZU)	Zona urbana	Zona urbana	ZUzu	Urbano	0	1	0	1	88,129554

Fuente: Elaboración propia

La Génesis u origen hace referencia a la dinámica superficial del relieve que puede contribuir a la propensión física por movimientos en masa. De acuerdo a la metodología, el ambiente estructural se valora con la más alta calificación (3) por la fuerte influencia que tiene sobre los movimientos, el ambiente denudacional presenta una calificación media (valores de 2), y el kárstico baja (1), mientras que el ambiente fluvial por presentar una dinámica diferente frente a la ocurrencia de movimientos en masa, es valorado con la calificación más baja (0); El proceso genético Corresponde a la presencia o ausencia de fuerzas internas corticales que contribuyan por sí mismas a la conformación del relieve. Para el caso del ambiente estructural, el parámetro toma un valor de 0, en cuanto que no requiere de un agente externo para su ocurrencia, mientras que para los ambientes denudacional y fluvial, la calificación que se asigna es de 1, ya que requieren de un agente externo para su evolución; y el modelado Este atributo morfogenético considera el aspecto de construcción (agradación) y destrucción (degradación) de las geoformas. Como gran parte de la ocurrencia de movimientos en masa se relaciona con el transporte y acumulación de materiales; se han valorado con la calificación de 1 a aquellas unidades que se asocian con los procesos agradacionales, mientras que para las unidades propias de los procesos degradacionales la valoración corresponde a 0 (SGC, 2013).

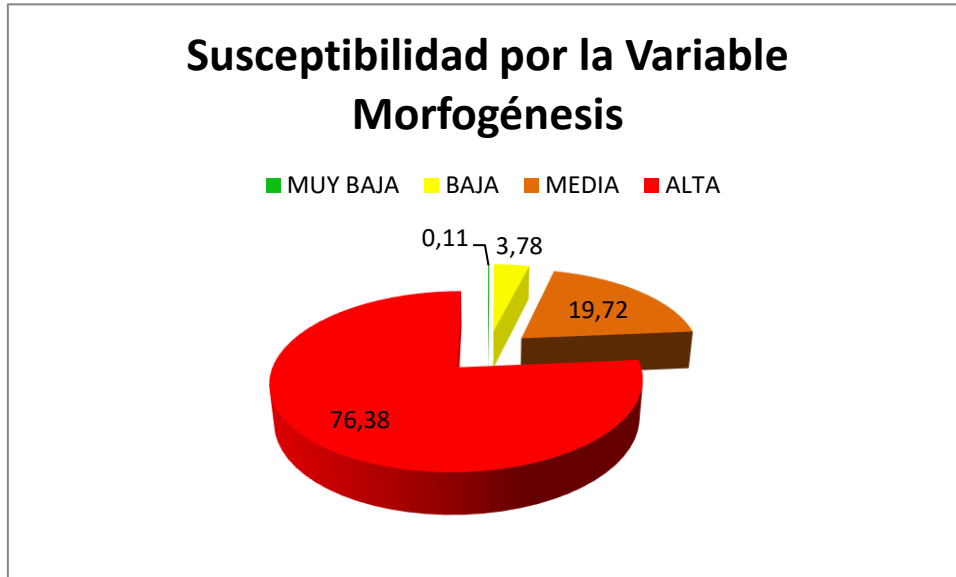
Como resultado de la aplicación del modelo espacial para la identificación de la susceptibilidad por la variable morfogénesis, se obtuvieron las siguientes área y porcentajes que se representarán en el mapa de la figura 24, tabla 22 y Grafica 9

Tabla 23. Valores de Susceptibilidad por la Variable Morfogénesis

CALIFICACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA (Has)	%
1	MUY BAJA	88,129554	0,11360985
2	BAJA	2935,42548	3,78412488
3	MEDIA	15297,6909	19,7206072
4	ALTA	59250,863	76,3816581

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9. Porcentaje de Susceptibilidad por la Variable Morfogénesis



Fuente: Elaboración propia

- **Susceptibilidad Alta:** La zonas de susceptibilidad Alta por la variable morfogénesis abarca una extensión de 59250,86 has, aproximadamente el 76,38 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia, se localiza en todas las veredas sobre un poligonal continuo, en dirección Noroccidente, situado sobre basamentos de rocas ígneas, con un modelados estructurales y denudaciones, los tipos de relieve predominante son los de filas y vigas.
- **Susceptibilidad Media:** La susceptibilidad media, contempla una extensión de 15297,69 hectáreas, con un porcentaje del 19,72 por ciento sobre el área total, y están caracterizadas especialmente por laderas denudacionales estables, colinas coluviales y conos torrenciales dentro de los ambientes de origen denudacional y fluvial, donde dominan los procesos exógenos y modelados agradacionales. Se localizan de forma aislada como áreas alargadas relacionadas con ambientes de tipo denudacional. Se localiza en la parte occidental de las veredas Santa Clara, El Naranjal, Las Pilas, San Juan de la Florida, Cañaverál, Bolivia y el Eden; por el lado

oriental de las veredas de Puerto rico, Sinaí, Tambo Largo, El Encanto, La cumbre y Cristales altos.

- **Susceptibilidad Baja:** Las áreas categorizadas como susceptibilidad baja, tiene una extensión de 2935,42 hectáreas, representando el 3,78 por ciento sobre el área total del municipio, se hayen en unidades menores asociadas al ambiente fluvial (valles coluvio aluviales, llanuras y terrazas), las cuales se ubican sobre todo el cañón del río Micay, estas se caracterizan por presentar procesos exógenos y modelados degradacionales.
- **Susceptibilidad Muy Baja:** Las áreas identificada y categorizadas como susceptibilidad Muy baja, abarcan una extensión de 88,12 hectáreas, equivalentes al 0,11 por ciento sobre el área total del municipio, se localiza sobre las cabeceras municipales de Argelia, El Mango, Plateado y Sinaí.

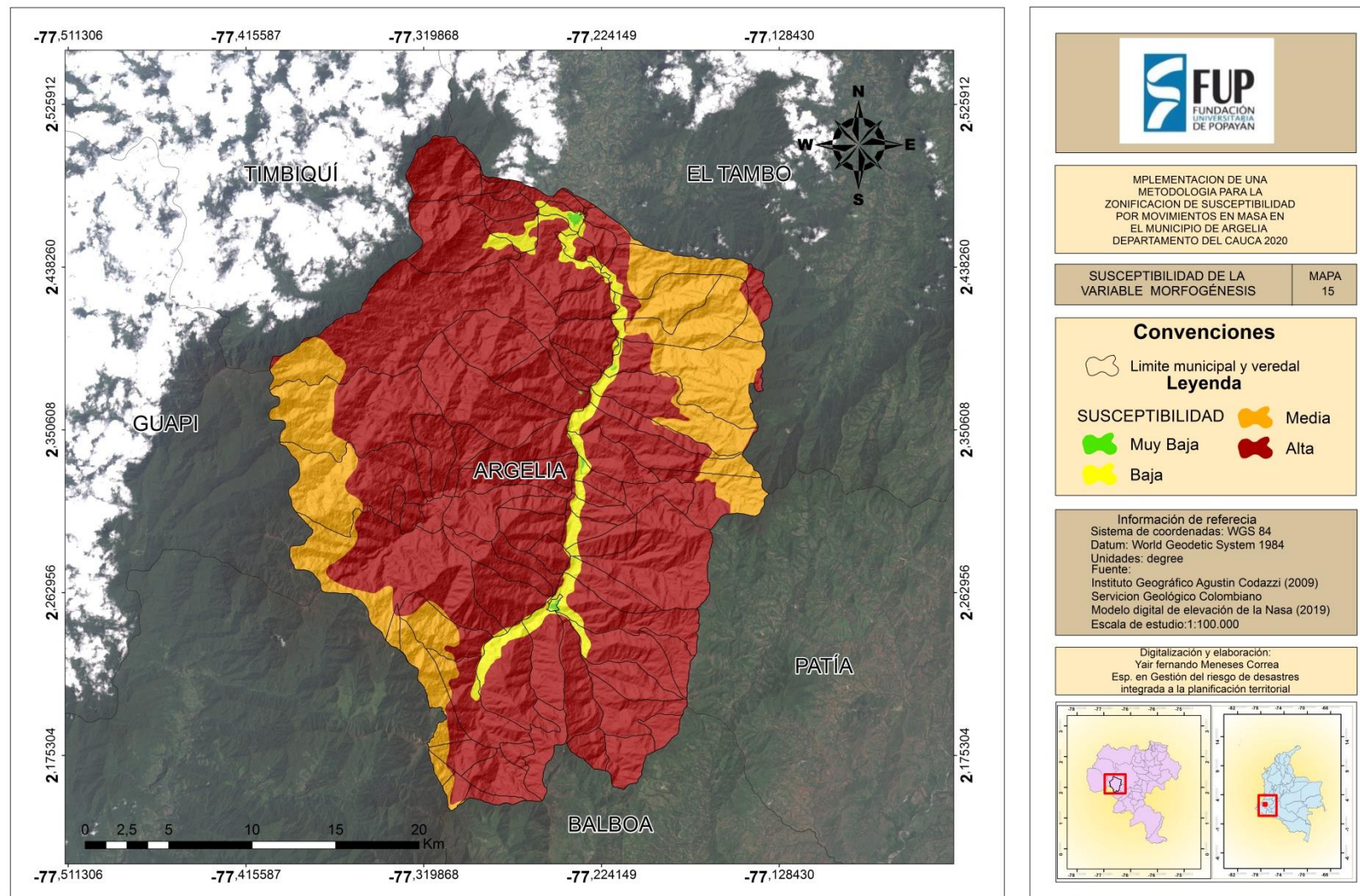


Figura 24. Mapa de Susceptibilidad por morfogénesis, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Susceptibilidad de la variable Geomorfología

La evaluación de la susceptibilidad de la variable geomorfológica es el resultado de la suma ponderada de los factores ya descritos y calificados de morfogénesis, Morfodinámica y Morfometría, según la siguiente ecuación

$$Sus_Gmf = Morfometría * 0.4 + Morfodinámica * 0.3 + Morfogénesis * 0.3$$

A partir de la operatividad de la ecuación del modelo de susceptibilidad geomorfológica, anteriormente expuesta, se encuentran rangos de susceptibilidad Alta a Muy baja.

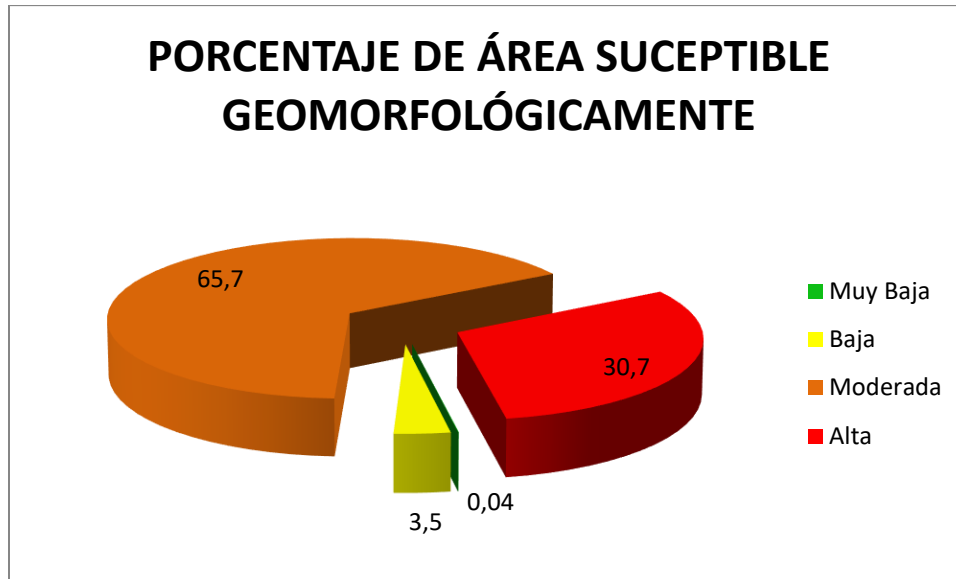
La distribución espacial y porcentual de la susceptibilidad ante movimientos en masa por la variable de Geomorfología se visualiza en la Figura 25, Tabla 24 y Grafica 10. Información que evidencia un mayor cubrimiento espacial por parte de la categoría de susceptibilidad moderada, representando el 65,7 por ciento sobre el área total, el restante se concentra en la susceptibilidad Alta con 30,7 por ciento, susceptibilidad Baja que representa el 3,5 por ciento y la susceptibilidad Muy baja contemplando tan solo el 0,04 por ciento sobre el área total del municipio

Tabla 24. Valores de Susceptibilidad Geomorfológica

CALIFICACIÓN	CATEGORIA	ÁREA	PORCENTAJE
1	Muy Baja	30,7	0,04
2	Baja	2679,8	3,5
3	Media	50698,5	65,7
4	Alta	23708	30,7

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10 . Porcentaje de Susceptibilidad Geomorfológica



Fuente: Elaboración propia

- **Susceptibilidad Alta:** Esta categoría abarca un área total del 23708 hectáreas, equivalentes al 30,7 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia, se encuentra asociada a pendientes escarpadas y abruptas en morfologías estructurales principalmente así como en algunas de origen denudacional con una litología generalmente sobre rocas ígneas, desarrollándose procesos de soliflucción, laderas erosivas, escarpes de erosión, sierras denudadas y sierras residuales. En general los suelos en la zona tiene alto contenido de arcilla y minerales primarios con profundidades que varían entre superficiales a profundas desarrolladas en un clima que varía entre cálido muy seco y frío muy húmedo. Debido a la interacción de los procesos estructurales, de meteorización, erosión y condiciones de suelos, se encuentra una gran cantidad de movimientos en masa relacionados con este rango de susceptibilidad.

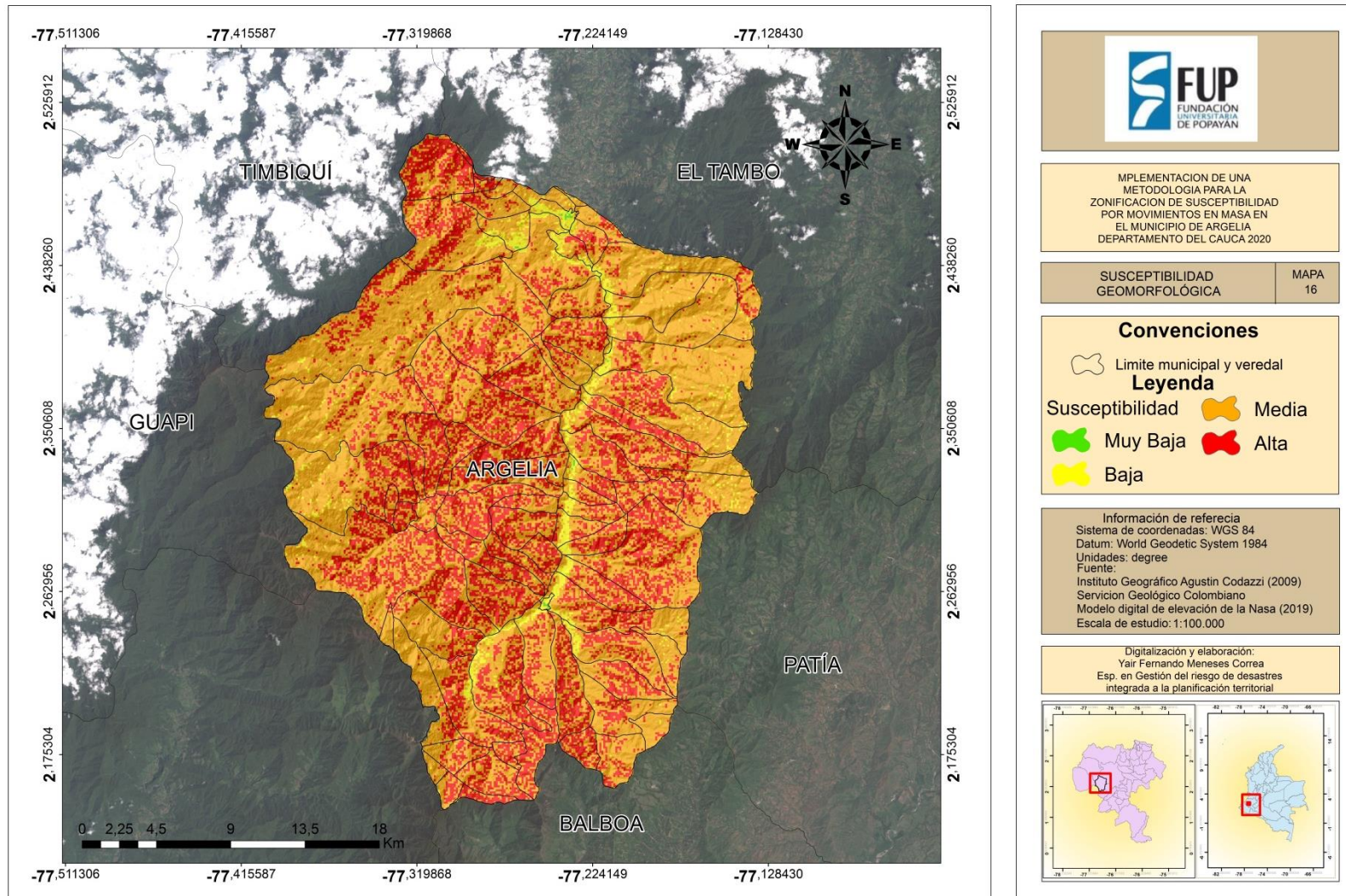
Las zonas de susceptibilidad alta se localizan en dirección Sur- Norte, con mayor predominancia en la zona centro del municipio correspondiente a los corregimientos de El Diviso, El Naranjal, El Mango, El Sinaí, Puerto Rico, Cabecera

Municipal, en los restantes corregimientos se identifican áreas localizadas en pequeñas proporciones.

- **Susceptibilidad Media:** El rango de susceptibilidad Media, es el más representativo, contempla aun área de 50698,5 hectáreas, representando el 65,7 por ciento sobre la superficie total del municipio, se presenta generalmente en laderas con pendientes muy inclinadas, relieves con intervalos de altura entre 400 – 1000 mts, con erosión moderada, se asocian principalmente a un ambiente estructural, en menor medida al ambiente denudacional.

La susceptibilidad media se distribuye sobre todo en municipio de forma heterogénea, con mayor presencia en la parte occidental de los corregimientos corregimiento de San Juan de la Guadua, El Naranjal, Santa Clara, Zona norte del corregimiento del Plateado, Zona oriental de los corregimientos de Puerto rico, Sinaí y el Mango.

- **Susceptibilidad Baja:** Abarca el 3,5 por ciento de extensión, con un área total de 2679,8 hectáreas. La susceptibilidad baja, en general, se determinó por la concurrencia de morfologías asociadas relieves de origen fluvial como llanuras, y terrazas de origen fluvial, así como a colinas coluviales de origen denudativo, caracterizadas por las pendientes planas a suavemente inclinadas y los relieves relativos bajos. Se localiza sobre las veredas que se encuentran en las inmediaciones las terrazas aluviales del río Micay, en dirección Sur- Norte.
- **Susceptibilidad Muy Baja:** El rango de susceptibilidad muy baja se desarrolla en el ambiente fluvial asociado al río Micay. Debido a la baja topografía de las áreas asociadas a este rango, no se reportan movimientos en masa de gran magnitud ni procesos erosivos importantes, lugar donde se sitúan los centros poblados del Mango, Sinaí y Argelia. Contempla un área de 30,7 Has, equivalentes al 0,04% sobre el área total



4.4 Valoración de la susceptibilidad por el atributo de cobertura de la tierra

La vegetación es un elemento del paisaje que coadyuva a la protección del suelo, el desarrollo sostenible de las regiones, que incluye un equilibrio entre los componentes sociales, económicos, ambientales y ecológicos. Un aporte de la vegetación es la regulación del ciclo hidrológico, que mitiga en gran medida grandes avenidas o crecientes, la cual es una de las principales causas de las inundaciones en poblaciones y áreas estratégicas. (Rangel, O. 2004)

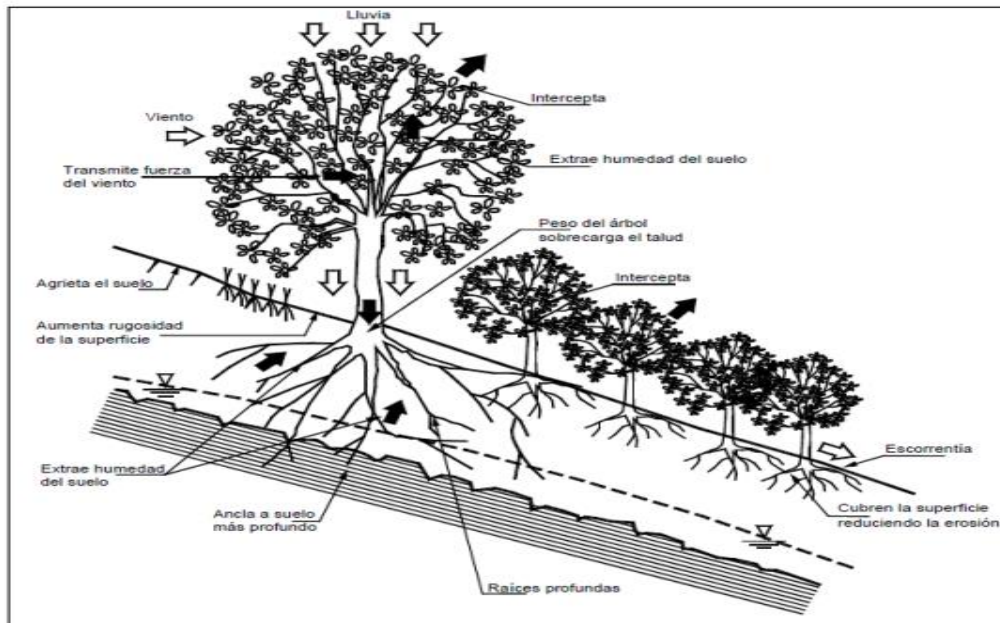
Las coberturas vegetales en especial las boscosas se ven amenazadas por las actividades humanas ligadas a sistemas de producción extensivo (agrícola, ganadero y minero), sobrepastoreo, que inducen a cambios en los patrones de las comunidades vegetales y a la liberación del stock de carbono que influye en el aumento de la temperatura global (cambio climático). (Rangel, O. 2004)

Los efectos de la vegetación sobre el suelo, incluye la regulación del ciclo hidrológico debido a la interceptación de la lluvia que evita la erosión por goteo y la transpiración de las plantas que elimina gran cantidad de agua del sustrato indicando que las precipitaciones intensas son una causa de los deslizamientos (ver figura 26)

En la variable de coberturas se evaluaron cuatro atributos: profundidad radicular, drenaje profundo, evapotranspiración y número de estratos, que aportaron a la construcción del modelo de susceptibilidad a la amenaza de remoción en masa.

En la Figura 27, se muestra el componente cobertura de la tierra con sus atributos a calificar y pesos dentro del modelo de susceptibilidad.

Figura 26. Efectos de la vegetación sobre el suelo



Fuente: (Suárez, 2001)

Figura 27. Atributos de la variable cobertura de la tierra, con sus respectivos porcentajes



Fuente: (SGC, 2013).

Para la identificación de la cobertura de la tierra se emplearon técnicas e instrumentos de la Geomática, se emplearon imágenes del sensor remoto Sentinel 2A con fecha de febrero del 2020, posteriormente se hicieron las correcciones radiométricas y atmosféricas para la obtención de las reflectancias de la imagen, el cual permite la identificación, por medio de firmas espectrales, de la cobertura de la tierra.

En el municipio de Argelia, se identificaron 6 coberturas de la tierra, empleando la metodología Corine land Cover, adaptada para Colombia por el IDEAM a escala 1:100.000. encontrando que el 46,1 por ciento del territorio está cubierto por Bosque denso bajo de tierra firme, el 26,3 por ciento es cubierto por Bosque denso alto de tierra firme, el 15,8 por ciento pertenece al cultivo de coca, el 11,1 por ciento son suelos desnudos, gran parte de este porcentaje se relaciona con el cultivo de coca, puesto que cuando la hoja de coca es cosechada los sensores remotos identifican esas áreas como suelo desnudo, es restante pertenece las zonas urbanas discontinuas, ríos y cobertura de nube. (ver tabla 25, figura 28)

Tabla 25. Cobertura de la tierra en el municipio de Argelia

COBERTURA VEGETAL	ÁREA	PORCENTAJE
Bosque denso alto de tierra firme	20383,7343	26,3
Bosque denso bajo de tierra firme	35654,0195	46,1
Cultivos de Coca	12201,0467	15,8
Suelo Desnudo	8618,51215	11,1
Río	46,203792	0,1
Tejido Urbano Discontinuo	130,408869	0,2
Nubes	360,670997	0,5

Fuente: Elaboración propia

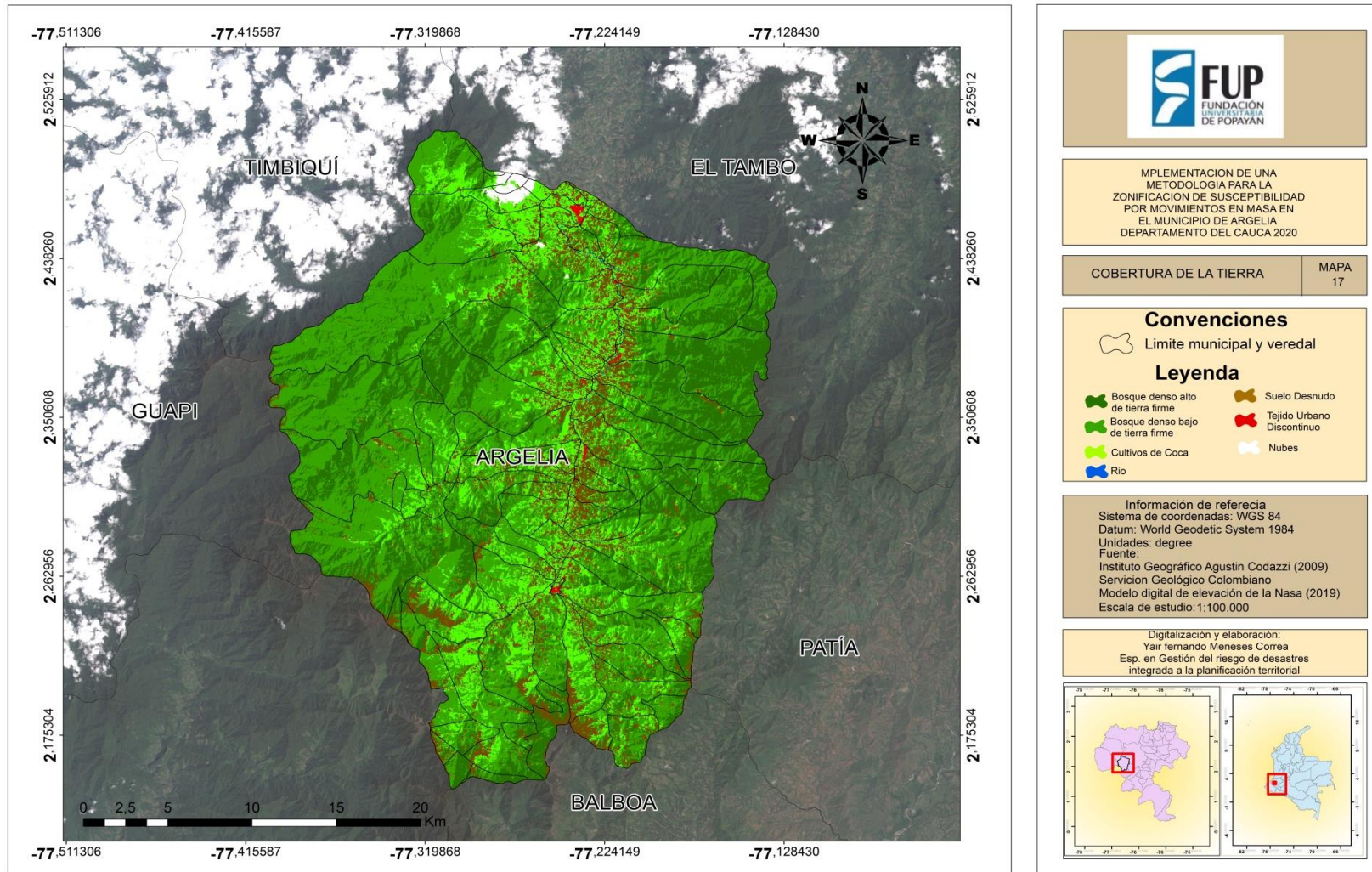


Figura 28. Mapa de Cobertura de la tierra, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca
Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Profundidad radicular

Este atributo indica la profundidad máxima del suelo hasta donde pueden penetrar las raíces sin mayores impedimentos. Las raíces actúan como refuerzo y sostén del suelo incrementando la resistencia a la fuerza tractiva del agua. Es sabido que a mayor profundidad radicular menor es la susceptibilidad de la cobertura a los movimientos en masa. Las coberturas que mejor regulan los flujos de agua también son las que mejor protegen los suelos, como ciertos ecosistemas con el sistema radicular calificado con 1 y 2, contribuyendo así a estabilizar los terrenos. En la Tabla 26, se presentan la categorización y la calificación del atributo, cuyos datos fueron tomados del documento metodológico del Servicio Geológico Colombiano - SGC (2013) sobre la variable cobertura de la tierra.

Tabla 26. Categorización y calificación del atributo Profundidad radicular

Profundidad Efectiva (Pt)			Profundidad Radicular (Pr)
Profundidad (cm)	Categoría	Calificación*	Susceptibilidad
Menos a 25	Muy superficial	1	5
25-50	Superficial	2	4
50-100	Medianamente profundo	3	3
100-150	Profundo	4	2
Mayor 150	Muy profundo	5	1

Fuente: SGC, 2013; Manual de suelos de la Subdirección de Agrología - USDA (2007).

El atributo de profundidad radicular se muestra en la Tabla 27 asignando la calificación según metodología del SGC, tomando como referencia la profundidad efectiva de los suelos presentes en el municipio de Argelia, es de aclarar que una misma unidad de cobertura no tiene igual calificación de profundidad radicular ya que está relacionada directamente con la unidad de suelos presente.

Tabla 27. Profundidad Radicular de las coberturas identificadas en el municipio de Argelia

Cobertura vegetal	Profundidad radicular (cm)	Calificación
Bosque denso alto de tierra firme	980	1
Bosque denso bajo de tierra firme	150	2
Cultivos de Coca	20	5
Suelo Desnudo	20	5
Rio	0	1
Tejido Urbano Discontinuo	0	1
Nubes	0	1

Fuente: Elaboración propia

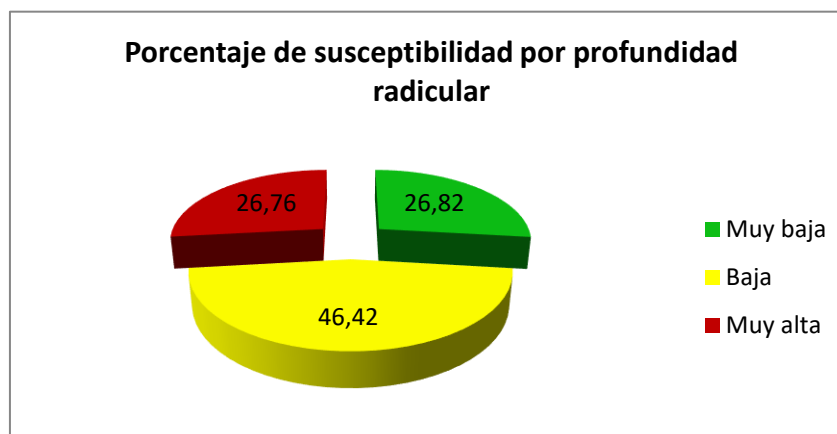
A continuación se indica la clasificación del atributo profundidad radicular, en función de la susceptibilidad a los movimientos en masa

Tabla 28. Clasificación de susceptibilidad por profundidad radicular

Calificación	Susceptibilidad	Área(has)	Porcentaje
1	Muy baja	20759,2579	26,82
2	Baja	35927,3579	46,42
5	Muy alta	20707,9813	26,76

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11. Porcentajes de la susceptibilidad por profundidad radicular



Fuente: Elaboración propia

Conforme a las calificaciones propuestas para esta variable, se obtuvo el mapa de la figura 29, en el cual se espacializan los diferentes grados de susceptibilidad por profundidad radicular, los cuales son Muy baja, Baja y Muy alta.

- **Susceptibilidad Muy baja:** Los valores muy bajos de Susceptibilidad (1), corresponden a sistemas radiculares muy profundos, ocupan un área de 20759,2579 hectáreas, equivalentes al 26,82 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia. está relacionado con la cobertura de bosque denso alto de tierra firme , se localizan en pequeñas áreas heterogéneas sobre todas las veredas del municipio, principalmente en la parte alta montañosa
- **Susceptibilidad Baja:** Los valores bajos de Susceptibilidad (2), corresponden a sistemas radiculares profundos. Abarcan un área de 35927,3579 Hectáreas, equivalentes al 46,42 por ciento sobre el área total, está asociado con la cobertura de bosque denso bajo de tierra firme, localizado sobre todas las veredas del municipio.
- **Susceptibilidad Muy alta:** Valores muy altos de Susceptibilidad (5), que corresponden a sistemas radiculares muy superficiales, comprenden un total de 20707,9813 hectáreas, equivalentes al 26,76 por ciento sobre el ara total del municipio, contempla coberturas de la tierra tales como suelos desnudos y cultivos de coca, este cultivo presenta una baja capacidad raizal y un periodo de 2 a 3 meses la capacidad arbórea es nula, puesto que son periodos de cosecha, el cual consiste en quitarle las hojas, se localizan principalmente sobre el cañón del río Micay, en sentido sur norte y en la parte baja y media del piedemonte que lo rodea .

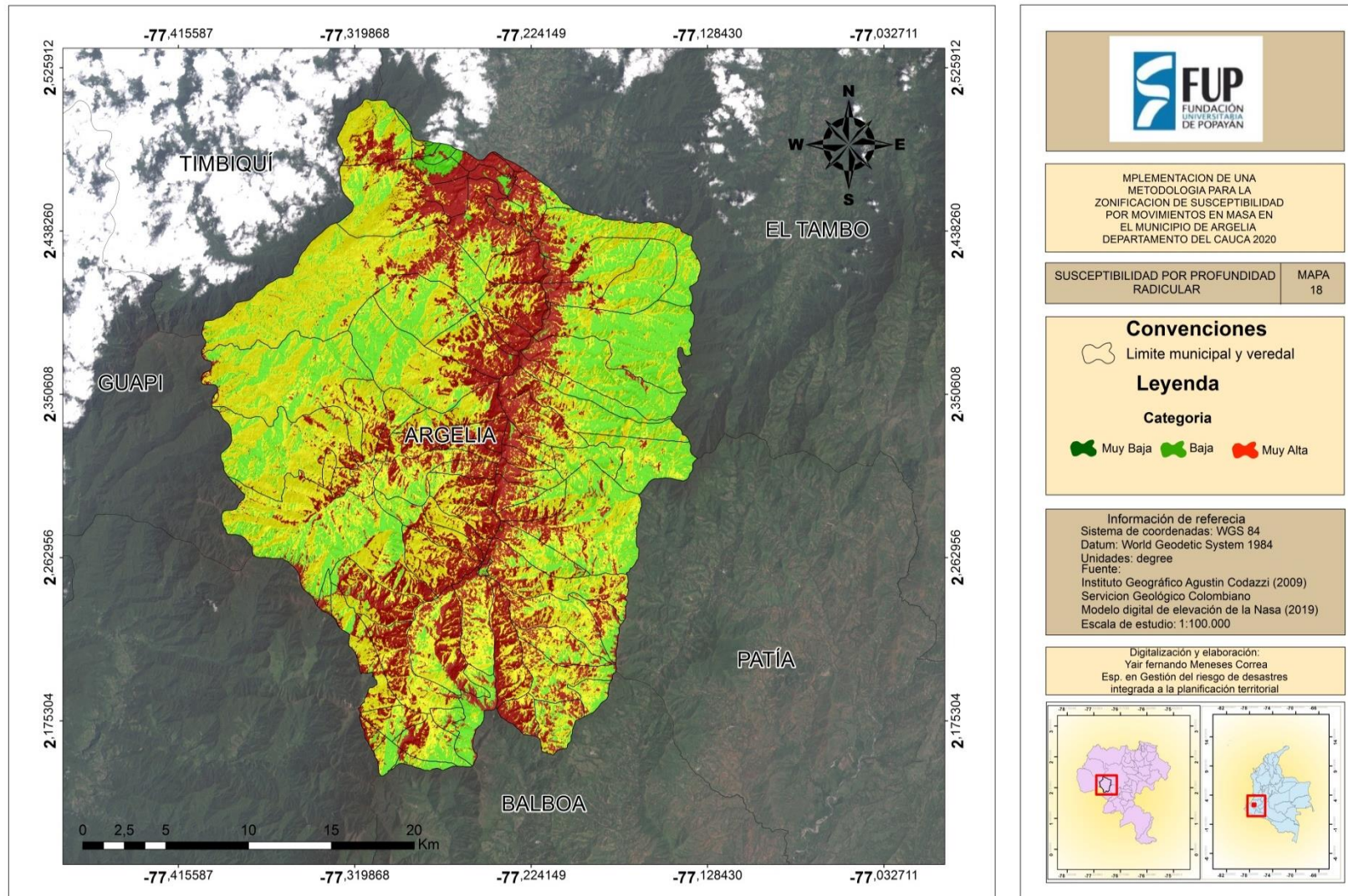


Figura 29. Mapa de susceptibilidad por profundidad radicular, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Drenaje profundo.

Significa la facilidad con la cual el flujo de agua se mueve hasta el drenaje profundo en presencia de determinada cobertura vegetal. Implica la capacidad de las coberturas a la interceptación del volumen caído de precipitación, hasta llegar al suelo, donde empieza el proceso de infiltración. (SGC,2013). La importancia de la cobertura en cuanto a este factor, radica en su papel regulador de los procesos iniciales de infiltración, retención de humedad y escorrentía.

En general, se puede observar que, en los suelos de las coberturas boscosas y arbustivas, la presencia de densos sistemas radiculares y de materia orgánica (con canales y macroporos por la acción de las raíces), permite condiciones hidráulicas favorables a la infiltración, la retención y la conductividad. Los anteriores aspectos facilitan que el flujo del agua llegue hasta el drenaje profundo; cuanta más agua pasa por las diferentes capas de la cobertura y del suelo, menor la saturación en los primeros horizontes y menor la presión del agua sobre los poros. De esta manera, se genera un mayor almacenamiento (temporal) en el ecosistema y un mayor alcance de los flujos a los acuíferos, lo que significaría cantidades menores de recargas y flujos superficiales laderas abajo y disminución del potencial de ocurrencia de eventos de remoción en masa (SGC, 2013). El parámetro drenaje profundo fue calificado de acuerdo con el método Curva Numero (CN), el cual permite estimar la escorrentía y las pérdidas relacionadas a la infiltración.

Para aplicar el método se contemplan las clases de drenaje natural y cuatro grupos de suelos en función de las características texturales y las tasas de infiltración, (ver tabla 29)

Tabla 29. Equivalencia de los grupos texturales de suelos (CN)

Componente de Suelos Drenaje Natural (D)		Curva Número (CN) Tipos de suelos		
Clase	Categoría de Susceptibilidad	Grupo textural	Descripción	Tasa de Infiltración (mm.h-1)
Excesivo	1	A	Arenas profundas, loes, limos agregados	7,62 – 11,43
Moderadamente excesivo				
Bueno (Bien)	2	B	Loes superficial, suelos franco-arenoso	3,81 – 7,62
Moderado	3			
Imperfecto	4	C	Suelos franco-arcillosos, franco arenosos superficiales, bajos en materia orgánica y usualmente altos en arcilla	1,27 – 3,81
Pobre				
Muy pobre	5	D	Suelos que escurren muy bien, arcillas plásticas pesadas y ciertos suelos salinos	0 – 1,27
Pantanosos				

Fuente: (Tomado de SGC, 2013).

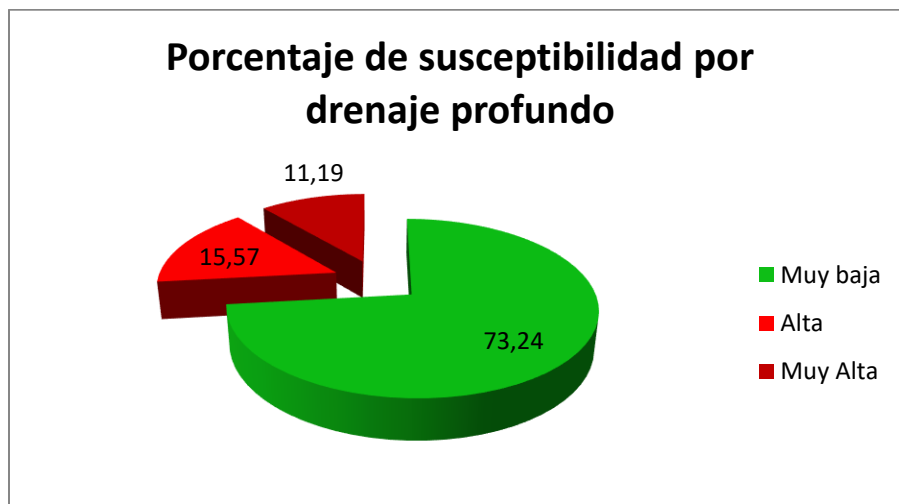
A continuación se indican los valores de con las categorías de susceptibilidad ante movimientos en masa por el atributo de drenaje profundo por cantidad de área y porcentaje. (ver tabla 30)

Tabla 30. Valores de susceptibilidad por el atributo de drenaje profundo

Calificación	Susceptibilidad	Área (has)	Porcentaje
1	Muy baja	56686,6159	73,24
4	Alta	12047,9534	15,57
5	Muy Alta	8660,02782	11,19

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12. Porcentajes de susceptibilidad por drenaje profundo



Fuente: Elaboración propia

El análisis de este atributo parte de que entre más favorezca una cobertura a la transmisión de agua al nivel acuífero, o entre más fácil sea este proceso, menor es la posibilidad de falla de los suelos.

En el municipio se identificaron tres categorías de susceptibilidad ante movimientos en masa por el atributo de drenaje profundo, son la Muy baja, con calificación 1, la categoría Alta con calificación de 4 y la Muy alta con calificación 5.

- **Susceptibilidad Muy baja:** Las áreas calificadas como susceptibilidad Muy baja con valores (1) corresponden a drenajes profundos, es decir, hay mayor infiltración del agua en el suelo, esta categoría ocupa una extensión de 56686,6159 hectáreas, equivalentes al 73,24 por ciento sobre el total del municipio, siendo esta la de mayor predominancia en el municipio, se compone por cobertura de Bosque denso alto de tierra firme y Bosque denso bajo de tierra firme, se sitúa de forma heterogénea sobre todas las veredas del municipio, principalmente en parte alta de los paisajes de montañas, estos tipos de coberturas se desarrollan generalmente en áreas que no están sujetas a periodos de inundaciones.

- **Susceptibilidad Alta:** La categoría de susceptibilidad alta, con valores de calificación (4), tiene un cubrimiento del 15,4 por ciento, con una extensión de 12047,953 hectáreas, los suelos presentan un drenaje superficial, se relaciona con coberturas de la tierra de cultivos, que para el caso de Argelia en predominante es el de la Coca. Espacialmente se distribuye sobre el cañón del río Micay y en la parte baja y media de la zona montañosa.
- **Susceptibilidad Muy Alta:** La categoría de susceptibilidad Muy alta, con valores de calificación (5), cubre un área de 8660,0278 hectáreas, representado el 11,19 por ciento sobre el área total del municipio, son suelos con drenajes muy superficiales, el suelo es poco permeable, la capacidad porosa de este permite una mayor escorrentía superficial, principalmente de tipo difusa.
Se distribuye sobre el cañón del río Micay, en las terrazas aluviales y en la parte baja y media del sistema montañoso de la zona, la cobertura de la tierra es de suelos desnudos o degradados, cabe resaltar que estas áreas son destinadas para el futuro cultivo de coca.

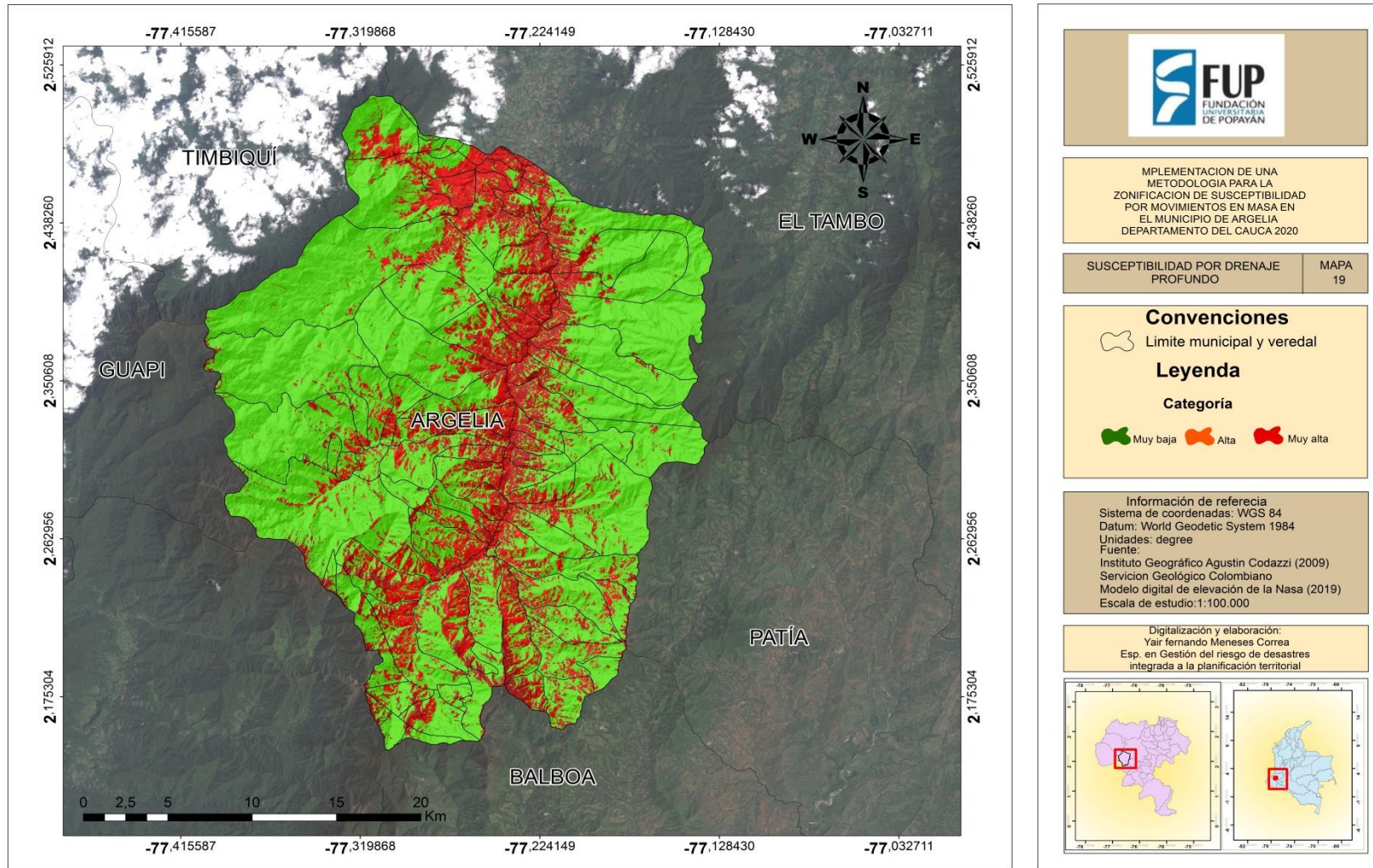


Figura 30. Mapa de susceptibilidad por drenaje profundo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Evapotranspiración.

La evapotranspiración (EVT) es la combinación de dos procesos separados, por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo: evaporación y transpiración de la cobertura. La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. En términos de susceptibilidad a remoción en masa, se plantea que entre mayores valores de evapotranspiración tenga una cobertura, menor es la cantidad de agua almacena en el sistema suelo-planta, lo que implica la disminución en la saturación de los suelos y por ende en la potencial ocurrencia de eventos de remoción (SGC, 2013).

A continuación se presenta la Tabla 31 la cual sirve de referencia para la calificación de la Evapotranspiración (tomada del SGC, 2013)

Tabla 31. Categorización y calificación de la variable evapotranspiración.

Evapotranspiración	Rango (mm)	Susceptibilidad
No presenta	0	0
Muy Baja	0 – 0,5	5
Baja	0,51 – 0,8	4
Media	0,81 – 1	3
Alta	1,1 – 1,5	2
Muy Alta	Mayor de 1,5	1

Fuente: Tomado del (SGC 2013)

Una alternativa para la variable es usar el K_c . Existe información variada sobre el parámetro, para efectos del presente trabajo se consultó los valores referentes de la FAO. Para valorar las coberturas identificadas en el municipio de Argelia, K_c más altos (1,1, 1,5), tendrá un calificación de 1 – 2.

Para el análisis de este atributo se parte de que entre más evapotranspiración tenga una cobertura, el suelo puede descargarse más de agua y así disminuir la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

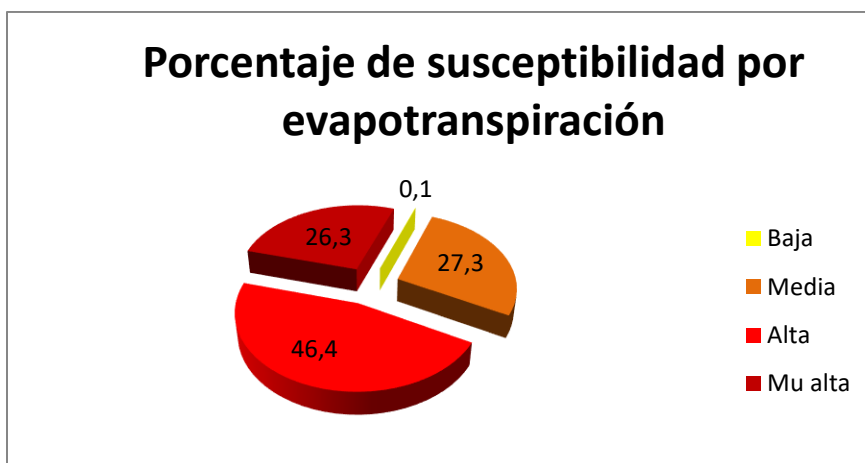
En la Tabla 32 y grafico 13, se muestran los resultados de la calificación de la susceptibilidad del atributo evapotranspiración, respecto a la susceptibilidad a los movimientos en masa.

Tabla 32. Calificaciones de la susceptibilidad de la evapotranspiración

Calificación	Susceptibilidad	Área (has)	Porcentaje
2	Baja	49,062826	0,1
3	Media	21091,5493	27,3
4	Alta	35927,3579	46,4
5	Mu alta	20326,627	26,3

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13. Porcentaje de susceptibilidad por evapotranspiración



Fuente: Elaboración propia

- **Susceptibilidad Baja:** Los valores bajos de susceptibilidad (2), que corresponde a la evapotranspiración alta. Ocupan un área de 49,062 hectáreas, 0,1 por ciento del área total del municipio, y están relacionados con las superficies de agua, específicamente las áreas del cauce mayores de 30 metros del río Micay. Por lo

tanto el suelo es susceptible a saturación hídrica y se descarga rápidamente de agua con lo cual la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa es baja.

- **Susceptibilidad Media:** Los valores medios de susceptibilidad (3), corresponden a la evapotranspiración media. Ocupan un área de 21091,54 Hectáreas, equivalentes al 27,3 por ciento sobre el área total del municipio, que corresponde a las coberturas de tierras desnudas y degradadas y cultivos de coca, los climas en los que se encuentran estas coberturas son cálido húmedo, cálido seco y templado seco, en los cuales se regula moderadamente la saturación hídrica del suelo, sin embargo el tipo de material edáfico, la permeabilidad, y las condiciones de variabilidad climática podrían presentar procesos de inestabilidad, con lo cual la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa es media.
- **Susceptibilidad Alta:** Los valores altos de susceptibilidad (4), corresponden a la evapotranspiración baja, representando un área total de 35927,35 Hectáreas, equivalentes al 46,4 por ciento del área total del municipio están relacionados con las coberturas de bosque abierto bajo de tierra firme, los climas en los que se encuentran estas coberturas son cálido seco, templado húmedo y templado seco. La baja evapotranspiración hace que el suelo se descargue muy lentamente de agua, quedando una gran cantidad dispuesta como agua de escorrentía, con lo cual la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa es alta.
- **Susceptibilidad Muy Alta:** Los valores muy altos de susceptibilidad (5), corresponden a la evapotranspiración muy baja, representando un área total de 20326,627 Hectáreas, equivalentes al 26,3 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia, estando relacionada con las coberturas de bosque denso alto de tierra firme. Los climas en los que se encuentran estas coberturas son cálido húmedo, cálido muy húmedo y frío seco. Las condiciones climáticas limitan la transpiración en la vegetación, generando una alta saturación hídrica en el suelo favoreciendo procesos de deslizamientos, por lo que la susceptibilidad a movimientos en masa es muy alta.

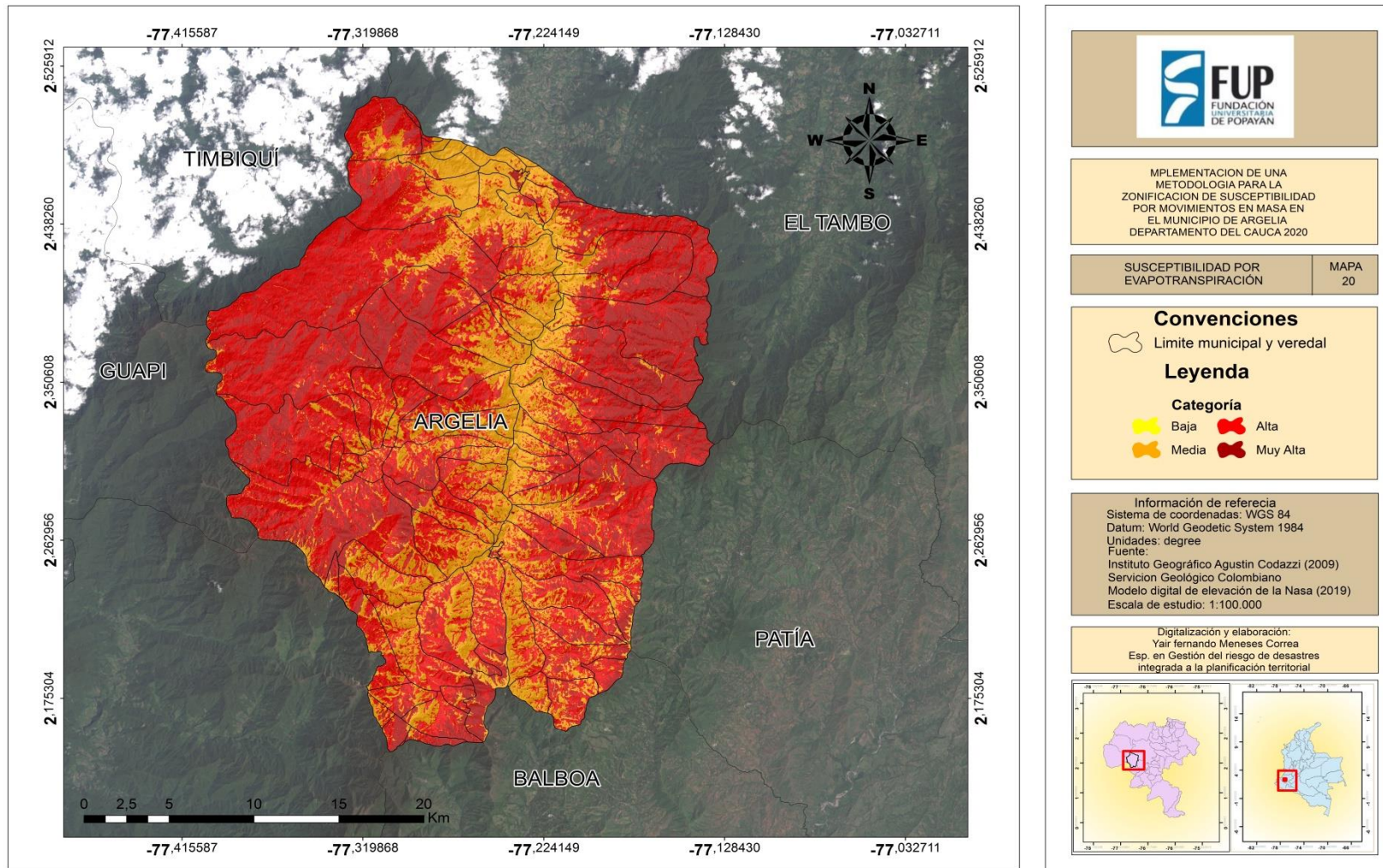


Figura 31. Mapa de susceptibilidad por evapotranspiración, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.4.4 Número de estratos

El parámetro número de estratos considera la distribución de la vegetación en el ecosistema. La evaluación del número de estratos de una cobertura vegetal se define con base en las diferentes alturas de la vegetación, el tamaño y crecimiento de la misma, así como por su densidad y estructura. La cantidad de estratos en las coberturas se asocia a la capacidad de interceptación y distribución de la precipitación, situación que genera condiciones que regulan los movimientos hídricos entre el suelo, la planta y el aire.

De esta forma las coberturas más densas, con mayor número de estratos y de mayor porte permiten que el movimiento y transmisión del agua “in situ” sea más lento, lo que representaría una menor posibilidad de inestabilidad en los suelos (SGC, 2013).

A continuación se presenta la Tabla 33 de referencia para la calificación del número de estratos.

Tabla 33. Categorización y calificación de la variable Número de Estratos

Estratos de la Cobertura	Rango (No. De estratos verticales)	Susceptibilidad
No presenta	0	5
Baja Densidad Estructural	1	4
Media Densidad Estructural	2	3
Moderadamente Alta	3	2
Alta Densidad Estructural	4	1

Fuente: Tomado del (SGC 2013)

El número de estratos se definió a partir de las descripciones fisionómicas de la leyenda Corine Land Cover, con ajustes propios de los lineamientos metodológicos. La calificación de la susceptibilidad de este atributo siguió los valores definidos en la Tabla 33, que a grandes rasgos considera para los bosques bien evolucionados de alta densidad estructural valores hasta de 4 estratos, mientras que para los cultivos limpios de baja densidad tan solo un estrato.

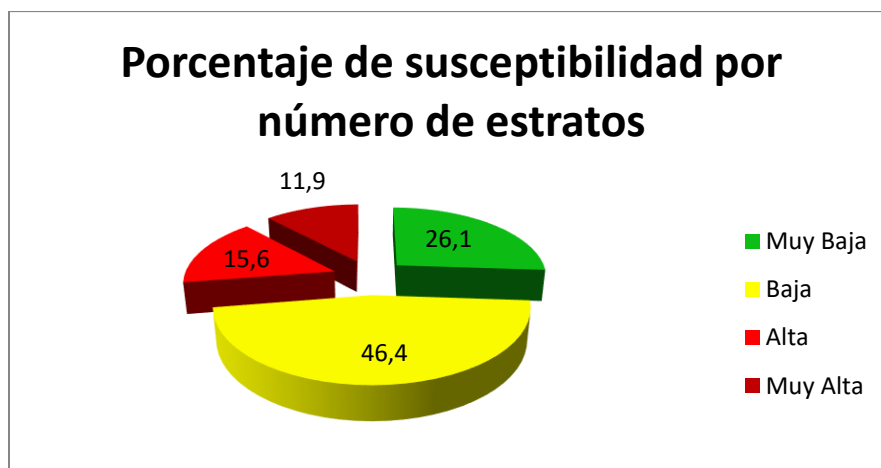
En la Tabla 34 se presentan el número de estratos para las coberturas de la tierra en el municipio de Argelia, con sus respectivas calificaciones.

Tabla 34. Calificación de la susceptibilidad del atributo número de estratos

COBERTURA VEGETAL	ESTRATOS	CALIFICACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA (has)	%
Bosque denso alto de tierra firme	4	1	Muy Baja	20180,3375	26,1
Bosque denso bajo de tierra firme	3	2	Baja	35927,3579	46,4
Cultivos de Coca	1	4	Alta	12047,9534	15,6
Suelo Desnudo	0	5	Muy Alta	9238,94821	11,9
Río	0	5	Muy Alta		
Tejido Urbano Discontinuo	0	5	Muy Alta		
Nubes	0	5	Muy Alta		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14. Porcentaje de susceptibilidad por número de estratos



Fuente: Elaboración propia

- **Susceptibilidad Muy Baja:** Los valores muy bajos de Susceptibilidad (1), corresponden a coberturas con una alta densidad estructural, ocupando un área de 20180,3375 hectáreas, representando el 26,1 por ciento sobre el área total del municipio, están relacionados con cobertura de la tierra de tipo bosque denso alto de tierra firme.
- **Susceptibilidad Baja:** Los valores bajos de Susceptibilidad (2), corresponden a coberturas con una densidad estructural moderadamente alta, ocupando un área de 35927,35 hectáreas, el cual representan el 46,4 por ciento sobre el área total del municipio, la cobertura relacionada es la de tipo bosque denso bajo de tierra firme. Estas coberturas son densas pero con un poco de diferenciación de capas o estratos al estar constituidos principalmente por arbustos normalmente achaparrados, y por arbustos y árboles en iniciales estados de maduración; de esta forma el movimiento y transmisión de agua in situ es lento, pero el goteo es bajo a medianamente fuerte, por lo tanto la erosión y la posibilidad de falla de los suelos es moderada.
- **Susceptibilidad Alta:** Los valores altos de Susceptibilidad (4), corresponden a coberturas con una baja densidad estructural, ocupando un área de 12047,95 hectáreas, equivalentes al 15,6 por ciento sobre el área total, la cobertura asociada a esta categoría es la de cultivos, principalmente los de coca. Estas coberturas son superficiales de baja densidad y con una baja diferenciación de capas o estratos.
- **Susceptibilidad Muy Alta:** Los valores muy altos de Susceptibilidad (5), corresponden a coberturas con una baja densidad estructural, ocupando un área de 9238,948 hectáreas, el cual equivalen al 11,9 por ciento sobre el área total del municipio, relacionado con la cobertura de tierras desnudas

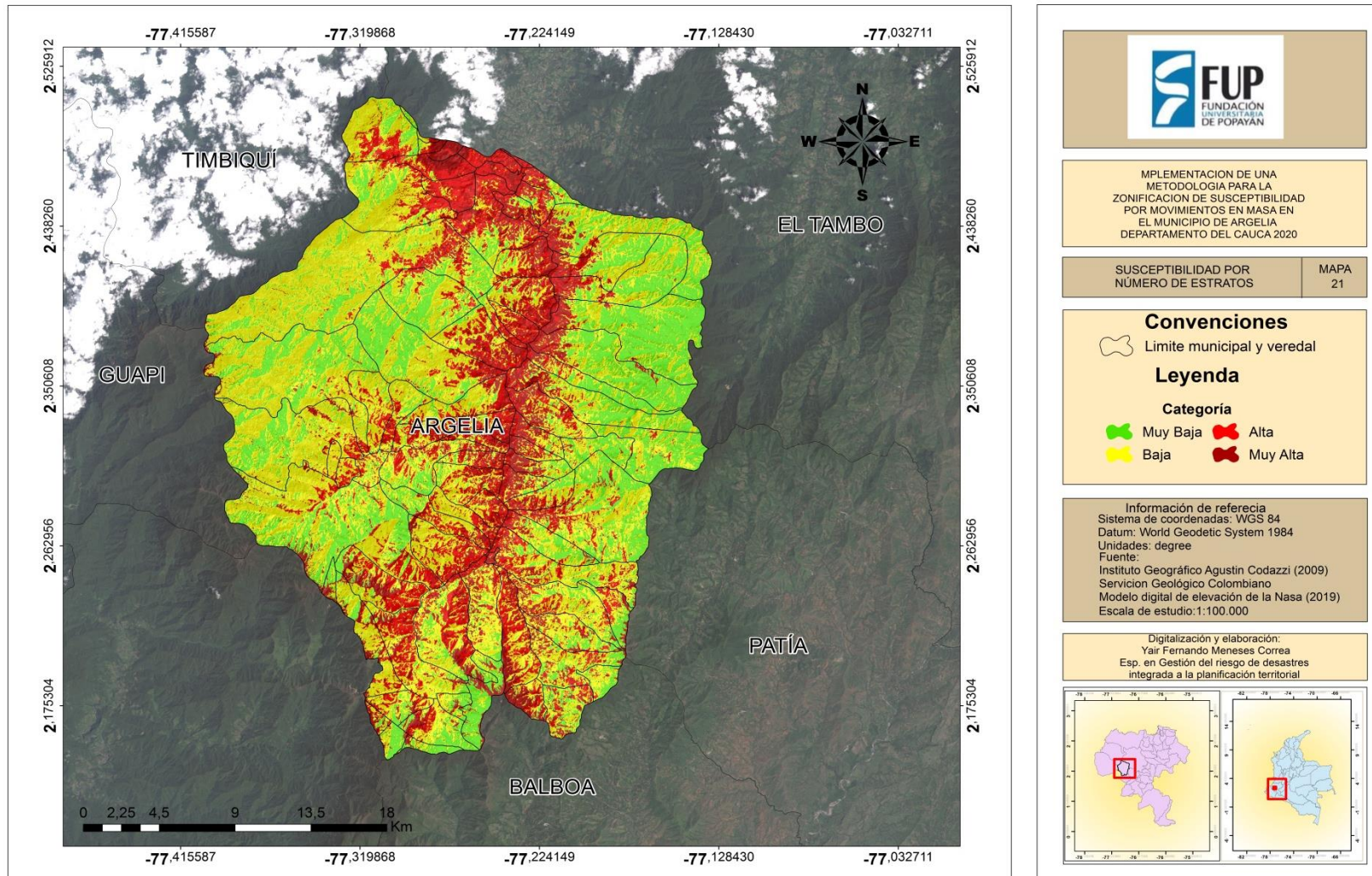


Figura 32. Mapa de susceptibilidad por número de estratos, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.4.5 Calificación de susceptibilidad por la variable cobertura de la tierra

Evaluados los parámetros descritos anteriormente, se realizó el respectivo cruce de información aplicando los respectivos pesos (25% para cada factor). La calificación final de susceptibilidad a los movimientos en masa por cobertura de la tierra se estableció mediante la siguiente ecuación.

$$Cal = (EVP * Kc + DP + SR + E) / 4$$

Los atributos Profundidad radicular, Drenaje profundo, Evapotranspiración y Numero de estratos de la variable de coberturas se calificaron según metodología del SGC, obteniendo una variabilidad en los resultados, ya que se han relacionado con suelos, pendiente, altitud y las mismas coberturas presentes en el área de estudio, así como también tratan de presentar un acercamiento a la realidad de la dinámica ambiental del área de estudio.

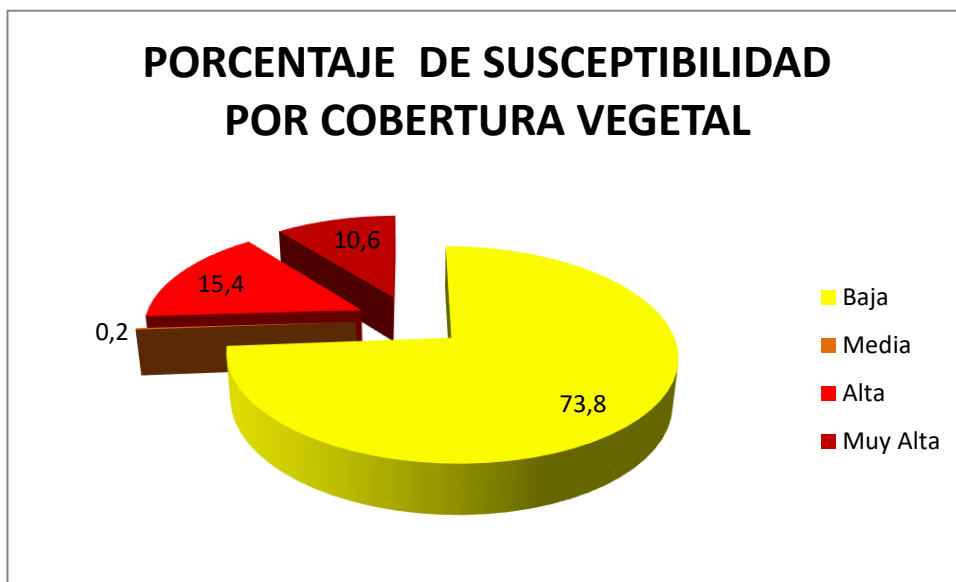
El mapa de susceptibilidad por cobertura de la tierra se ilustra en la figura 33, mientras que las áreas de cubrimiento y los porcentajes de participación de cada nivel de susceptibilidad se esquematizan en la tabla 35 y el gráfico 15.

Tabla 35. Calificación de la susceptibilidad coberturas de la tierra.

CALIFICACIÓN	CATEGORÍA	AREA	PORCENTAJE
2	Baja	57098,9391	73,8
3	Media	177,644434	0,2
4	Alta	11901,1144	15,4
5	Muy Alta	8203,08431	10,6

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15. Porcentaje de área susceptible por el atributo cobertura vegetal



Fuente: Elaboración propia

- **Susceptibilidad Baja:** Los valores bajos de Susceptibilidad (2), ocupan un área de 57098,93 hectáreas, equivalentes el 73,8 por ciento sobre el área total del municipio, está relacionado relacionados con coberturas de la tierra de tipo bosque denso alto de tierra firme y bosque denso bajo de tierra firme, estas coberturas se caracterizan por presentar profundidades radicales de profundas a muy profundas, así como drenajes profundos y estratos con alta densidad estructural. Se sitúan en áreas heterogéneas sobre todas las veredas del municipio, con mayor presencia en las veredas de El Pinche, Santa Clara, El Naranjal, Las Pilas y San Juan de la Florida, estas por la vertiente occidente del sistema montañoso de municipio, por el lado oriental esta categoría abarca la parte media y alta del piedemonte que bordea el cañon del Micay, son; Puerto Rico, Los Picos, Tambo Largo, Sinaí, El Encanto, La Playa, Cristales tos, La Cumbre, Campo Alegre, Las Perlas, Botafogo, Villanueva.
- **Susceptibilidad Media:** Los valores Medios de Susceptibilidad (3) abarcan un área de 177,644 hectáreas, equivalentes al 0,2 por ciento sobre el área total del

municipio, se sitúa sobre las áreas urbanas. Las principales características de las áreas calificadas con susceptibilidad media son los sistemas radicales de profundos a superficiales según cobertura, drenajes esencialmente profundos, estratos de moderada densidad, con una evapotranspiración baja a muy baja.

- **Susceptibilidad Alta:** Los valores Altos de Susceptibilidad (4) Se presenta con un porcentaje del 15,4 por ciento sobre el área total del municipio, representa un área total de 11901,1144 hectáreas. Las susceptibilidades altas corresponden a coberturas de cultivo de coca y pastos limpios, estos últimos no se identificaron por que las unidades mínimas cartografiables de esta unidad obedecen a escalas mayores, producto de la pequeña presencia en la zona, los cuales se caracterizan por tener bajas densidades en la estructura de los estratos, es decir, susceptibilidades altas, de igual forma presentan en general sistemas radicales superficiales de alta susceptibilidad, como drenaje moderadamente profundo de predisposiciones medias.

Esta categoría se localiza de forma heterogénea sobre todas las veredas en el municipio, con mayor concentración sobre las que se ubican sobre el cañón del Micay, y en la parte meda y baja del piedemonte que lo rodea.

- **Susceptibilidad Muy Alta:** Los valores Muy Altos de Susceptibilidad (5) esta categoría ocupa un área de 8203,08431 hectáreas, equivalentes al 10,6 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia están relacionadas con coberturas de la tierra de tipo suelos desnudos o degradadas.

Las cuales se caracterizan por un drenaje profundo y profundidad radicular superficial y nula presencia de estratos, se localizan en áreas heterogéneas sobre todos las veredas, concentradas en el cañón del río Micay, contiguo a los cultivos de coca, puesto que principalmente los suelos desnudos en gran parte se destinan para el cultivo de coca nuevo.

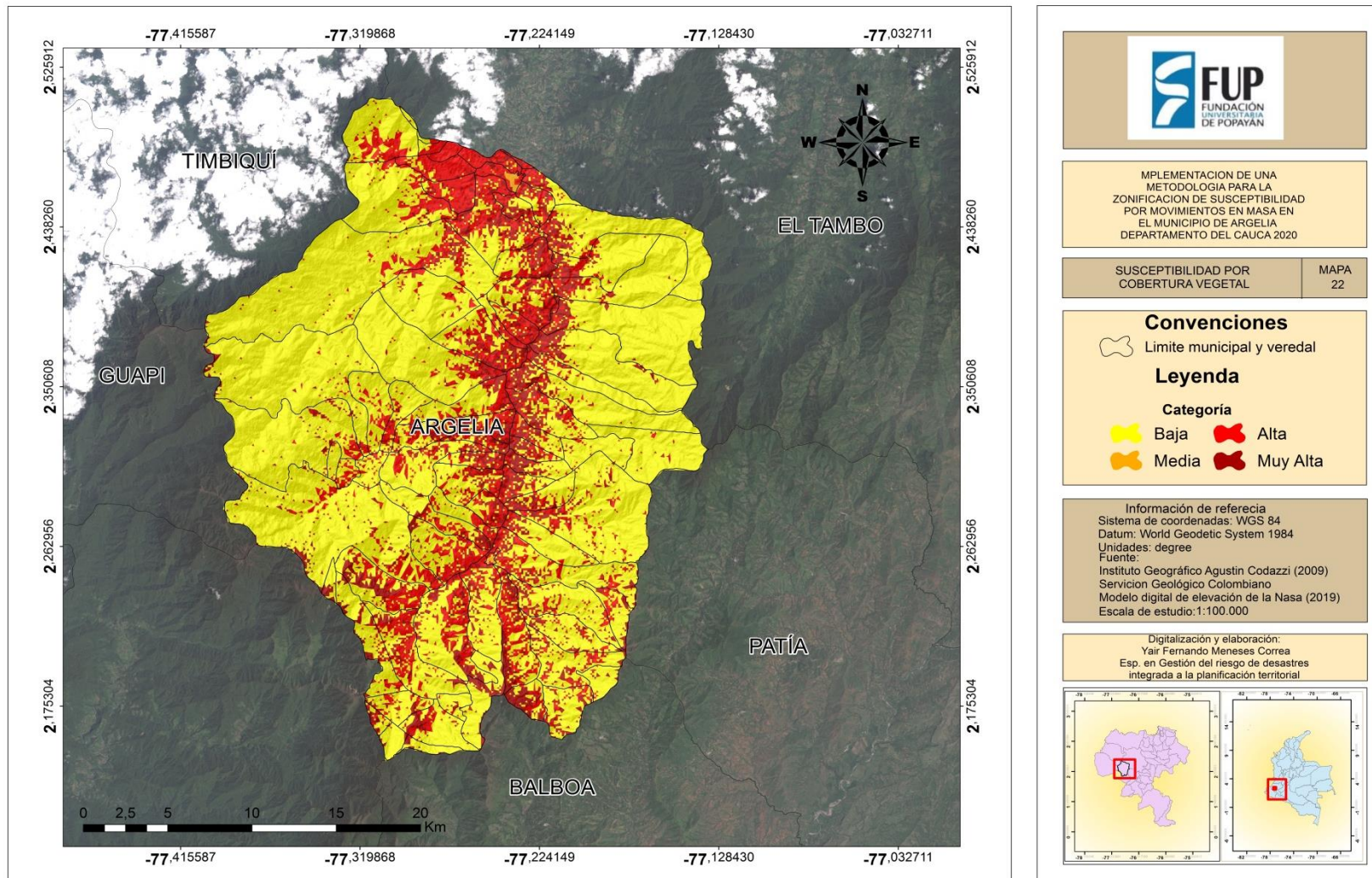


Figura 33. Mapa de susceptibilidad por cobertura vegetal, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca
Fuente: Elaboración propia

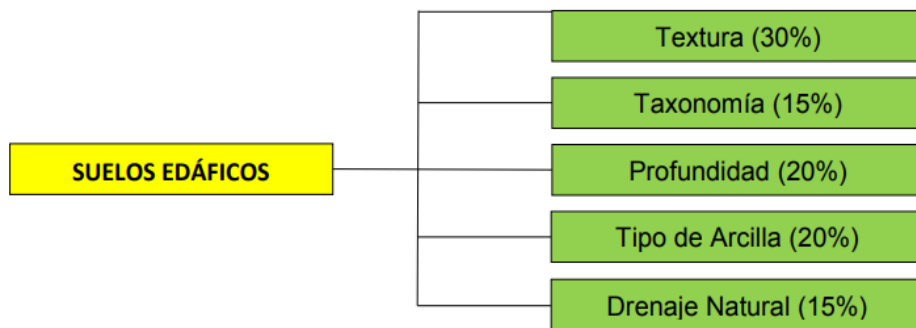
4.5 Valoración de la susceptibilidad por el atributo de suelos.

El suelo edáfico es el medio de afianzamiento de la cobertura vegetal, se sitúa sobre el sustrato rocoso, y por sus propiedades y alteraciones (flujos de masa y energía) pueden condicionar la desestabilización del terreno y potencializar diferentes formas de movimientos en masa. (SGC, 2013)

La metodología utilizada para calificar la susceptibilidad de los suelos a los movimientos en masa, define una serie de criterios y procedimientos en torno a los parámetros: textura, taxonomía, profundidad, tipo de arcilla y drenaje natural (ver figura 34). Esta información se ha adquirido a partir de los Estudios Generales de Suelos, escala 1:100.000, producidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC),

Su tratamiento se ha realizado conforme lo propone el “Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza Relativa por Movimientos en Masa” (SGC, 2013).

Figura 34. Ponderación de los atributos calificados para la variable Suelos



Fuente: Tomado del (SGC 2013)

4.5.1 Textura.

La textura denota la expresión cualitativa de la composición granulométrica o contenido relativo por tamaño de las partículas que conforman la fracción mineral del suelo. Esa calificación textural del suelo se realiza utilizando el llamado triángulo de clasificación textural, donde se encuentra la relación entre las proporciones de partículas tamaño arena, limo y arcilla. (SGC 2013)

De acuerdo con la metodología del SGC, los suelos con textura fina son más susceptibles a los movimientos en masa, retienen más humedad por tener mayor microporosidad, presentan baja conductividad hidráulica y ante la saturación aumentan la susceptibilidad a los movimientos en masa (ayudado por la pendiente y la fuerza de gravedad). Por el contrario, los suelos de textura gruesa, tienen alto contenido de macroporos (conductividad hidráulica alta), lo que disminuye la posibilidad de grandes movimientos de suelo. Para cada tipo de suelos, se obtuvo una textura ponderada a partir del espesor de la textura de cada horizonte (cociente del espesor del horizonte), la profundidad total del perfil y presencia de modificadores como: gravilla, cascajo y piedra.

Para cada UCS se obtuvo una calificación final de la clase textural (susceptibilidad de la textura), ponderando la calificación de cada tipo de suelo según su participación en la UCS. De forma general, en los suelos se incrementa la susceptibilidad a la remoción en masa en la medida en que incrementan también la profundidad, el contenido de arcilla, el contenido de materia orgánica y la pendiente. Los valores de susceptibilidad asignados a cada clase textural se muestran en la tabla 36.

Tabla 36. Clasificación de la textura de los suelos

Clase Textural	Calificación
Gr, A, AGr, AFGGr, AFP, FAGrP, FLP, FP, FGrP, FArP, FArAP, ArP, P.	1
AF, FAGr, FLGr, FArAGr, FArGr, FGr.	2
ArA, ArAGr, ArGr, ArLGr, FA, FArLGr.	3
F, F-Org, FAr, FArA, FArL, FL, FLOrg, L.	4
Ar, ArL.	5
<i>A=Arena; L= Limo; Ar= Arcilla; F= Franco; Gr= Grava; P= Piedra; Org= Orgánico</i>	

Fuente: Tomado del SGC (2013)

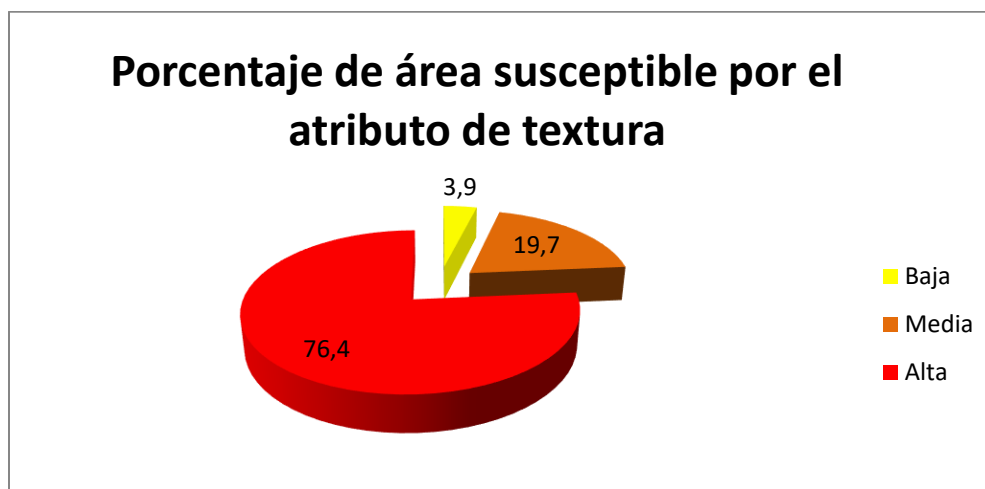
De acuerdo con la metodología mencionada anteriormente y con la tabla 39, se realiza la identificación de áreas y porcentajes para cada susceptibilidad por textura de los suelos en el municipio de Argelia, departamento del cauca (ver tabla 37, Gráfico 16)

Tabla 37. Calificación de susceptibilidad por el atributo de textura.

UCS	Área (ha)	Textura	Calificación	Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
ZU	88	FArAGr	2	Baja	3024	3,9
MQJ	2935	FArAGr	2	Baja		
MLB	7288	FA	3	Media	15298	19,7
MQA	8009	FA	3	Media		
MQD	21329	FAr	4	Alta	59251	76,4
MUA	82	FAr	4	Alta		
MQB	37623	FAr	4	Alta		
MKA	217	FAr	4	Alta		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 16. Porcentaje de área susceptible por el atributo de textura

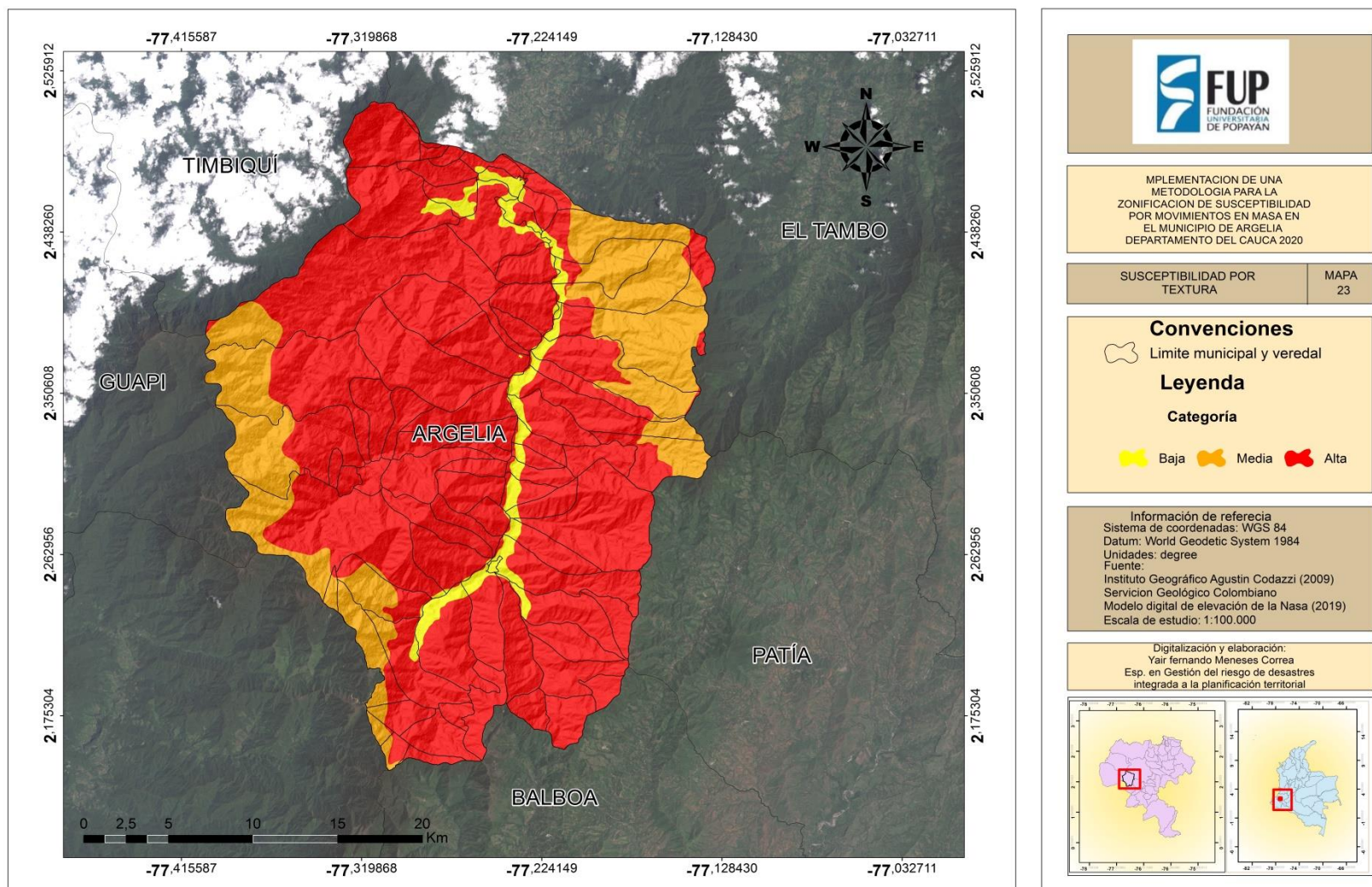


Fuente: Elaboración propia

- **Susceptibilidad Baja:** La susceptibilidad baja, con calificaciones de (2), equivalen al 3,9 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia, acaparan una extensión de 3024 hectáreas, e sitúa sobre las terrazas aluviales recientes del río Micay, va en dirección del flujo hídrico, sur –noroeste. La unidad de baja susceptibilidad comprende texturas franco arcillosa y franco arcillo arenosa.
- **Susceptibilidad Media:** Corresponde a calificaciones de (3), contempla 15298 hectáreas, las cuales porcentualmente representan el 19,7 por ciento sobre el área total del municipio, Caracterizan los suelos de esta categoría las texturas franco arcillosa, franco-arenosa, arenosa franca y arcillosa, las cuales tienen en general una moderada capacidad de retención de humedad y por ello en algunas zonas puede presentar un alto potencial a presentar fenómenos de remoción en masa. Se localizan en grandes áreas, debido a la escala de estudio de suelos, sobre las veredas de Puerto Rico, Sinaí, Tambo Largo, El Encanto, Parte alta de Cristales Ato y Parte alta de La Cumbre, por la vertiente occidental de las veredas de Santa Clara, El Naranjal, San Juan de la Florida, Betania, Bolivia y Buenos Aires,

- **Susceptibilidad Alta:** Corresponde a calificaciones de (4), abarca un área de 59251 hectáreas, equivalentes al 76,4 por ciento, Las calificaciones altas representativas, comprenden texturas franco arcillosas, arcillosas, arcillo limosa, franco arcillo arenosa, franco arenosa y franca, que inciden en la alta capacidad de retención de humedad de los suelos.

Se localizan de forma homogénea por todas las veredas del municipio, debido a la escala en el cual se levantó el estudio de suelos, su dirección va de sur – noroccidente.



4.5.2 Taxonomía

Corresponde a un sistema básico de clasificación de los suelos, que en la actualidad está estructurado por los trabajos de la Soil Survey Staff (SSS). La clasificación taxonómica de los suelos permite hacer generalizaciones en cuanto a las categorías edáficas y su predisposición a los movimientos en masa. Según el concepto de evolución pedológica, los suelos más evolucionados como los oxisoles y ultisoles, localizados en condiciones ideales son menos susceptibles, contrario a esto, los suelos más jóvenes como los histosoles, inceptisoles y entisoles presentan mayor susceptibilidad debido a su incipiente evolución (SGC, 2013).

Para ordenar y calificar los diferentes tipos de suelos, se basó en el estudio general de suelos realizado por el IGAC, para el departamento del Cauca, de acuerdo con su clasificación taxonómica, se tomó cada subgrupo y se llevó al nivel de orden, asignando una calificación de acuerdo con la tabla 38.

Tabla 38. Clasificación de la taxonomía de los suelos

Orden de Suelos	Calificación
Oxisol, Ultisol	1
Alfisol	2
Molisol, Andisol, Espodosol	3
Vertisol, Aridisol	4
Inceptisol, Entisol, Histosol.	5

Fuente: Tomado de SGC, 2013

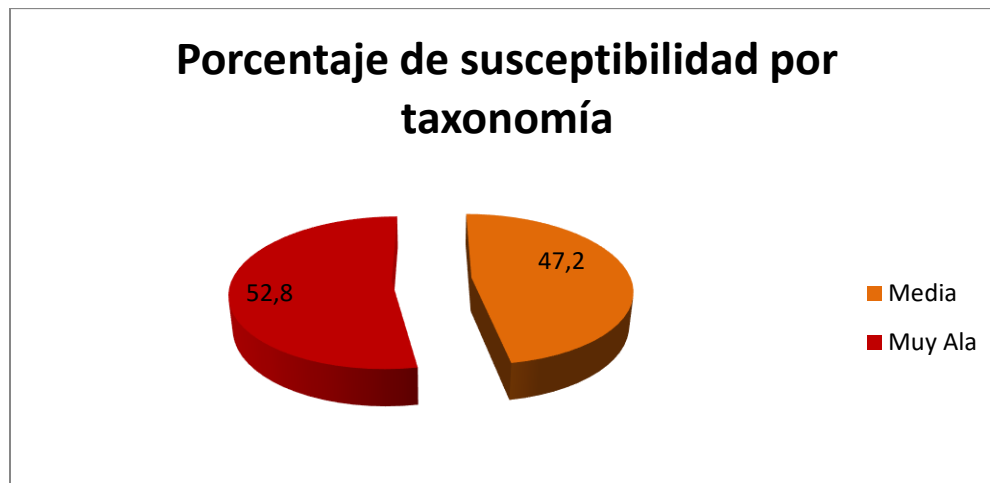
En el municipio de Argelia, se identificaron los órdenes de suelos de tipo Andisol, Molisol e inceptisol, categorizados como susceptibilidad media y muy alta, según la metodología del SGC (2013), en la tabla 39 y el gráfico 17, se evidencia el área porcentaje para cada categoría de susceptibilidad

Tabla 39. Calificación de susceptibilidad por el atributo de taxonomía.

UCS	COMPONENTE	Área (Ha)	Taxón	Calificación	Área (has)	Porcentaje (%)
MLB	Asociación: Typic Fulvudands; Acrudoxic Hapludands; Typic Dystrudepts	7288	Andisoles	3	36627	47,2
MQD	Asociación: Acrudoxic Melanudands; Typic Dystrudepts	21330	Andisoles	3		
MQA	Asociación: Typic Dystrudepts; Typic Hapludolls; Lithic Udorthents; Afloramientos rocosos	8009	Molisoles	3		
MUA	Asociación: Typic Udorthents; Typic Dystrudepts; Afloramientos rocosos	82,11	Inceptisoles	5	40942,24	52,8
MQB	Asociación: Typic Dystrudepts; Typic Hapludands; Typic Fulvudands; Afloramientos rocosos	37620	Inceptisoles	5		
ZU	Zona urbana	88,13	Inceptisoles	5		
MQJ	Complejo: Humic Dystrudepts; Entic Hapludolls; Fluventic Dystrudepts	2935	Inceptisoles	5		
MKA	Asociación: Typic Hapludands; Typic Dystrudepts; Lithic Dystrudepts; Afloramientos rocosos	217	Inceptisoles	5		

Fuente: Elaboración propia

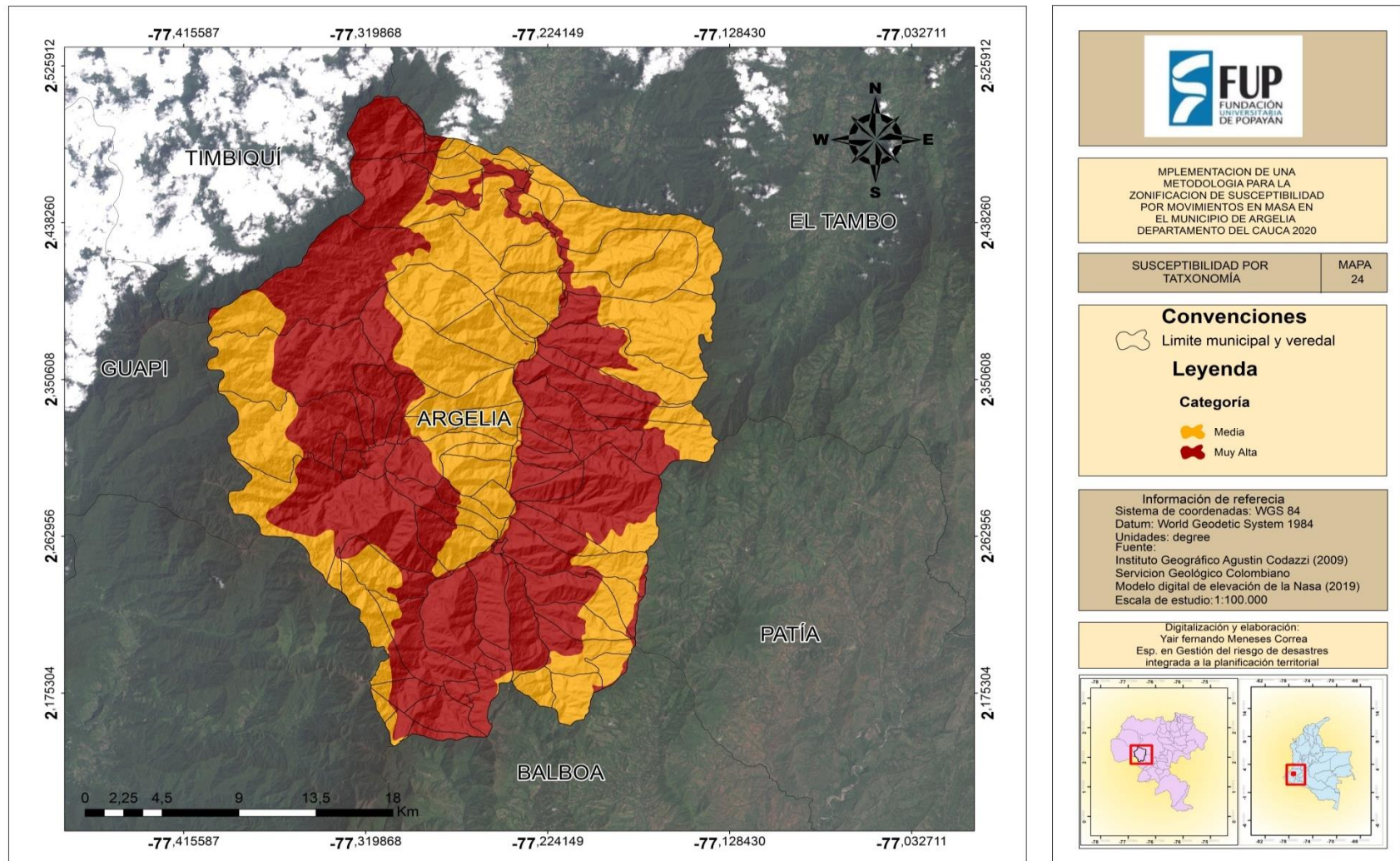
Gráfico 17. Porcentaje de susceptibilidad por el atributo de taxonomía



Fuente: Elaboración propia

Como bien mencionamos anteriormente, en este atributo se identificaron dos categorías de susceptibilidad ante movimientos en masa, las cuales son susceptibilidad media, el cual agrupa los órdenes del suelo de tipo Andisoles y Molisoles y la susceptibilidad muy alta, que agrupa los órdenes de tipo Inceptisoles

- **Susceptibilidad Media:** Calificada con valores de (3), representa un área de 36627 hectáreas, equivalentes al 47,2 por ciento sobre el área total del municipio, se identifican los órdenes taxonómicos del suelo de tipo Andisol y Molisol, los cuales son Suelos con evolución baja a moderada, originados a partir de cenizas volcánicas y que han desarrollado propiedades ándicas, localizadas en la parte centro-norte del municipio, también en las partes altas de la línea occidental del municipio
- **Susceptibilidad Muy Alta:** Calificada con valores de (5), abarca un área de 40942,24 hectáreas, porcentualmente es la más significada, cuenta con el 52,8 por ciento sobre el área total, se encuentran los órdenes taxonómicos de tipo Inceptisol, son suelos jóvenes, más susceptibles a movimientos en masa, son de baja a mediana evolución pedogenética.



4.5.3 Profundidad

La profundidad de los suelos está definida por el espesor de los diferentes horizontes que componen un perfil de suelo, esta medida se realiza en centímetros desde la superficie del suelo, hasta el lugar donde el crecimiento radicular de las plantas encuentra alguna limitación (contactos líticos, paralíticos, petroféricos y petrocálcicos).

Para la evaluación de los movimientos en masa, se tomó el parámetro profundidad para los diferentes perfiles de suelos y se clasificó de acuerdo con los siguientes criterios: presencia de horizontes C, líticos, paralíticos y cementados, lo cual permitió estimar de forma aproximada los volúmenes de material de los suelos propensos a la remoción (SGC, 2013). La tabla 40 presenta la guía de calificación de la profundidad de los suelos relacionada con la susceptibilidad de los mismos

Tabla 40. Clasificación de la profundidad efectiva de los suelos

Profundidad (cm)	Categoría	Calificación
0 - 25	Muy baja o muy superficial	1
25 - 50	Baja o superficial	2
50 - 100	Media o moderadamente profunda	3
100 - 150	Alta o profunda	4
mayor a 150	Muy alta o muy profunda	5

Fuente: Tomado de SGC, 2013.

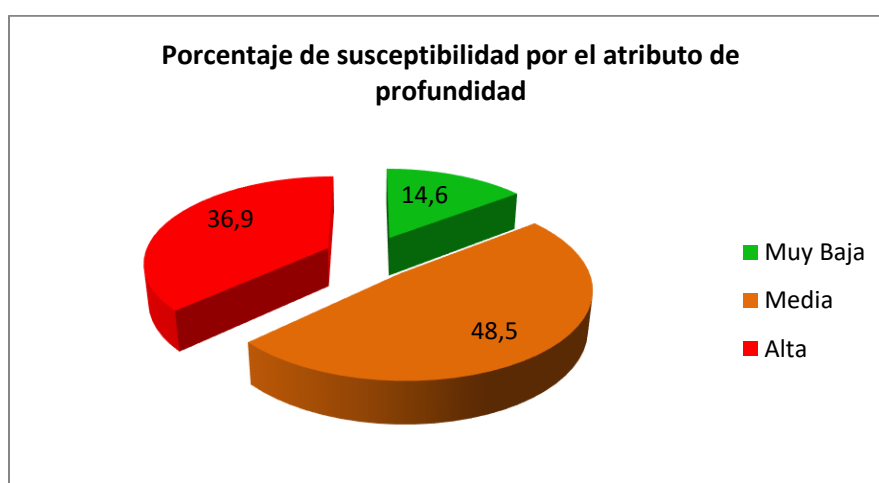
Para la calificación de esta variable, se acudió a las descripciones morfológicas, correspondientes a los perfiles modales que representan los diferentes tipos de suelo que componen cada una de las UCS, tabla 41, y cuya finalidad fue la de asignar una de las cinco calificaciones por susceptibilidad establecidas; y la gráfica 18 muestran la distribución porcentual de la susceptibilidad por profundidad efectiva.

Tabla 41. Calificación de susceptibilidad por el atributo de Profundidad

Calificación	Susceptibilidad	Área (Ha)	Porcentaje
1	Muy Baja	11332	14,6
3	Media	37623	48,5
4	Alta	28617	36,9

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 18. Porcentaje de susceptibilidad por el atributo de profundidad.



Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la calificación de los valores de profundidad efectiva en términos de susceptibilidad de esta ante los movimientos en masa, encontramos que la susceptibilidad Media acapara el mayor porcentaje de concentración de área en el municipio de Argelia, seguidamente de la Alta y de la Muy Baja.

- **Susceptibilidad Muy Baja:** La calificación de esta categoría corresponde a (1), abarca un área de 11332 hectáreas, equivalentes al 14,6 por ciento sobre el área total del municipio, la profundidad del suelo es superficial, de 0 a 25 cm, se localiza principalmente sobre las terrazas aluviales más recientes del río Micay, también en la parte alta de las veredas Puerto Rico, Sinaí, Tambo Largo, Cristales Altos, El Encanto y La Cumbre.

- **Susceptibilidad Media:** Con la calificación de (3) la susceptibilidad media abarca una extensión de 37623 hectáreas, representando el 48,5 por ciento sobre el área total del municipio, esta categoría se sitúa sobre suelos moderadamente profundos, alrededor de 50 a 100 cm de profundidad. Se localiza en grandes áreas del municipio de Argelia, sobre los corregimientos de La Emboscada, en su totalidad, parte Nor-occidental del corregimiento de Santa Clara, hacia el occidente del corregimiento de El Naranjal, en su totalidad del Diviso, San Juna de la Guadua, Argelia, Parte media del corregimiento Del Mango y el Sinaí
- **Susceptibilidad Alta:** Categoría correspondiente a la calificación de (4), acapara un área de 28617 hectáreas, porcentualmente representan el 36,9 por ciento sobre el área total del municipio, se caracteriza por tener suelos profundos, de 100 a 150 cm de profundidad entre cada horizonte. Se localizan en la parte baja de los corregimientos de El Retiro, Puerto Rico, Sinaí, El Mango, La Belleza, Argelia, El Plateado en su totalidad, en la parte occidental de los corregimientos de El Naranjal, La Florida y San Juan de la Guadua.

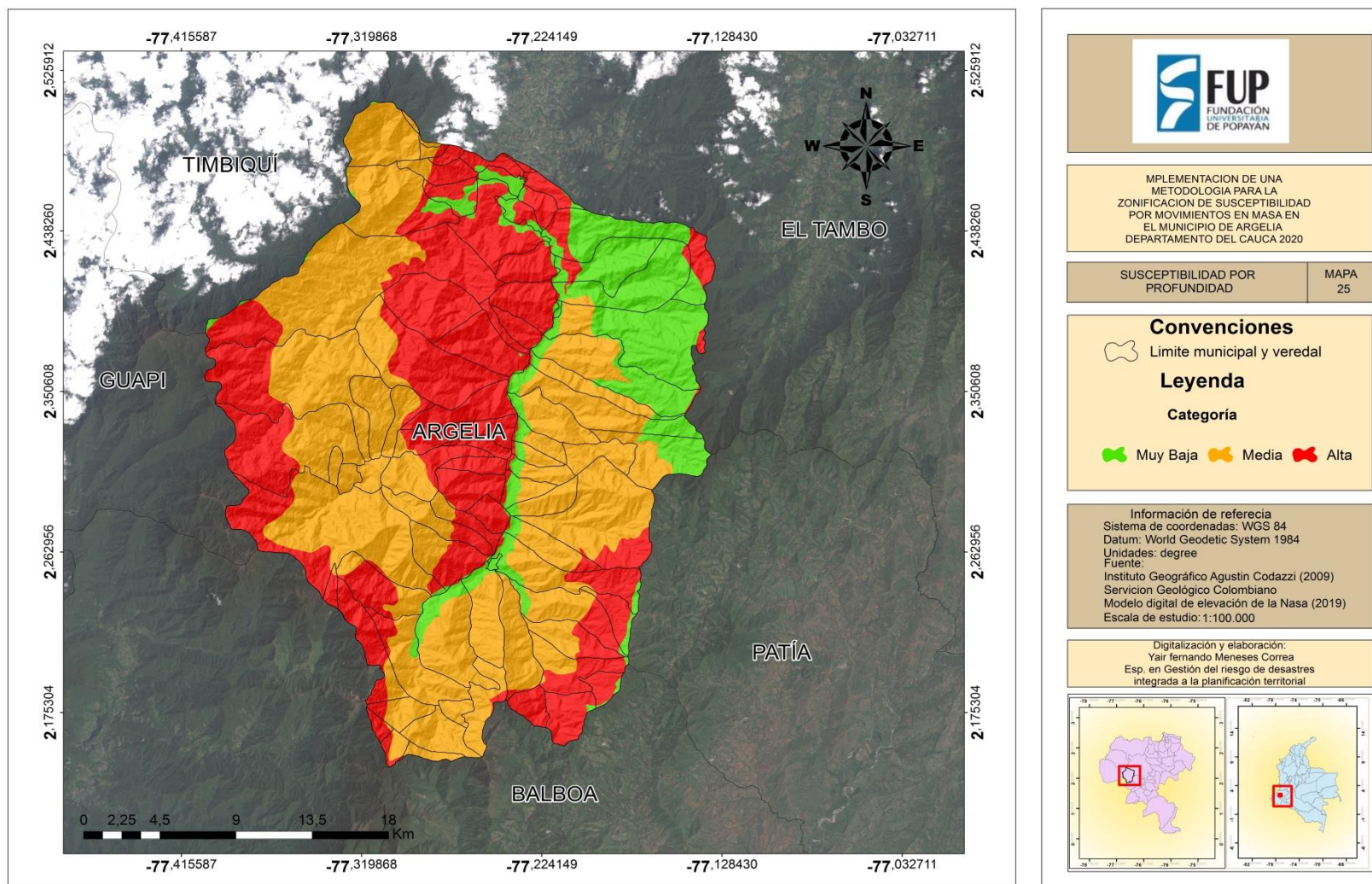


Figura 37. Mapa de susceptibilidad por profundidad del suelo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Tipo de arcilla

Para esta variable se tomó la metodología y el fundamento teórico que utilizó el IDEAM en el documento “Desarrollar el mapa nacional de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa de tierra, a partir de la información temática e información complementaria y el aplicativo informático para automatizar las posteriores actualizaciones”

Suárez (1.998), señala que las arcillas son esencialmente hidróxidos de aluminio microcristalinos formando capas de silicatos, los cuales tienen una estructura en capas o partículas laminares. De las propiedades de las arcillas, la capacidad de intercambio catiónico generalmente controla su comportamiento frente al agua y su inestabilidad. A mayor capacidad de intercambio catiónico la arcilla es más inestable. En general, el tipo de mineral de arcilla presente y el porcentaje, en proporción con el total de minerales afecta en forma considerable el comportamiento del suelo. En la tabla 45 se resumen los valores calificativos de las categorías de susceptibilidad.

Tabla 42. Clasificación del tipo de arcilla en los suelos

Grupos de Arcilla	Orden	Calificación
Caolinita, Biotita	(Ox, ults, ods)	1
Caolinita, sesquióxidos, Montmorillonita, Vermiculita Caolinita, Gipsita, Moscovita, Montmorillonita	(ents, epts)	2
Montmorillonita, Clorita, Caolinita Montmorillonita, Vermiculita, Caolinita	(olls, ids, alfs)	3
Moscovita, Illita, Vermiculita, Montmorillonita Moscovita, Montmorillonita, Vermiculita Talco, Moscovita, Vermiculita, Montmorillonita	(erts)	4
Alófana, Gipsita, Halloisita, Imogolita Montmorillonita, Vermiculita M.O (Materia Orgánica)	(ands, ists)	5

Fuente: Tomado del (SGC, 2013)

Las otras propiedades de las arcillas, como son sus características de expansión y contracción siguen un mismo patrón ante las propiedades de plasticidad, entre más

plástico el material mayor su potencial de expansión y menor su resistencia al esfuerzo cortante. La importancia del tipo de arcilla, en los movimientos en masa, radica en el grado de estabilidad que esta presenta cuando entra en contacto con el agua, ya sea que se contraiga, se expanda o forme grietas, como el caso de las arcillas que tienen los

Vertisoles

(SGC,2013)

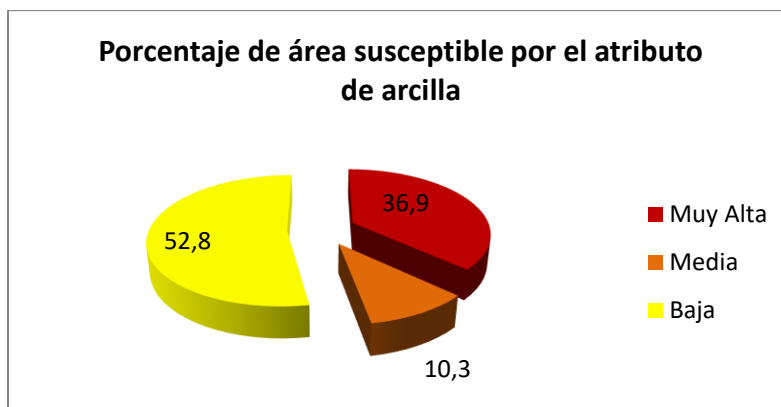
Para el municipio de Argelia se identificaron áreas y porcentajes de las categorías de susceptibilidad frente a los movimientos en masa por el atributo de arcilla, (ver tabla 43 y gráfico 19)

Tabla 43. Calificación de susceptibilidad por el atributo de tipo de arcilla

Taxón	Arcilla	Calificación	Susceptibilidad	Área (ha)	Porcentaje
Andisol	Alófana, Gibsita, Halloisita, imogolita Montmorillonita, Vermiculita	5	Muy Alta	28618	36,9
Molisol	Montmorillonita, Clorita, Caolinita	3	Media	8009	10,3
Inceptisol	Caolinita, sesquióxidos, Montmorillonita, Vermiculita	2	Baja	40942,24	52,8

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 19. Porcentaje de susceptibilidad por el atributo de tipo de arcilla



Fuente: Elaboración propia

La categoría de susceptibilidad más predominante en el municipio de Argelia es la Baja, el cual representa el 52,8 por ciento, mientras que la Muy Alta el 36,9, seguidamente de la media con el 10,3 por ciento sobre el área total del municipio.

- **Susceptibilidad Baja:** Abarca una extensión de 40942,24 hectáreas, equivalentes al 52,8 por ciento sobre el área total del municipio, los suelos son de orden inceptisoles, presentan dentro de su perfil principalmente asociaciones de moscovita, illita, vermiculita y montmorillonita, en los entisoles y caolinita, montmorillonita y vermiculita para los inceptisoles.
- **Susceptibilidad media:** Comprende un área de 8009 hectáreas, equivalentes al 10,3 por ciento sobre el área total, se destaca el grupo del suelo de tipo Molisol, presentan dentro de su perfil principalmente asociaciones Montmorillonita, Clorita, Caolinita. Se ubican principalmente en los corregimientos de Puerto Rico, Sinaí y El Mango.
- **Susceptibilidad Muy Alta:** Acapara un área de 28618 hectáreas, equivalentes al 36,9 por ciento sobre el área total, se destaca el grupo del suelo de tipo andisol, con arcillas de tipo Alófana, Gibsita, Halloisita, imogolita

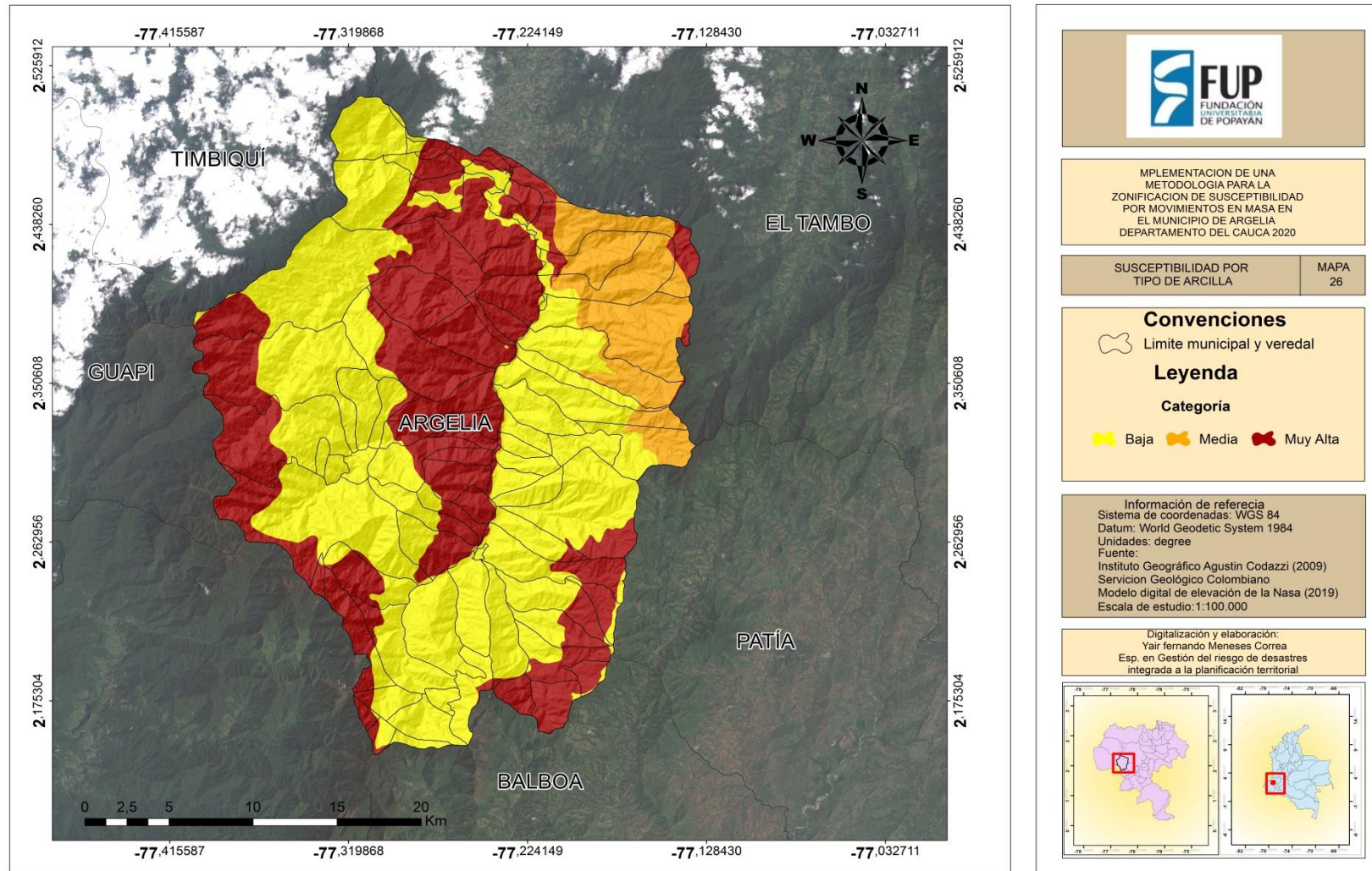


Figura 38. Mapa de susceptibilidad por tipo de arcilla, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.5.5 Drenaje natural

La importancia del drenaje natural, radica en conocer la frecuencia y duración de los períodos húmedos bajo condiciones similares, a aquellas en las cuales se han desarrollado los suelos, o sea, en condiciones naturales. (IDEAM, 2009.)

El drenaje interno contribuye a la estabilización de masas de tierra, ya que logra controlar el flujo de agua subterránea, al mismo tiempo que reduce las presiones de poros y se aumenta por tanto la resistencia al corte del material (Fajardo Puerta, 2005).

La calificación de este parámetro para cada UCS, se hizo mediante la consulta del perfil modal asociado a la UCS, el cual de acuerdo a los criterios de la tabla 44, se calificó en función al tipo de suelo descrito en cada perfil.

Tabla 44. Clasificación del drenaje natural del suelo

Orden de Suelos	Características	Calificación
Excesivo	No retienen agua después de las lluvias.	1
Moderadamente excesivo	No retienen agua para las plantas después de las lluvias. El nivel freático nunca sube por debajo de 80 cm.	
Bueno o bien drenado	Suelos óptimos para el abastecimiento de agua y airea los cultivos. Nivel freático siempre por debajo de 80 cm.	2
Moderado o moderadamente bien drenado	El agua es removida lentamente hasta el nivel freático (40-80 cm. En época de lluvias). Requiere drenaje para cultivos permanentes.	3
Imperfecto	Suelos con capas impermeables que impiden percolación en época de lluvias.	4
Pobre	Agua removida lentamente y los perfiles están mojados en la época de lluvias. Se requiere drenaje.	
Muy pobre	Agua Freática cerca o sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	5
Pantanosos	Agua Freática sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	

Fuente: Tomado del (SGC, 2013)

El drenaje natural de los suelos, explica el comportamiento del agua asociado con las características físicas e hidrológicas del perfil del suelo, aspectos que permiten los fenómenos de infiltración, percolación y escurrimiento (drenaje interno y externo), en la tabla 48 se muestra n los valores delas áreas y porcentajes de esta variable en el municipio de Argelia.

Tabla 45. Valores de susceptibilidad por el atributo de drenaje natural del suelo

Drenaje natural	Calificación	Susceptibilidad	Área	Porcentaje
Bien drenado	2	Baja	74549	96
Moderado	3	Media	3024	4

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 20. Porcentajes de área susceptible por el atributo drenaje profundo



Fuente: Elaboración propia

En el municipio de Argelia se identificaron dos categorías de susceptibilidad frente a los movimientos en masa, Baja y Media, la primera cuenta con la mayor participación, pues abarca el 96 por ciento sobre el área total, mientras que la categoría media tan solo comprende el 4 por ciento.

- **Susceptibilidad Baja:** La calificación de baja susceptibilidad por drenaje natural, es la de mayor cubrimiento en la zona de estudio con el 96 por ciento del área total, equivalentes a 74549 hectáreas, son suelos óptimos para el abastecimiento de

agua y airea los cultivos, el nivel freático siempre está por debajo de los 80 cm, se localiza en todas las veredas del municipio

- **Susceptibilidad Media:** La calificación de susceptibilidad media, con valores de (3), son suelos con drenaje medio a bien drenado, abarca un total de 3024 hectáreas, equivalentes al 4 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia, cuya características es que el agua es removida lentamente hasta el nivel freático (40-80 cm, en épocas de más lluvia). Requiere drenajes para cultivos permanentes. Se localiza principalmente sobre las terrazas más jóvenes del río Micay

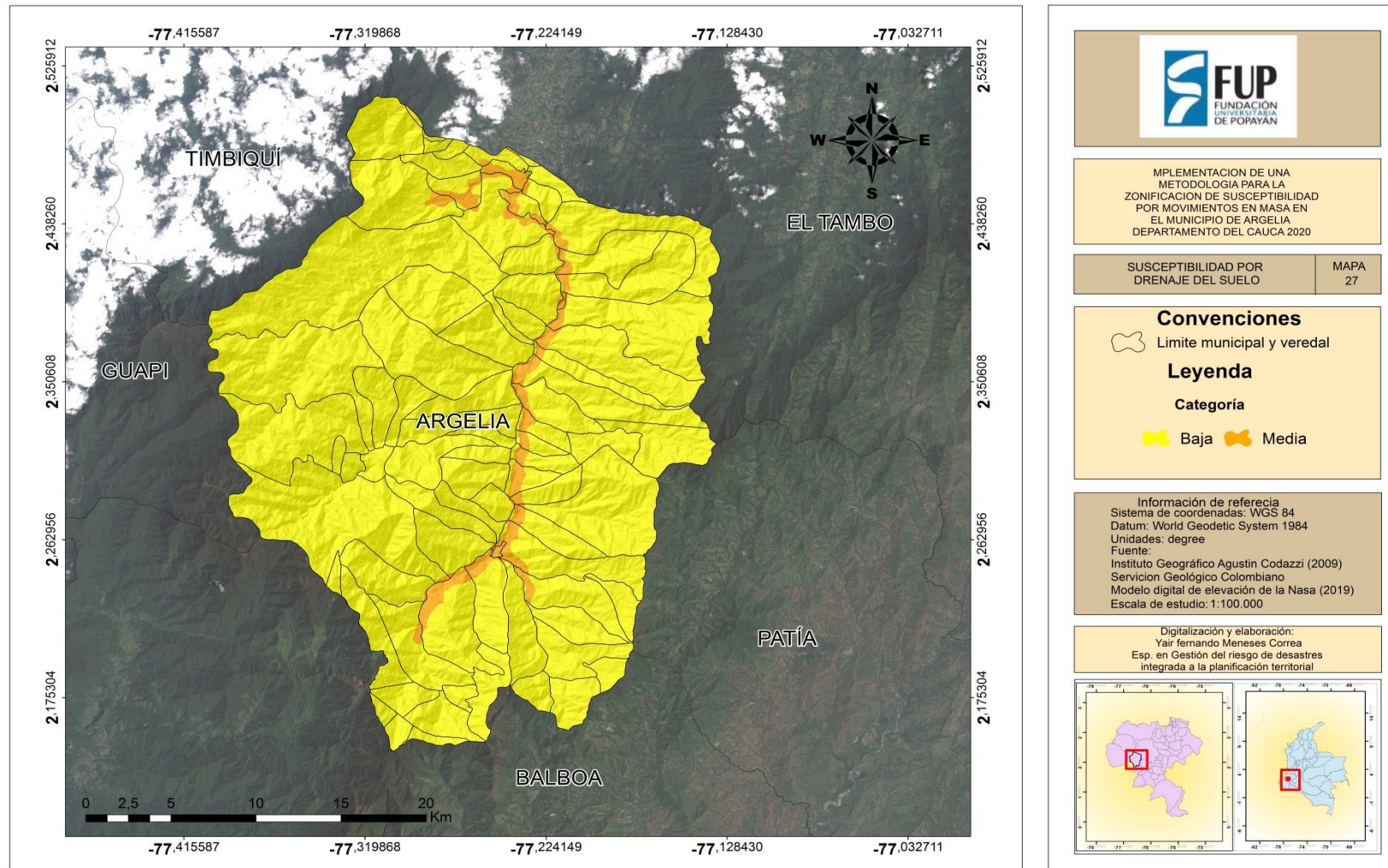


Figura 39. Mapa de susceptibilidad por drenaje del suelo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

4.5.6 Susceptibilidad por suelos

Con la calificación consolidada para cada parámetro de las Unidades Cartográficas de Suelo UCS (textura, taxonomía, profundidad, tipo de arcilla y drenaje natural) y teniendo en cuenta las ponderaciones vislumbradas en la figura 34, se calificó y se obtuvo el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa por la variable suelos para el municipio de Argelia, departamento del cauca. En la Tabla 46 y el gráfico 21, se presentan los datos del total de porcentaje espacial que acapara cada categoría de susceptibilidad, en el cual se evidencia que la de mayor predominancia es la susceptibilidad Media, comprendiendo el 58,3 por ciento, seguidamente de la susceptibilidad Alta con el 27,5 y la susceptibilidad Baja con 14,2 por ciento.

La susceptibilidad de los suelos por movimientos en masa, se evaluó en ese orden de ideas basado en el siguiente planteamiento matemático:

$$Sus_{suelos} = 0,3Te + 0,15Ta + 0,2Pt + 0,2Ar + 0,15D$$

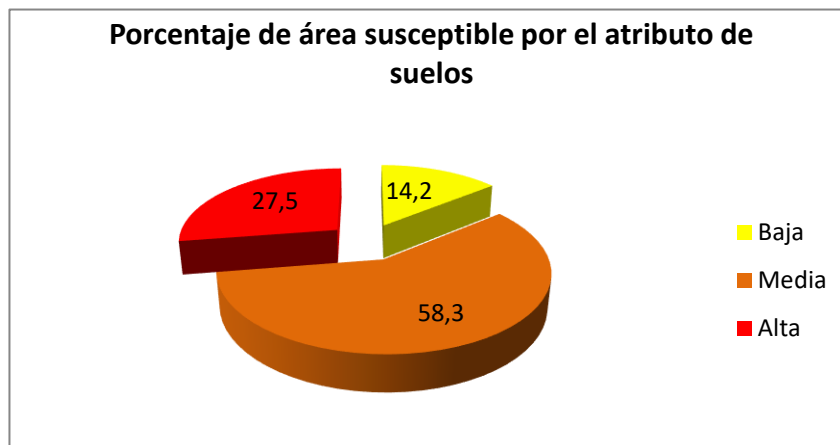
Dónde: C = Suelos Te = Textura; Ta = Taxonomía; Pt = Profundidad; Ar = Tipo de Arcilla; D = Drenaje Natural

Tabla 46. Valores de susceptibilidad por el atributo de suelos

Calificación	Susceptibilidad	Área (ha)	Porcentaje
2	Baja	11043	14,2
3	Media	45214	58,3
4	Alta	21314	27,5

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 21. Porcentaje de área susceptible por el atributo de suelos



Fuente: Elaboración propia

Como bien mencionados anteriormente, que el predominio espacial es de la categoría de susceptibilidad media, abarcando el 58,3 por ciento, seguidamente de la susceptibilidad alta y la baja, es de importancia resaltar que los resultados no son determinativos, puesto que estas áreas pueden variar según la escala de la información que se emplea como referencia, es decir, entre mayores escalas de insumos cartográficos, para este caso el mapa de suelos, mayor va a ser el detalle en el que se categorice la susceptibilidad.

- **Susceptibilidad Baja:** Representa un área de 11043 hectáreas, distribuidas porcentualmente en un 14,2 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia, está asociada a suelos con texturas franco arcillosa y franco arcillo arenosa. Se Localiza sobre las terrazas aluviales del río Micay y en las veredas de Puerto Rico, Los Picos, Tambo Largo, Sinaí, Cristales Altos y la Cumbre.
- **Susceptibilidad Media:** Los suelos con susceptibilidad media corresponden al 58,3 por ciento, acaparando 45214 hectáreas, Principalmente, esta susceptibilidad se debe al tipo de arcilla; donde, en la mayoría de los deslizamientos, la superficie de falla coincide en áreas importantes con grupos de discontinuidades heredadas, las cuales algunas veces están rellenas de materiales débiles, comúnmente arcillas, las cuales absorben agua, se expanden y se ablandan muy fácilmente y es común que su existencia y significancia solo

se identifica después de que ha ocurrido una falla. Se localiza en grandes áreas en los corregimientos de La Emboscada, Santa Clara, El Naranjal, El Diviso, San Juan de la Guadua, La Florida, Argelia, Mango y Sinaí.

- **Susceptibilidad Alta:** Esta categoría abarca el 27,5 por ciento en extensión, con un área total de 21314 hectáreas, Los suelos comprenden principalmente, inceptisoles y en menor proporción entisoles, y molisoles, localizados en grandes unidades con predominio en la región central noroccidental y suroriental. Estos suelos se encuentran asociados a espinazos, crestones, glacis, lomas y vallecitos del lomerío y la montaña, presentan profundidades medias entre 50 y 150 cm, con arcillas tipo caolinita, illita, moscovita, vermiculita y montmorillonita en texturas arcillosas, arcillo-limosa, franco-arcillosas, franco-arenosas, y franco arcillo arenosa y limosa, en perfiles en general con drenaje moderado a bien drenado. Se localizan espacialmente en los corregimientos de El Plateado, Santa Clara, Puerto Rico, Sinaí, La Belleza, El Mango, El Diviso y Argelia.

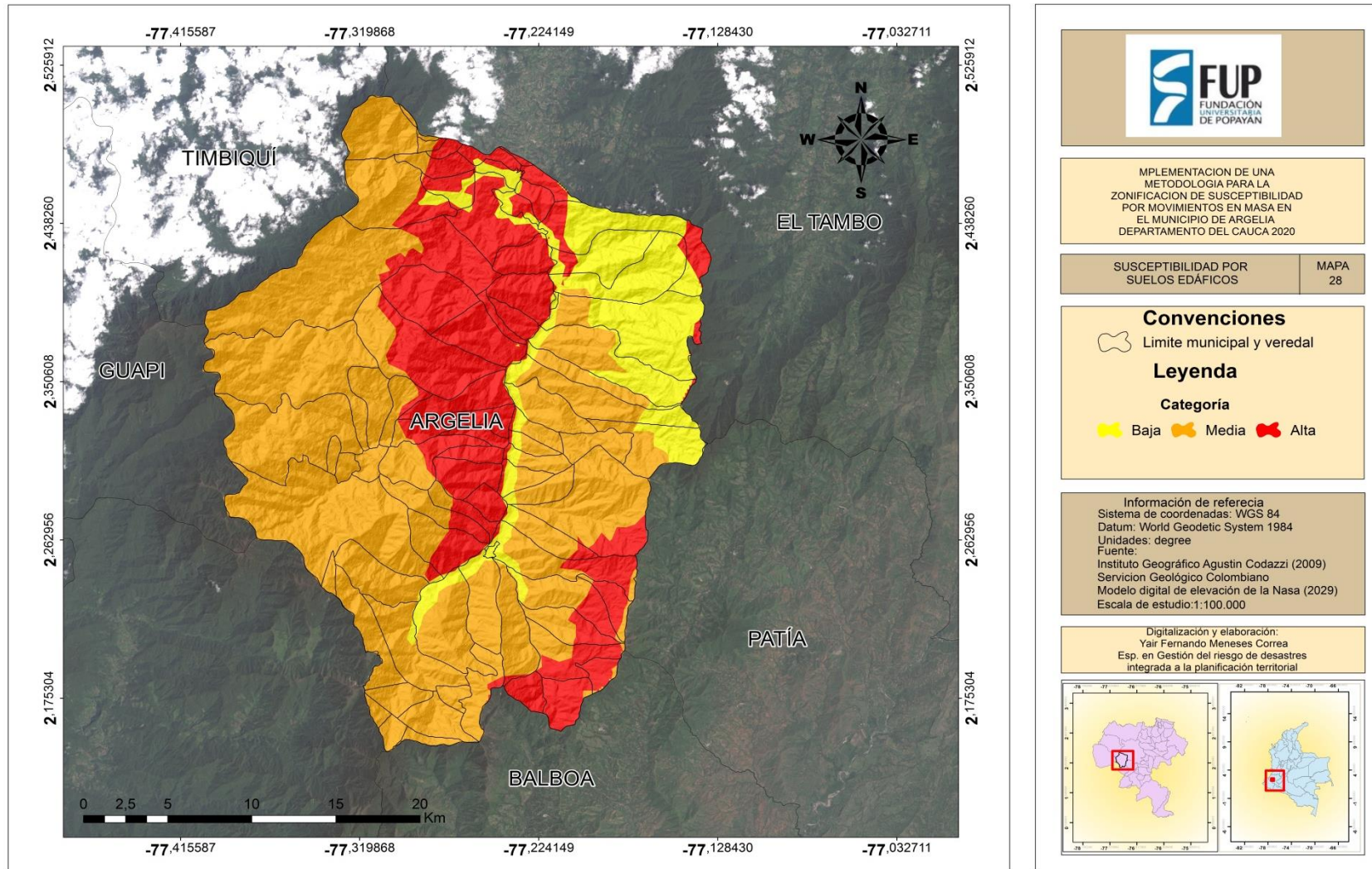


Figura 40. Mapa de susceptibilidad por suelos, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

5 QUINTO CAPÍTULO: ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ARGELIA

Los criterios geológicos, geomorfológicos, de suelos y de cobertura que se definieron en el proceso analítico jerárquico “AHP” (ver tabla 3), precisan los diferentes elementos temáticos en orden de importancia a partir de los cuales se establece El Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa para el municipio de Argelia.

La susceptibilidad ante movimientos en masa, se evaluó en ese orden de ideas basado en el siguiente planteamiento matemático:

$$SUS_MM = 0,07GL + 0,3GM + 0,55CT + 0,08SE$$

Dónde: GL = Geología GM = Geomorfología; CT = Cobertura de la tierra; S = Suelos

A continuación se describen y analizan los aspectos representativos que influyen a nivel de la susceptibilidad ante los movimientos en masa.

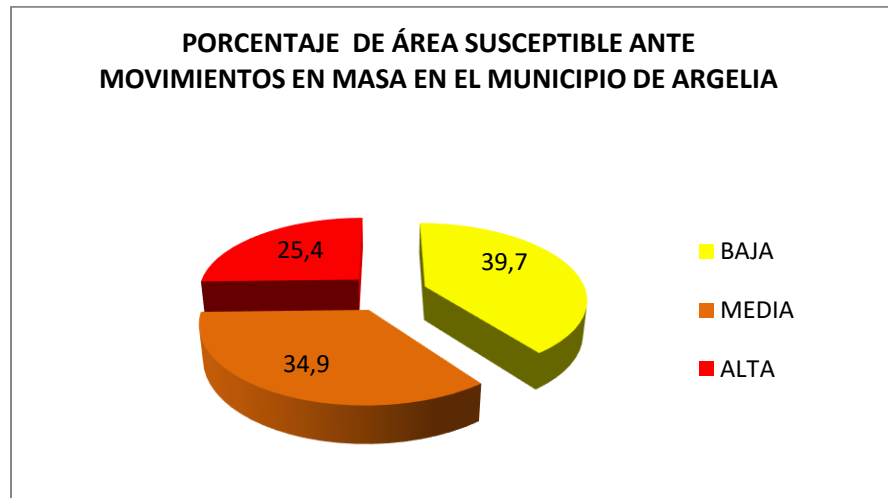
Con la puesta en marcha del modelo espacial propuesto para lograr el objetivo general de esta investigación, se encontró que la categoría con mayor con mayor distribución espacial sobre el municipio de Argelia, es la Baja, con el 39,7 por ciento, seguidamente es la categoría Media, con el 34,9 por ciento y la categoría de susceptibilidad Alta, acapara el 25,4 por ciento. (Ver tabla 47 y gráfico 22)

Tabla 47. Valores de susceptibilidad ante movimientos en masa para el municipio de Argelia, departamento del cauca

CALIFICACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA	PORCENTAJE
2	BAJA	30829	39,7
3	MEDIA	27040	34,9
4	ALTA	19699	25,4

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 22. Distribución porcentual de área susceptible ante movimientos en masa en el Municipio de Argelia, Departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen por niveles, los aspectos distintivos que influyen en las condiciones de susceptibilidad por movimientos en masa, haciendo énfasis en las características de los diferentes componentes físicos que se presentan para cada zona

- **Susceptibilidad Baja:** Calificada con valores de (2), esta categoría comprende una extensión de 30829 hectáreas, equivalentes al 39,7 por ciento sobre el área total del municipio de Argelia. Las zonas con susceptibilidad baja responden básicamente a geoformas del ambiente denudacional en relieves relativos muy bajos de pendientes planas a inclinadas ubicados en pequeñas unidades de forma irregular en el municipio, Litológicamente los materiales son intercalación de sedimentos con efectos dinámicos, lodolitas y areniscas. En términos de suelos se identifican principalmente suelos de bajo desarrollo del orden Inceptisol y molisol, mientras que en coberturas se encuentran principalmente sobre áreas cubiertas por bosques densos altos de tierra firme y bosques densos bajos de tierra firme. Esta categoría se localiza en áreas de formas irregulares sobre las veredas El Naranjal, Santa Clara, Las Pilas, San Juan de la Florida, Bolivia, Puerto Rico, Sinaí, Los Picos, Tambo Largo, El Encanto, Cristales Altos y La Cumbre. Dentro de esta

categoría no se observan movimientos en masa según el inventario de recopilado del servicio geológico y de la CRC.

- **Susceptibilidad Media:** Calificada con el valor de (3), comprende un área de 27040 hectáreas, equivalentes al 34,9 por ciento sobre el are total del municipio, en términos generales se sitúa sobre una litología basada en una intercalación de sedimentos con efectos dinámicos, lodolitas y areniscas, sus geoformas provienen de ambientes estructurales, formados en rocas en su mayoría Cretácica y Terciaria del tipo areniscas, arcillolitas, lutitas, lodolitas y calizas. Presenta suelos dominados principalmente por andisoles, en cuanto a las coberturas de la tierra se tiene un predominio del Bosque denso bajo de tierra firme.

Esta categoría de susceptibilidad se encuentra localizada en formas irregulares y dispersas en las veredas de Agua Clara, El Pinche, El Plateado centro, San Antonio Alto, pequeñas áreas en la vereda las Vegas, Santa Clara, El Retiro, La Delgadita, La Mina, Esperanza, Paramillo, El Crucero, Los Alpes, El Bellezo, pequeñas áreas de La Leona-

- **Susceptibilidad Alta.** Con calificaciones de (4), esta categoría presente una extensión de 19699 hectáreas, equivalentes porcentualmente al 25,4 por ciento sobre el área total del municipio. Conformando unidades geomorfológicas del ambiente estructural y denudacional tales como lomas y colinas y filas y vigas, con pendientes abruptas a escarpadas. La cobertura de la tierra es de cultivos de coca y suelos desnudos que protegen mínimamente los suelos por su bajo desarrollo radicular y baja estratificación que incrementan los niveles de escorrentía. Los suelos representan un área muy pequeña imprecisa de reportar a la escala del estudio, en términos generales es predomina el tipo andisol e inceptisol, Se presentan algunos pequeños movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional, aunque los principales procesos morfodinámicos son de tipo antropogénico,

erosión concentrada y erosión laminar asociados a actividades de degradación del suelo.

Se puede identificar esta categoría en pequeñas áreas de formas irregulares en las veredas de Agua Clara, Bombillal, La Ceibal, Pambillal, El Pepial, San Antonio Alto, Las Vegas, La Leona, Los Pinos, Parte baja de las veredas de Puerto Rico centro, Sinaí centro, Los Picos, Tambolargo, El Encanto, La Playa, Cristales Altos, Cristales Bajo, El Mango, Bugio, La Primavera, Mirolindo, así como también en áreas heterogéneas de las veredas de El Zarzal, San Juan del Cucho, Buenos Aires, Arboleda, El Diviso, Porvenir, La Grecia, Santa Clara, La Belleza centro, Guayabal, La Libertad y La Laguna.

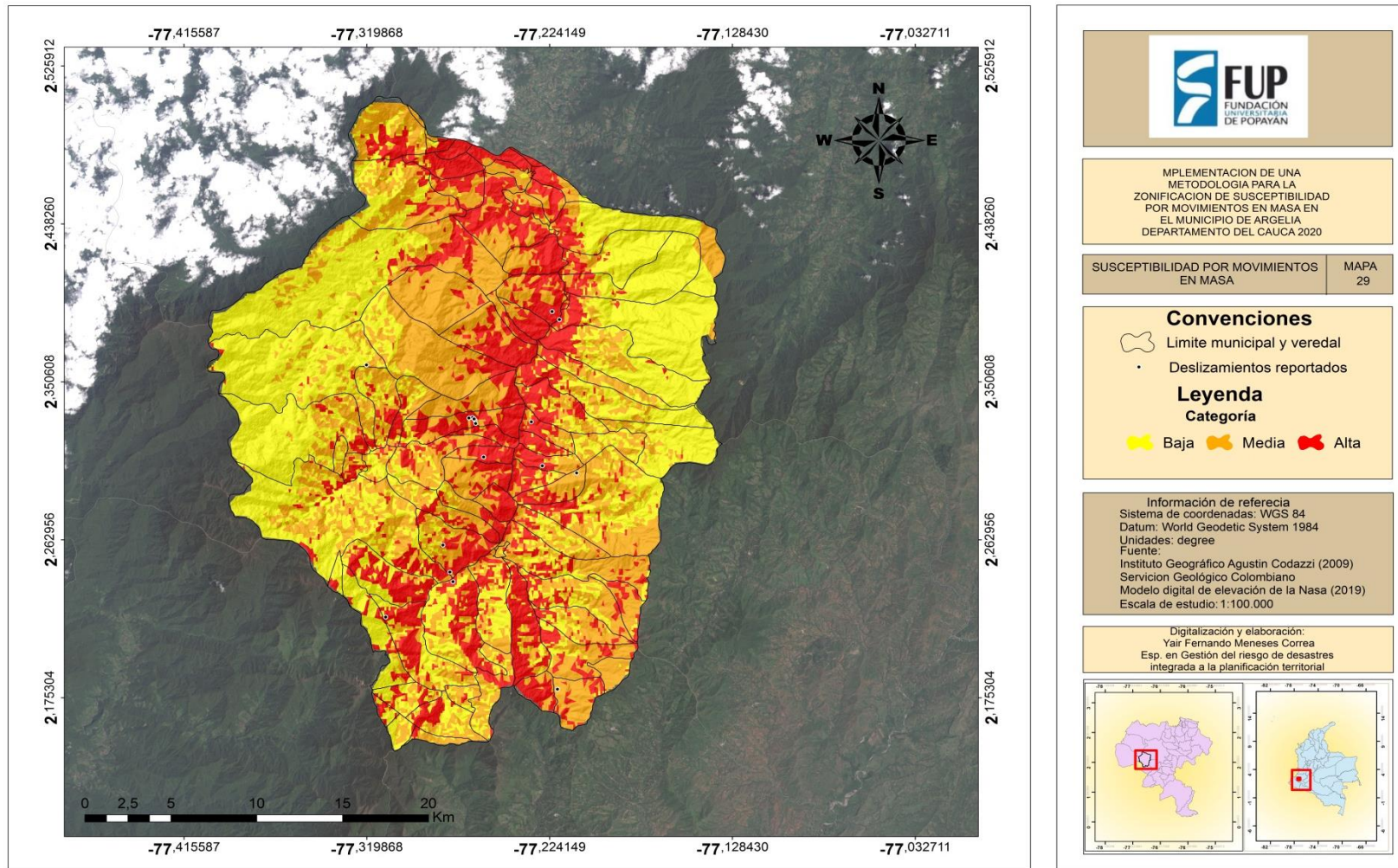
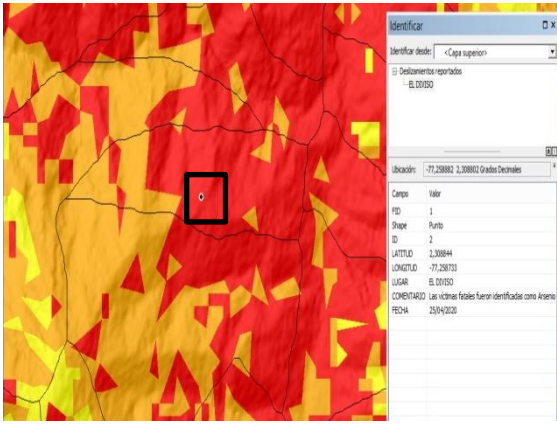



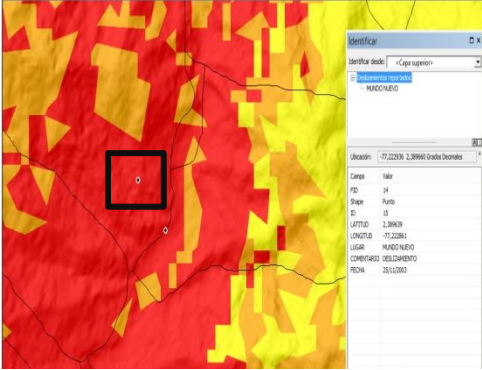

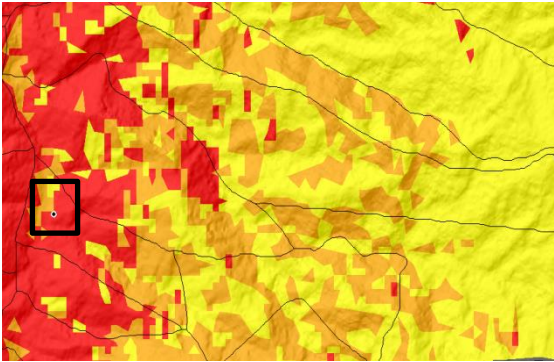

Figura 41. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca

Fuente: Elaboración propia

5.1 Comprobación con el inventario de movimientos en masa del SIMMA

Utilizando el geo visor (SIMMA) del servicio geológico colombiano, se comprueba el mapa denominado Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, mediante el registro de algunos movimientos en masa ocurridos en el municipio de Argelia, es de anotar que no actualmente dicho inventario no se encuentra completamente actualizado y para la comprobación en campo el limitante que presentamos es la difícil situación de orden público en la que se encuentra el municipio.

GEORREFERENCIACIÓN	EVIDENCIA FOTOGRAFICA
 <p>COORDENADAS: Y: 2.3292972 X: -77.2632139 VEREDA: El Diviso</p>	 <p>Un deslizamiento generado por las fuertes lluvias que se presentan en la zona de Argelia (Cauca), causó la muerte de tres personas y heridas a una más, pertenecientes a una misma familia que -también- perdió su casa con el incidente.</p>

GEORREFERENCIACIÓN	EVIDENCIA FOTOGRAFICA
 <p>COORDENADAS: Y: 2,389639 X: - 77,222861 VEREDA: Mundo Nuevo</p>	 <p>- Deslizamiento sobre la vía que conduce al centro poblado Mundo Nuevo en el municipio de Argelia (Cauca), Adicionalmente se evidencia un alto grado de exposición de una vivienda familiar y la vía principal.</p>
GEORREFERENCIACIÓN	EVIDENCIA FOTOGRAFICA
 <p>COORDENADAS: Y: 2,328389 X: - 77,233703 VEREDA: El Mango</p>	 <p>- Deslizamiento sobre la vía que conduce al centro poblado del Mango, en el municipio de Argelia (Cauca), Adicionalmente se evidencia un alto grado de exposición de unas viviendas familiares y de la vía principal.</p>

6 CONCLUSIONES

- La zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa en el municipio de Argelia permitió la identificación de áreas que por sus características intrínsecas que favorecen los movimientos en masa, son zonas que se deben intervenir o priorizar al momento de tomar decisiones en términos de ordenamiento territorial, el resultado comprendido en el presente documento servirá como base fundamental en momento de zonificar la amenaza bien sea de tipo relativa a escala 1:100000 o una amenaza absoluta al aplicar metodologías adaptadas a mayores escalas, 1:5000.
- El mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del municipio de Argelia, permitió identificar que la categoría de mayor distribución espacial corresponde a la de susceptibilidad Baja, ocupando el 39,7 % del área total, seguida por las zonas de susceptibilidad Media que ocupan el 34,9 % de la plancha; mientras que las zonas de susceptibilidad Alta ocupan el 25,4% del área total.
- La cobertura vegetal que más protección aporta al suelo contra los movimientos en masa de tipo deslizamiento generalmente , es el de Bosque denso, caso contrario, los suelos desnudos y los de cultivos de coca son más susceptibles a los movimientos en masa por la poca protección al suelo y baja capacidad raizal retentiva.
- Al superpones los movimientos en masa registrados en el SIMMA, evidenciamos que se localizan en las áreas zonificadas como susceptibilidad alta y media
- Uno de los mayores factores condicionantes dentro de la susceptibilidad total a los movimientos en masa en el municipio de Argelia son las variables de geomorfología y cobertura de la tierra , 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, con alto porcentaje de cobertura de la tierra de tipo suelos desnudos y cultivos de coca.

7 RECOMENDACIONES

- La información referente a las variables de geología, Morfogénesis y suelos, se encuentran a una escala general, aplicable en esquemas regionales, motivo por el cual presentará variaciones en las unidades cartografiadas si se realiza con una metodología a mayor escala
- En zonas de susceptibilidad alta desarrollar estudios más detallados, principalmente en zonas pobladas que se encuentran dentro de esta categoría.
- Es importante para la alcaldía municipal de Argelia trabajar en la actualización cartográfica y la creación de bases de datos espaciales, dado que constituye una fuente de insumo importante para incentivar nuevas líneas investigativas de los riesgos de desastres.
- Promover escenarios de participación comunitaria para la mitigación de áreas con pendientes altas susceptibles a los movimientos en masa, mediante siembra de vegetación propia de la zona que ayude la disminución de la erosión del suelo.
- La generación de sinergias instituciones entre la CRC, alcaldía municipal, servicio geológico y organizaciones sociales para el robustecimiento de los inventarios de movimientos en masa en el municipio, puesto que estos son importantes en el modelo espacial de susceptibilidad y amenaza relativa y/o absoluta, actualmente el registro de los movimientos en masa presentes es deficiente y poco actualizado.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Fidel, L., S. Villacorta, B. Zavala, M. Vílchez, P. Valderrama, S. Núñez et al. (2010). *Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. En XV Congreso Peruano de Geología, Cusco. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú*, pp. 308-311. Publicación Especial 9.
- Pava, Javier (2019). *Balance de la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en la primera generación de pot y configuración de las condiciones de riesgo en el contexto de cambio climático desde la perspectiva poblacional del nuevo proyecto de pot de Bogotá. Universidad del externado, Facultad de ciencias sociales y humanas. Bogotá*
- Irigaray, C. & J. Chacón (2002). *Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG. En F. J. Ayala-Carcedo y J. Corominas (eds.). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con la técnica SIG. Fundamentos y aplicaciones en España*
- Servicio Geológico Colombiano (SGC).(2013). *Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza relativa por Movimientos en Masa. Escala 1:100.000. Bogotá. 158 Pág.*
- Proyecto Multinacional Andino: *Geociencias para las comunidades andinas (PMA: GCA). (2007). Movimientos en masa en la Región Andina: una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, publicación Geológica Multinacional, No.4, 432 p.*
- COLOMBIA, E. P. B. (2012). *Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.*
- Gutiérrez, Javier; GOULD, Michael. (1994). *SIG: Sistemas de Información Geográfica, Madrid.. p. 75 a 156.*
- José I. Barredo Cano y Joaquín Bosque Sendra (1999) "*Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment*". *Geographical Systems*, nº 5, 1999, pp. 313-327.

- Valencia, Marcos (2016). *determinación de la geometría de la zona de wadati-benioff en la región nortedel Perú, usando datos de una red sísmica local. universidad nacional de san Agustín de arequipa.peru.2016.p.17.*
- Suárez, M. (2007). *Geological Framework of the Pacific Coast Sedimentary Basins, Western Colombia. Geología Colombiana, 32, pp. 47-62.*
- Rangel, O. (2004). *La Vegetación del Chocó Biogeográfico de Colombia y Zonas Cordilleranas Aledañas –Síntesis.* En: Rangel, O, Ed. *Diversidad Biótica IV, Chocó Biogeográfico.* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C, Colombia.
- PARRA, E. & VELÁSQUEZ, M. E., 2002. *Geología de las planchas 447 Ipiales y 447 BIS Tallambí, Departamento de Nariño, escala 1: 100.000.* INGEOMINAS, 130 p. Bogotá
- NELSON, H. W., 1962. *Contribución al conocimiento de la Cordillera Occidental, sección carretera Cali - Buenaventura.* Serv. Geol. Nal., Bol. Geol., 10 (1 - 3): 81 - 108. Bogotá.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de movimientos en masa	18
Tabla 2. Matriz de criterios en comparación por pares	26
Tabla 3. Normalización de la matriz de criterios	27
Tabla 4. Relación de consistencia para los criterios de Geología, Geomorfología, Cobertura vegetal, Suelos	28
Tabla 5. Modelo de Matriz de ponderación multicriterio	29
Tabla 6. Unidades Geológicas identificadas en el Municipio de Argelia	36
Tabla 7. Rangos de densidad y clasificación de susceptibilidad a nivel nacional	39
Tabla 8. Estructura/Fábrica de las rocas y propuesta de clasificación	41
Tabla 9. Calificación de susceptibilidad según fábrica y textura de la roca	42
Tabla 10. Calificación de las rocas dependiendo su resistencia	44
Tabla 11. Calificación de susceptibilidad según su resistencia	44
Tabla 12. Categorías de Susceptibilidad Geológica	47
Tabla 13. Susceptibilidad en función de la Pendiente	52
Tabla 14. Valores de susceptibilidad de la Rugosidad	56
Tabla 15. Valores de susceptibilidad de Acuenca	62
Tabla 16. Valores de susceptibilidad Morfométrica	65
Tabla 17. Valores Relieve Relativo	68
Tabla 18. Valores Inclinación de Ladera	70
Tabla 19. Valores de Susceptibilidad por la Variable de Morfodinámica	73
Tabla 20. Calificación de las unidades geomorfológicas según la morfogénesis	77
Tabla 21. Relación de ambientes morfogenéticos por área y porcentaje de	78
Tabla 22. Calificación de los atributos de la morfogénesis	81
Tabla 23. Valores de Susceptibilidad por la Variable Morfogénesis	83
Tabla 24. Valores de Susceptibilidad Geomorfológica	87
Tabla 25. Cobertura de la tierra en el municipio de Argelia	93
Tabla 26. Categorización y calificación del atributo Profundidad radicular	95
Tabla 27. Profundidad Radicular de las coberturas identificadas en el municipio de Argelia	96
Tabla 28. Clasificación de susceptibilidad por profundidad radicular	96
Tabla 29. Equivalencia de los grupos texturales de suelos (CN)	100
Tabla 30. Valores de susceptibilidad por el atributo de drenaje profundo	100
Tabla 31. Categorización y calificación de la variable evapotranspiración.	104
Tabla 32. Calificaciones de la susceptibilidad de la evapotranspiración	105
Tabla 33. Categorización y calificación de la variable Número de Estratos	108

Tabla 34. Calificación de la susceptibilidad del atributo número de estratos	109
Tabla 35. Calificación de la susceptibilidad coberturas de la tierra.	112
Tabla 36. Clasificación de la textura de los suelos	118
Tabla 37. Calificación de susceptibilidad por el atributo de textura.	118
Tabla 38. Clasificación de la taxonomía de los suelos	122
Tabla 39. Calificación de susceptibilidad por el atributo de taxonomía.	123
Tabla 40. Clasificación de la profundidad efectiva de los suelos	126
Tabla 41. Calificación de susceptibilidad por el atributo de Profundidad	127
Tabla 42. Clasificación del tipo de arcilla en los suelos	130
Tabla 43. Calificación de susceptibilidad por el atributo de tipo de arcilla	131
Tabla 44. Clasificación del drenaje natural del suelo	134
Tabla 45. Valores de susceptibilidad por el atributo de drenaje natural del suelo	135
Tabla 46. Valores de susceptibilidad por el atributo de suelos	138
Tabla 47. Valores de susceptibilidad ante movimientos en masa para El municipio de Argelia, Departamento del cauca	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del municipio de Argelia departamento del Cauca	12
Figura 2. Ejemplo de estructura jerárquica AHP	25
Figura 3. Escala de preferencia o importancia dentro del proceso analítico jerárquico Fuente: Dpto. Métodos Estadísticos. Facultad de Económicas.	26
Figura 4. Mapa de unidades Geológicas presentes en el municipio de Argelia, departamento del Cauca	37
Figura 5. Ponderación de las sub-variables del atributo Geología	38
Figura 6. Mapa de susceptibilidad por Densidad de fracturamiento, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	40
Figura 7. Mapa de susceptibilidad por Fábrica y Textura, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	43
Figura 8. Mapa de susceptibilidad por Resistencia de la roca, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	45
Figura 9. Modelo para la generación del mapa de susceptibilidad geológica	46
Figura 10. Mapa de susceptibilidad Geológica, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	48
Figura 11. Ponderación de las sub-variables del atributo Geomorfología	50
Figura 12. Ponderación de las sub-variables del atributo Morfometría	51
Figura 13. Mapa de susceptibilidad de la pendiente, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	54
Figura 14. Mapa de susceptibilidad por rugosidad, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	58
Figura 15. Flujograma para la elaboración del atributo Acuenca	59
Figura 16. Cálculo de la dirección del flujo	60
Figura 17. Cálculo de las direcciones de flujo.	61
Figura 18. Mapa de susceptibilidad por el atributo de Acuenca, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	63
Figura 19. Mapa de susceptibilidad Morfométrica, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	66
Figura 20. Mapa de susceptibilidad Por Relieve Relativo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	69
Figura 21. Mapa de susceptibilidad por Inclinación de Ladera, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	72
Figura 22. Mapa de susceptibilidad por Morfodinámica, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	76

Figura 23. Mapa de ambiente morfogenético, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	80
Figura 24. Mapa de Susceptibilidad por morfogénesis, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	86
Figura 25. Mapa de Susceptibilidad Geomorfológica, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	90
Figura 26. Efectos de la vegetación sobre el suelo	92
Figura 27. Atributos de la variable cobertura de la tierra, con sus respectivos porcentajes	92
Figura 28. Mapa de Cobertura de la tierra, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	94
Figura 29. Mapa de susceptibilidad por profundidad radicular, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	98
Figura 30. Mapa de susceptibilidad por drenaje profundo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	103
Figura 31. Mapa de susceptibilidad por evapotranspiración, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	107
Figura 32. Mapa de susceptibilidad por número de estratos, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	111
Figura 33. Mapa de susceptibilidad por cobertura vegetal, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	115
Figura 34. Ponderación de los atributos calificados para la variable Suelos	116
Figura 35. Mapa de susceptibilidad por textura del suelo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	121
Figura 36. Mapa de susceptibilidad por taxonomía del suelo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	125
Figura 37. Mapa de susceptibilidad por profundidad del suelo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	129
Figura 38. Mapa de susceptibilidad por tipo de arcilla, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	133
Figura 39. Mapa de susceptibilidad por drenaje del suelo, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	137
Figura 40. Mapa de susceptibilidad por suelos, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	141
Figura 41. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa, Municipio de Argelia, Departamento del Cauca	146

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de Susceptibilidad según la Pendiente	52
Gráfico 2. Porcentaje de Susceptibilidad según la rugosidad	56
Gráfico 3. Porcentaje de Susceptibilidad por el atributo de Acuenca	62
Gráfico 4. Porcentaje de Susceptibilidad por el atributo de Morfometría	65
Gráfico 5. Porcentaje de Áreas por Relieve Relativo	68
Gráfico 6. Porcentaje de Áreas por Inclinación de Ladera	71
Gráfico 7. Porcentaje de Área susceptible por la variable Morfodinámica	75
Gráfico 8 Porcentaje del ambiente morfogenético	78
Gráfico 9. Porcentaje de Susceptibilidad por la Variable Morfogénesis	84
Gráfico 10 . Porcentaje de Susceptibilidad Geomorfológica	88
Gráfico 11. Porcentajes de la susceptibilidad por profundidad radicular	96
Gráfico 12. Porcentajes de susceptibilidad por drenaje profundo	101
Gráfico 13. Porcentaje de susceptibilidad por evapotranspiración	105
Gráfico 14. Porcentaje de susceptibilidad por número de estratos	109
Gráfico 15. Porcentaje de área susceptible por el atributo cobertura vegetal	113
Gráfico 16. Porcentaje de área susceptible por el atributo de textura	119
Gráfico 17. Porcentaje de susceptibilidad por el atributo de taxonomía	124
Gráfico 18. Porcentaje de susceptibilidad por el atributo de profundidad.	127
Gráfico 19. Porcentaje de susceptibilidad por el atributo de tipo de arcilla	132
Gráfico 20. Porcentajes de área susceptible por el atributo drenaje profundo	135
Gráfico 21. Porcentaje de área susceptible por el atributo de suelos	139
Gráfico 22. Distribución porcentual de área susceptible ante movimientos en masa en el Municipio de Argelia, Departamento del Cauca.	143

**RECURSOS EDUCATIVOS**

Código: FO-RE-021

**AUTORIZACIÓN PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO -
COLECCIONES DIGITALES**

Versión: 03

Fecha: Marzo de 2020

Para los fines propios de este formato, cuando se use la palabra: "Documento", se entenderá que comprende: tesis, trabajo de grado, monografía, artículo, video, conferencia, libro, imagen, fotografía, audio, presentación u otro, incluyendo los definidos en el ordenamiento jurídico, en especial los del artículo 243 del Código General del Proceso, siempre que estos sean creación del autor quien lo suscribe como tal.

1. Datos del Documento

Nombre del Documento	IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ARGELIA, DEPARTAMENTO DEL CAUCA, 2020.
Nombre del Evento (Si aplica)	
Cantidad a Entregar	1
Fecha del Evento (Si aplica)	
Fecha de Entrega:	15 / 04 / 2021

2. Autorización de publicación de documentos en el Repositorio Colecciones Digitales de la Fundación Universitaria de Popayán

- Esta autorización permite a la Fundación Universitaria de Popayán, albergar en el Repositorio Colecciones Digitales FUP, ubicado en el sitio Web, el documento que se entrega para efectos de uso, reproducción (sin fines de lucro), distribución (préstamo) y comunicación pública de la obra objeto del presente documento, en formato electrónico abierto (consulta acceso abierto on-line), en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Ley 1450 de 2011, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995, la Circular No. 6 de la Dirección Nacional de Derechos de Autor y demás normas generales sobre la materia. La autorización se hace extensiva a las facultades y derechos sobre la obra en formato o soporte material, digital, electrónico, virtual, óptico, uso en red, internet, extranet, intranet, entre otros, y en general para cualquier formato conocido o por conocer, así como también para tratar mis datos personales de acuerdo con la política institucional y para los fines relacionados con su objeto.
- El Documento objeto de la presente autorización es de la exclusiva autoría de quienes suscriben el presente formato como El/los autores(es) del mismo, quien(es) manifiesta(n) que ha sido realizado respetando los derechos de autor de terceros. Por tanto, en caso de presentar cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, el/los autor(es) asumirá(n) la responsabilidad y saldrá(n) en defensa de las facultades y derechos aquí autorizados, asumiendo cualquier costo por este concepto. La Fundación Universitaria de Popayán actúa como un tercero de buena fe.
- La autorización otorgada por medio de este documento institucional se entiende concedida a título gratuito, por el término de protección establecido en la legislación vigente y aplicable para Colombia, la cual no implica la cesión de los derechos patrimoniales sobre el Documento, es decir, que el/los autor(es) podrá(n) seguir explotando la obra sin que ello implique afectación alguna a la presente autorización, y tampoco implica la cesión de los derechos morales, esto de conformidad con lo establecido por el artículo 30 de la Ley 23 de 1982, el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993 y demás normas concordantes, en donde se dispone que estos derechos son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables; igualmente el/los autor(es) manifiesta(n) que los derechos patrimoniales sobre la obra en cuestión no han sido cedidos con antelación y que sobre ellos no pesa ningún gravamen ni limitación en su uso o utilización.
- La Fundación Universitaria de Popayán se compromete a cumplir las normas sobre los derechos morales, bajo las acciones en que sea usado el Documento. No obstante, y por situaciones imprevisibles, caso fortuito o fuerza mayor, o hecho exclusivo de tercero no responderá por ningún perjuicio que se cause a la obra.
- La autorización estará respaldada por las firmas de todos los autores del Documento.

El/los autor(es) manifiesta(n) que ha(n) leído las anteriores disposiciones y SI NO Autorizan.

Para constancia se firma el presente documento, en la ciudad de Popayán, a los 22 del mes de abril de dos mil veintiuno (2021)

3. Datos de EL (LOS) AUTOR(ES):

Nombre del Autor	Número de identificación	Contacto	Firma
1. YAIR FERNANDO MENESES	1.007.432.476	Tel: 3205342099 Correo: yairfer@unicauca.edu.co	
2.		Tel: _____ Correo: _____	
3.		Tel: _____ Correo: _____	

Haga entrega y recibido del presente formato institucional.

Nombre y Firma de quien entrega en Biblioteca
De Coordinador(a) Académico, en caso de trabajos de grado

Nombre y Firma de quien recibe en Biblioteca

