

# Zonificación de la aptitud geológica en el margen occidental del área rural de Itagüí (Antioquia): Veredas La María, Los Olivares, Loma de los Zuleta y El Pedregal.



Proyecto de grado para optar por el título de Geólogo  
presentado por:

Juan Pablo Franco Gómez

Estudiante en convenio de la Universidad EAFIT

Medellín

Junio del 2018

Profesor Asesor

José Humberto Caballero Acosta

Universidad Nacional de Colombia

Sede Medellín.

# Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	GENERALIDADES.....	5
2.1.	Objetivos.....	5
2.2.	Localización.....	6
2.3.	Usos del suelo.....	7
2.4.	Geología Regional.....	10
2.5.	Unidades Geológicas.....	11
2.5.1.	Stock de Altavista.....	11
2.5.2.	Depósitos de vertiente.....	12
2.5.3.	Depósitos aluviotorrenciales.....	12
2.5.4.	Llenos Antrópicos.....	13
2.6.	Hidrología.....	13
3.	METODOLOGÍA.....	16
3.1.	Recopilación de información existente.....	16
3.2.	Fotointerpretación y uso de los sensores remotos disponibles.....	17
3.3.	Análisis detallado de la base topográfica.....	20
3.4.	Realización de visitas de campo para el reconocimiento de las unidades litológicas y geomorfológicas.....	21
3.4.1.	Procesos Morfodinámicos.....	22
3.4.2.	Perfil de Suelo.....	29
3.4.3.	Coberturas.....	31
3.4.4.	Intervención Antrópica.....	34
4.	ZONIFICACIÓN DE LA APTITUD GEOLÓGICA.....	41
4.1.	Mapa de uso actual del suelo.....	42
4.2.	Pendientes.....	44
4.3.	Geomorfología.....	46
4.4.	Unidades Morfodinámicas Independientes – UMIs.....	49
4.5.	Mapa de zonificación de la Aptitud Geológica.....	51
5.	DISCUSIÓN.....	54
6.	CONCLUSIONES.....	55
7.	RECOMENDACIONES.....	55

AGRADECIMIENTOS .....	56
BIBLIOGRAFÍA .....	56

### Listado de Mapas

<b>Mapa 1.</b> Veredas y Usos del Suelo (POT Itagüí 2007) .....	8
<b>Mapa 2</b> Cuencas y drenajes del área de estudio .....	14
<b>Mapa 3</b> Ubicación de movimientos en masa en el área de estudio.....	19
<b>Mapa 4</b> Uso actual del suelo en el área de estudio.....	43
<b>Mapa 5</b> Pendientes.....	45
<b>Mapa 6</b> Geomorfología.....	48
<b>Mapa 7</b> Unidades Morfodinámicas Independientes (UMIs) .....	50
<b>Mapa 8</b> Zonificación de la aptitud geológica.....	53

### Listado de Figuras

<b>Figura 1</b> Marco normativo para los estudios de riesgo en detalle del Área Metropolitana del Valle de Aburrá .....	4
<b>Figura 2</b> Esquema de la localización del área de estudio. ....	7

### Listado de Tablas

<b>Tabla 1</b> Área y proporción de la clasificación de usos del suelo en el área de estudio.....	10
<b>Tabla 2</b> Insumos obtenidos durante la recopilación de información existente. ....	17

**Zonificación de la aptitud geológica en el margen occidental del área rural de Itagüí  
(Antioquia): Veredas La María, Los Olivares, Loma de los Zuleta y El Pedregal.**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El crecimiento demográfico y la consolidación de centros urbanos como eje de desarrollo económico han generado la expansión de ciudades hacia zonas geológicamente inestables en el territorio Colombiano, exponiendo a su población a condiciones de riesgo.

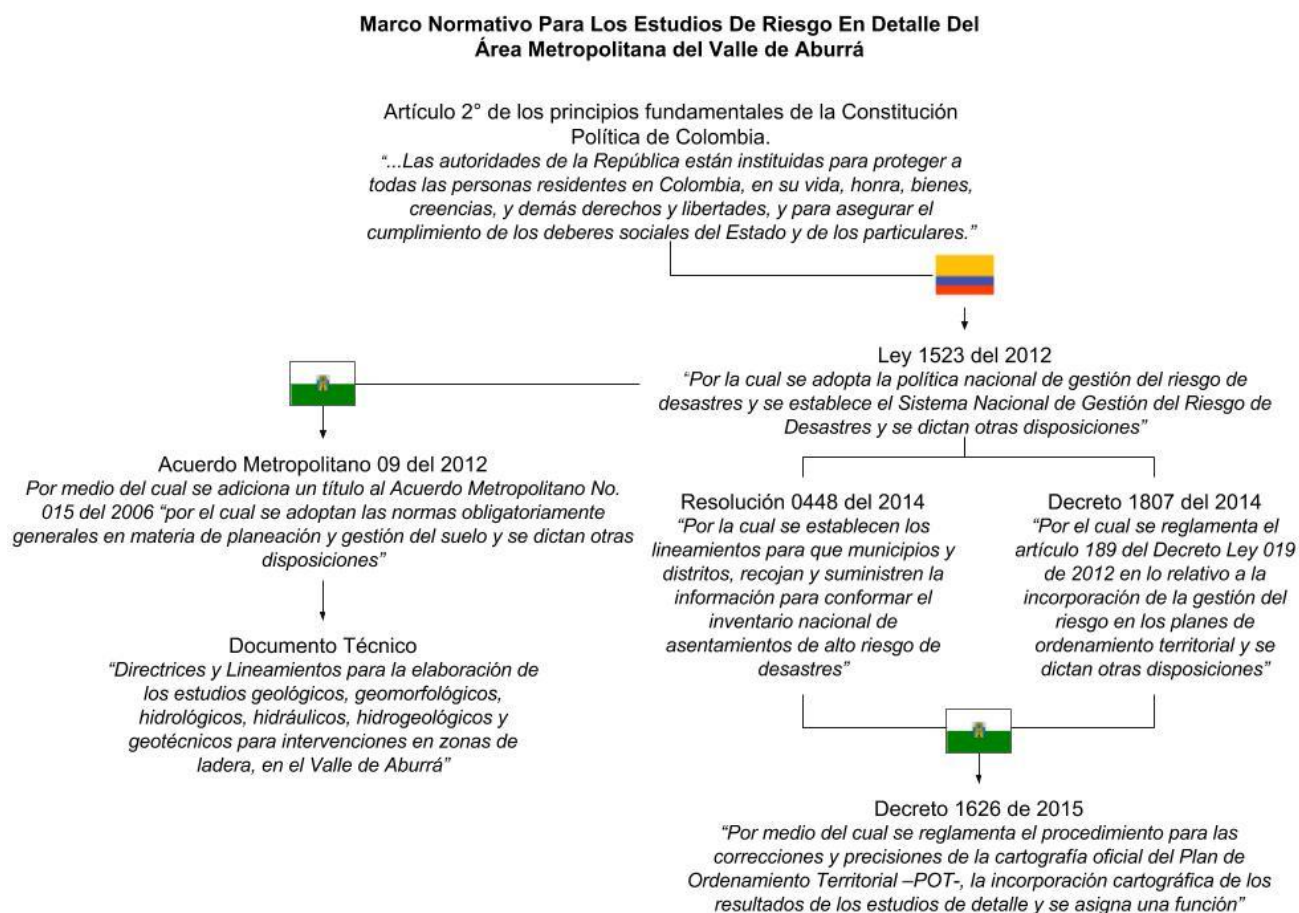
Dicha dinámica se ha visto intensificada frente a la presión ejercida por parte de grupos armados a poblaciones principalmente campesinas que se ven obligadas a desplazarse hacia las grandes ciudades, generando una ocupación irregular y un cambio en el uso de suelo sobre sus márgenes en cortos periodos de tiempo.

En el caso específico del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), ubicada en la cordillera central de Colombia, dentro de la cuenca del río Medellín y conformada por 10 municipios del departamento de Antioquia (Barbosa, Copacabana, Girardota, Bello, Caldas, La Estrella, Itagüí, Sabaneta, envigado y Medellín), se presenta una dinámica de expansión urbanística asociada, entre otras causas, a la ocupación del territorio por parte de poblaciones desplazadas. Lo cual, en conjunto con las características topográficas y de composición del suelo del valle, genera problemáticas de estabilidad que exponen a su población a condiciones de riesgo.

Por tal motivo, es necesaria la realización de estudios y planes de monitoreo sobre las condiciones de estabilidad de las laderas, así como del grado de exposición a amenazas por movimientos en

masa, avenidas torrenciales e inundaciones de las poblaciones asentadas en el suelo urbano y rural de los municipios.

Dentro de este contexto y con el propósito de implementar acciones que permitan una gestión sistemática del territorio en relación a condiciones de riesgo, distintas instancias del gobierno han generado un marco normativo a nivel regional y local en el cual se establecen definiciones, criterios y medidas para el estudio del territorio. A continuación se presenta uno de los marcos normativos locales, correspondiente al AMVA, que parten de la normatividad nacional.



**Figura 1** Marco normativo para los estudios de riesgo en detalle del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Por lo anterior y tomando en cuenta que el municipio de Itagüí es altamente susceptible al impacto generado por procesos de urbanismo debido a que de sus 21.09 Km<sup>2</sup>, 12.17 Km<sup>2</sup> (58%) corresponden al área urbana y apenas 8.91 Km<sup>2</sup> (42%) pertenecen al área rural, este trabajo busca brindar una aproximación a las condiciones de estabilidad del margen occidental del área rural del municipio que pueda servir como insumo para la elaboración de estudios futuros y que facilite una gestión adecuada del uso del suelo.

Esto, mediante la elaboración de un mapa de zonificación de aptitud geológica obtenido según las “Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera en el Valle de Aburrá” (AMVA, 2012).

## 2. GENERALIDADES.

### 2.1. Objetivos

El objetivo general del trabajo es realizar el estudio de zonificación de aptitud geológica de las veredas occidentales del área rural del municipio de Itagüí, correspondiente al margen sur-oriental del cerro Manzanillo entre las quebradas Charco Hondo y La Tablaza. Esto, para definir zonas aptas, aptas con restricciones moderadas, aptas con restricciones altas y no aptas según los criterios establecidos en la metodología.

Para cumplir este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos.

- Recopilar y analizar la información previa disponible del área de estudio.
- Caracterizar la geología del área de estudio.

- Elaborar los mapas temáticos necesarios para la zonificación de aptitud geológica: mapa de pendientes, mapa geológico, mapa geomorfológico de las Unidades Morfodinámicas Independientes (UMIs), mapa de procesos morfodinámicos, mapa de amenaza por movimientos en masa y mapa de zonificación de la aptitud geológica.
- Formular conclusiones y recomendaciones en relación al manejo de las problemáticas que se identifiquen en el área de estudio.

## 2.2. Localización

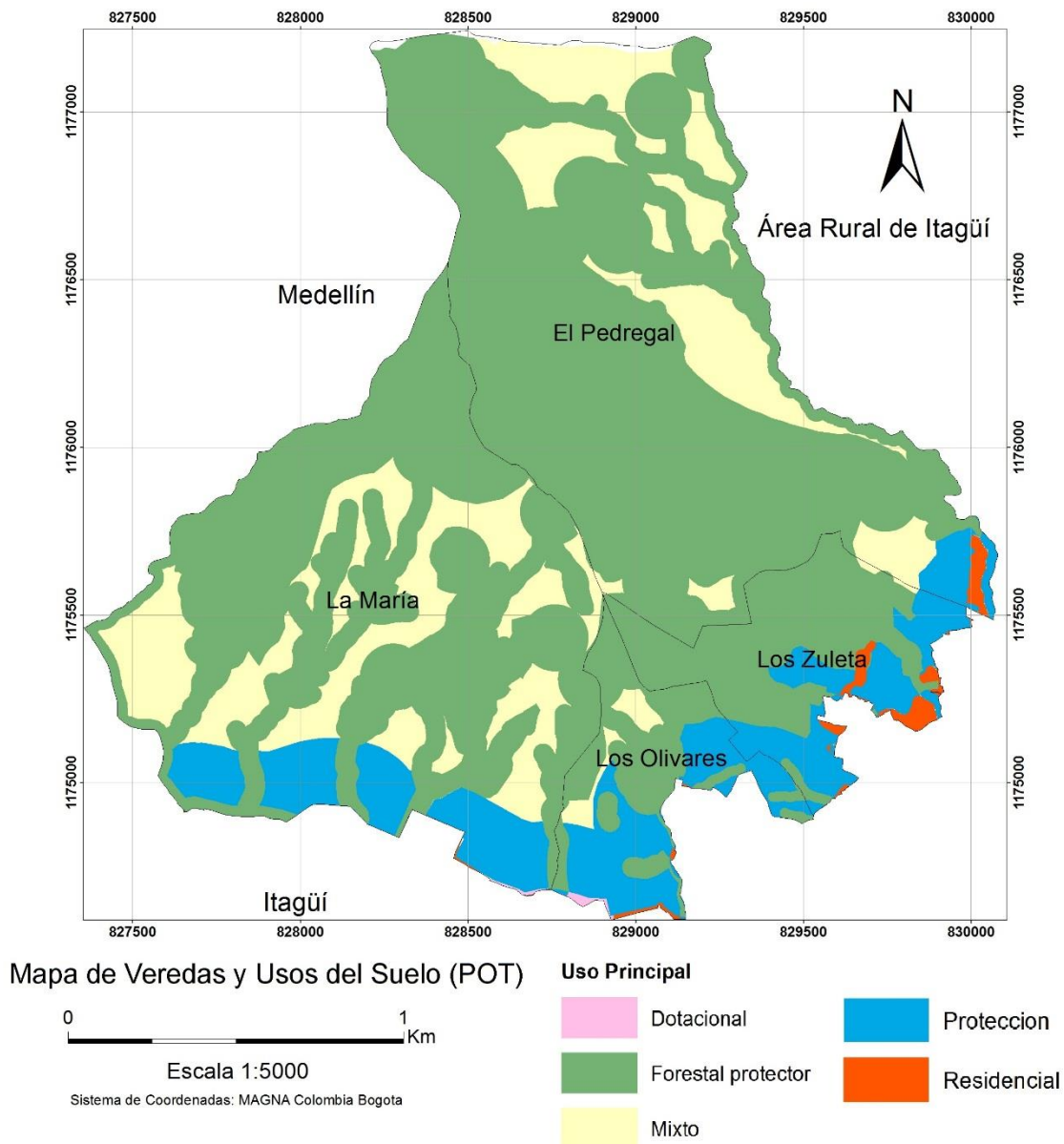
La zona de estudio presenta un área de 4,15 Km<sup>2</sup> (415 ha) en el margen oriental del corregimiento de Manzanillo (área rural de Itagüí) sobre las veredas La María, Los Olivares, Loma de Los Zuleta y El Pedregal y está delimitada por las quebradas Charco Hondo, también conocida como quebrada Piedra Gorda y La Tablaza en sus márgenes occidental y oriental respectivamente y por el límite de área rural establecido por catastro municipal en los márgenes norte y sur. La delimitación del margen rural norte coincide con una cuchilla sobre la que se traza la divisoria de aguas de la quebrada El Atravezado, mientras que el margen sur fue establecido según las características de consolidación y densidad de las viviendas aledañas a la quebrada Doña María.



**Figura 2** Esquema de la localización del área de estudio.

### 2.3. Usos del suelo.

Según información catastral y del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) vigente del municipio de Itagüí el área de estudio presenta cinco (5) categorías de uso del suelo, las cuales corresponden a uso Dotacional, Residencial, de Protección, Mixto y Forestal Protector. A continuación se muestra el mapa con la distribución de esta clasificación y una descripción general de lo que representa cada categoría:



**Mapa 1.** Veredas y Usos del Suelo (POT Itagüí 2007)

Dotacional: Corresponde a las superficies destinadas al sistema vial y al natural, incluyendo parques y reservas naturales, así como a equipamientos de salud, de aprovisionamiento eléctrico y de agua, educación y de asistencia y protección social, entre otros (Itagüí, 2007). Se presenta en una pequeña fracción del área de estudio, ubicada en el margen sur, sobre el límite entre el área

rural y la urbana y no representa un factor de influencia importante sobre el área de estudio según la cartografía oficial.

**Residencial:** Hacen parte de esta clasificación las áreas destinadas a la construcción de unidades de vivienda en zonas que pueden tener la clasificación adicional de suelo de expansión. Se encuentran ubicadas en el margen sur y suroriental del área de estudio, en zonas con mayor influencia de las actividades urbanísticas del suelo urbano.

**Protección:** Es el suelo que corresponde a áreas de retiro obligatorio de quebradas, zonas de reserva ecológica, con clasificación de amenaza alta, áreas de expansión, entre otras. En el caso del área de estudio está designada a partir del suelo de expansión, el cual hace referencia a las áreas aledañas al suelo urbano en las cuales no se cuenta con una infraestructura de servicios ni accesibilidad con un potencial de desarrollo supeditado a la formulación de planes parciales.

**Mixto:** Está conformado por las áreas con una mezcla de actividades agrícolas, pecuarias, áreas de esparcimiento y vivienda campesina, en las que prevalece la oferta de bienes y servicios ambientales (Itagüí, 2007). Es el segundo tipo de uso del suelo más extenso en el área de estudio debido a la naturaleza de las actividades relacionadas con el suelo rural y constituye un referente del área de influencia antrópica según los criterios planteados en el POT.

**Forestal Protector:** Uso de suelo designado a las áreas en mejor estado de conservación, así como a zonas de amenaza alta y retiros de quebradas que requieren cobertura vegetal debido a sus características ambientales y para prevenir intervenciones antrópicas (Itagüí, 2007). Es uno de los tipos de cobertura más importantes del área de estudio debido a que comprende la mayor parte de su extensión y a que se compone por un conjunto de variables del sistema natural.

<b>Uso del suelo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Proporción</b>
Dotacional	0,36	0,09%
Residencial	3,09	0,75%
Protección	44,44	10,73%
Mixto	71,45	17,24%
Forestal protector	295,00	71,20%

**Tabla 1** Área y proporción de la clasificación de usos del suelo en el área de estudio..

El porcentaje de área clasificado como suelo Forestal Protector indica una proyección orientada a la preservación del componente natural y a la reducción de la influencia antrópica en el área rural del municipio objeto del presente trabajo. Lo cual es importante considerar en una etapa posterior de zonificación de la aptitud geológica basada en los usos del suelo.

#### 2.4. Geología Regional

La zona de estudio se ubica en el margen oriental del Valle de Aburra, localizado en medio de la Cordillera Central de Colombia en la parte norte de la Cordillera de los Andes. El valle presenta una dirección predominante Norte-Sur entre los municipios de Caldas y Bello a lo largo de sus primeros 30 km de longitud y Noroeste entre los municipios de Bello y Barbosa a lo largo de aproximadamente 35 km (Hermelin, 2007) y está delimitado al occidente por la falla San Jerónimo, perteneciente al sistema de fallas Cauca-Romeral con un ensanchamiento de hasta 7 km.

Según Arias (2003) el Valle de Aburrá corresponde a un *basin* intramontañoso poligenético, conformado a partir de la influencia de esfuerzos tectónicos y procesos morfodinámicos asociados a afluentes hídricos. EDAD DE FORMACION

A escala regional el sistema estructural rumbo dextral Cauca-Romeral es el más cercano al área de estudio con influencia local de la falla San Jerónimo. Sin embargo, la última no se presenta directamente sobre el área de estudio según la cartografía oficial y las observaciones de campo.

## 2.5. Unidades Geológicas.

Las 8 veredas que conforman el corregimiento de Manzanillo están ubicadas en la Diorita de Altavista, que corresponde a un cuerpo ígneo de edad Cretácica localizado en el margen centro-occidental del Valle de Aburrá (INGEOMINAS, 1983), con extremos sur y norte localizados en las quebradas Doña María y La Iguaná respectivamente. Además, presenta unidades recientes que corresponden a Depósitos de Vertiente, Depósitos Aluviotorrenciales y Llenos antrópicos.

### 2.5.1. Stock de Altavista

Es un cuerpo ígneo de edad Cretácica denominado inicialmente por (Botero, 1963), representa un cuerpo granítico intrusivo de composición diorítica (Travis, 1965 en Mejía, 1984) que aflora en la margen occidental del Valle de Aburrá con un área de aproximadamente 88 km<sup>2</sup> (Mejía, 1984). Petrográficamente los tipos de rocas observados en el stock corresponden a pórfidos de matriz afanítica, dioritas, cuarzodioritas y granitos; hacia los bordes del cuerpo principal se evidencian facies gábricas asociadas a asimilación de las rocas encajantes (Mejía, 1984).

La meteorización del Stock es avanzada y los suelos alcanzan perfiles de hasta 45 m (GSM, 1999) El suelo más desarrollado presenta de forma general un nivel superficial de suelo maduro limo-arcilloso (Nivel IB), de color claro y espesor mayor a 15 m, infrayacido por un horizonte saprolítico (Nivel IC) limo-arenoso el cual conserva la textura y estructura de la roca parental y es altamente susceptible a la erosión; localmente se observa meteorización esferoidal.

### 2.5.2. Depósitos de vertiente

Los depósitos coluviales, representan la acumulación de materiales producto de la remoción durante procesos de inestabilidad pasados, estos depósitos se encuentran reposando sobre sobre las rocas ígneas plutónicas del sector o sobre depósitos más antiguos (Jiménez, 2006).

En la zona se encuentran depósitos cartografiados principalmente en sector suroccidental y sureste de la vereda Los Olivares y la zona de acumulación del deslizamiento de La Alcarraza en la vereda Los Gómez (Jiménez, 2006).

### 2.5.3. Depósitos aluviotorrenciales

Son depósitos encontrados en el fondo de los valles de los principales drenajes del sector, se presentan en forma de capas angostas de material con matriz limo-arenosa y bloques subredondeados mal seleccionados a lo largo de los márgenes de los afluentes principales. Su amplitud incrementa hacia la parte baja las cuencas adquiriendo una geometría en forma de abanicos.

En la parte baja de la cuenca de la Quebrada Olivares se presenta un amplio abanico aluviotorrencial (Jiménez, 2006). En la vereda El Ajizal la quebrada que lleva su mismo nombre ha depositado material aluviotorrencial de bajo espesor en sus márgenes generando pequeños depósitos en el sector.

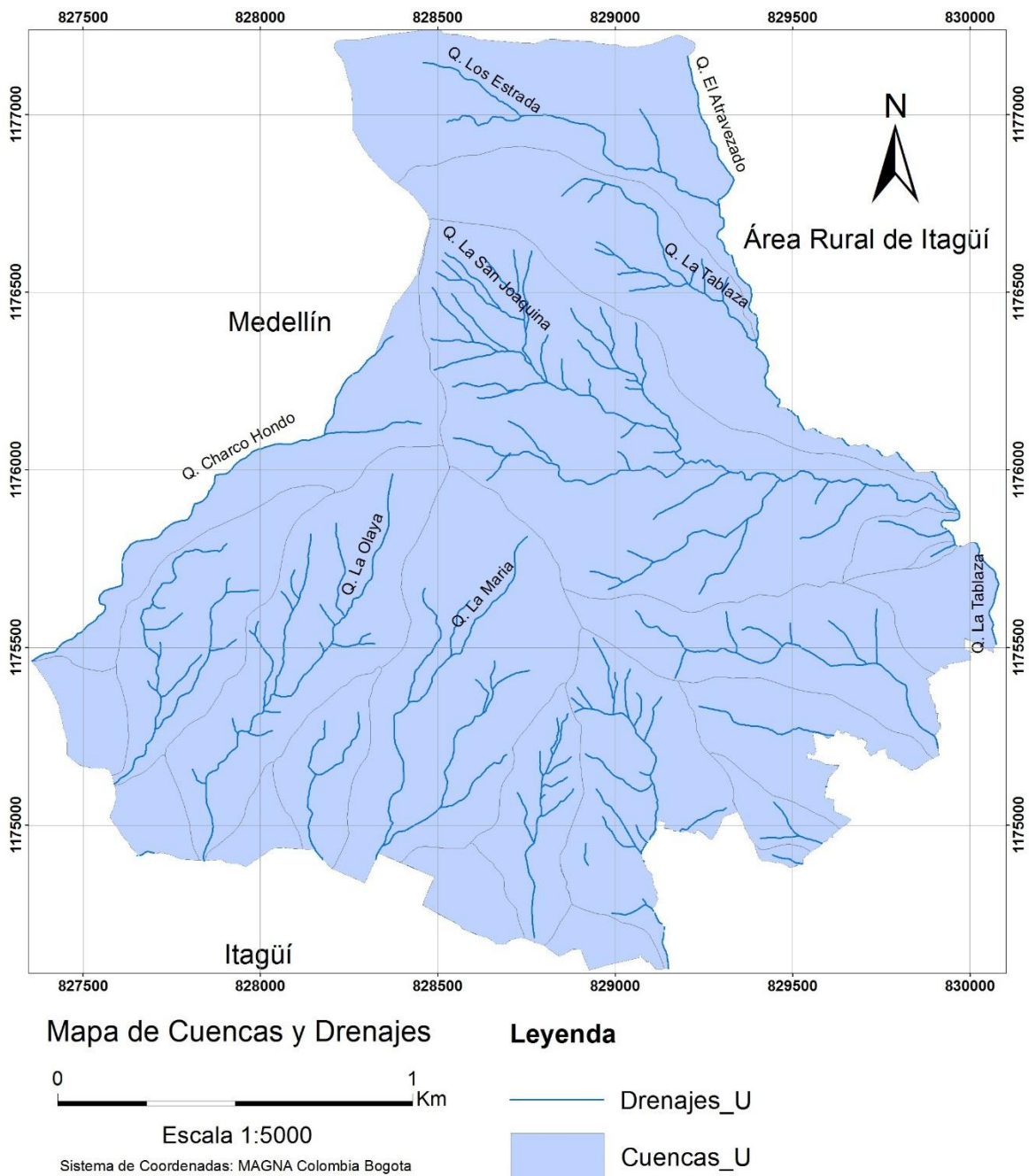
#### 2.5.4. Llenos Antrópicos

Corresponden a llenos generados por la actividad constructiva y los residuos de ladrilleras en el sector, que se acumulan en ciertos lugares formando terraplenes. Están presentes como cuerpos dispersos en todo el sector principalmente ubicados en áreas construidas y en lugares cercanos a ladrilleras.

En la quebrada Los Gómez en el sector de la sede del corregidor se encuentran varios depósitos de dimensiones reducidas, estos llenos están conformados principalmente por escombros, residuos sólidos y residuos de ladrilleras (Jiménez, 2006).

#### 2.6. Hidrología

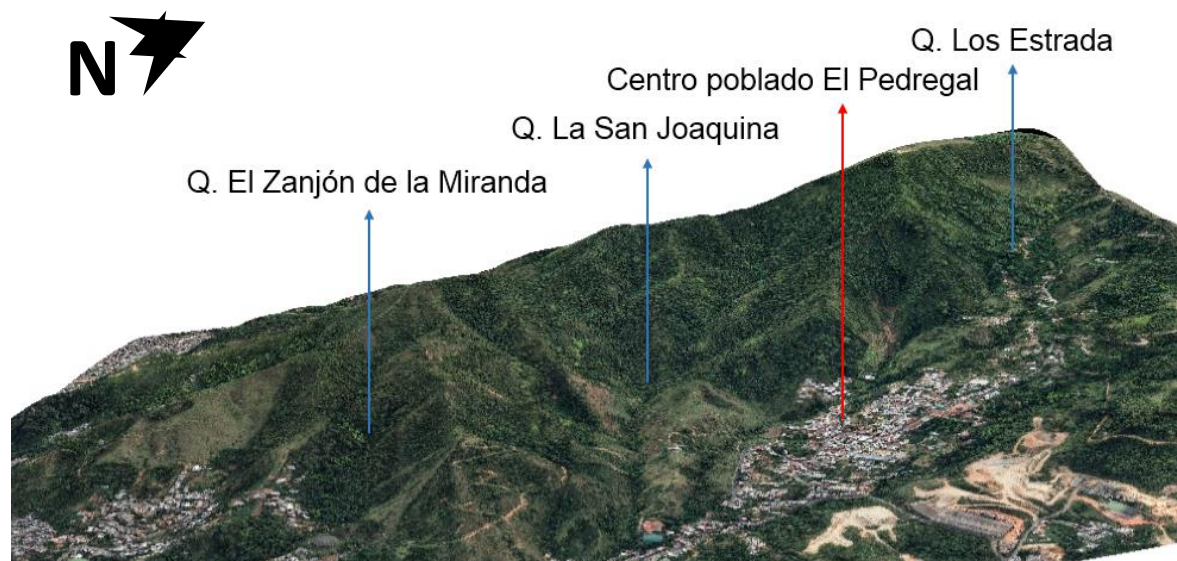
Uno de los componentes de mayor importancia, debido a su incidencia sobre las características geomorfológicas y de composición del suelo del área de estudio, es la presencia de afluentes hídricos en toda su extensión. Se delimitaron un total de 22 microcuencas que forman parte de la red de drenaje de la quebrada Doña María, ubicada al sur del área rural de Itagüí y que corresponde a uno de los afluentes principales del sur del río Medellín



**Mapa 2** Cuencas y drenajes del área de estudio

Las cuencas con mayor área corresponden a las quebradas La San Joaquina, La María, Charco Hondo y Los Estrada, con 79.25, 44.16, 40.54 y 38,80 hectáreas respectivamente. Adicionalmente, se han generado movimientos en masa aledaños a afluentes hídricos, implicando un potencial de ocurrencia de avenidas torrenciales. Lo último es evidenciado en la parte baja de los algunos en

los cuales se ubican depósitos aluviotorrenciales con presencia de bloques subangulares muy mal seleccionados embebidos en una matriz con una disposición irregular.



**Vista del margen oriental del área de estudio.**



**Vista del margen occidental del área de estudio.**

### 3. METODOLOGÍA

Para este trabajo se implementó la metodología planteada en el documento técnico del acuerdo metropolitano 09 del 2012, el cual establece las “Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera en el Valle de Aburrá” (AMVA, 2012). Esto, con el propósito de brindar un insumo acorde a los parámetros metodológicos empleados en otros estudios del territorio que sea aportante para estudios futuros.

A continuación se enuncian los lineamientos metodológicos implementados según el alcance del presente trabajo:

#### 3.1. Recopilación de información existente

Consistió en la consecución de trabajos previos relacionados con la temática y la zona de estudio a partir de fuentes de información documental digital y física, en bases de datos, bibliotecas y archivos de entidades públicas y privadas, entre otros.

A continuación se presenta una tabla con los contenidos adicionales a la bibliografía citada a lo largo del documento y que corresponde al material obtenido durante esta etapa:

<b>Tipo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Formato</b>	<b>Fuente</b>
Ortofoto	Itagüí 2015	ECW	Municipio de Itagüí
Línea	Vías	Shapefile	
Línea	Curvas de nivel 1:5000	Shapefile	
Línea	Drenajes	Shapefile	
Polígono	Macrounidades Geomorfológicas	Shapefile	
Polígono	Retiro Cauces	Shapefile	
Polígono	Veredas	Shapefile	
Polígono	Clasificación Suelo	Shapefile	
Fotografías aéreas	Itagüí 1996	Físico	

**Tabla 2** Insumos obtenidos durante la recopilación de información existente.

Estos insumos fueron la base del contenido digital generado durante el trabajo y que será enunciado y descrito posteriormente.

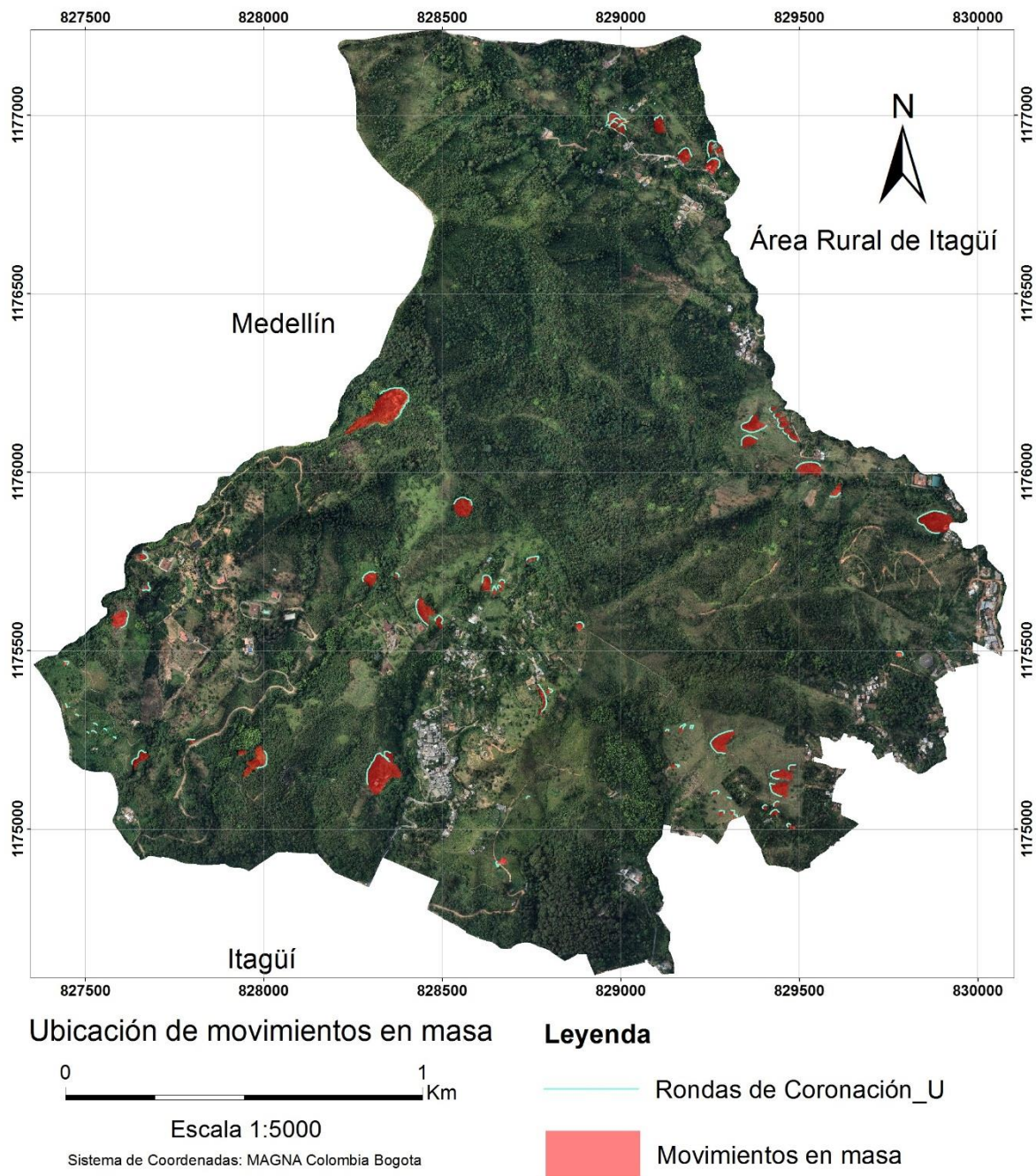
### 3.2. Fotointerpretación y uso de los sensores remotos disponibles.

Corresponde a la etapa previa al trabajo de campo y permitió plantear un panorama general de las unidades geomorfológicas, procesos morfodinámicos, controles estructurales y coberturas de la zona de estudio.

De manera inicial y debido a que corresponde al material fotográfico disponible más reciente, se tomó como insumo la ortofoto del año 2015 para la delimitación preliminar de coberturas, identificación de procesos de intervención antrópica y movimientos en masa. Así mismo, se realizó análisis de los shapefiles de drenajes y curvas de nivel para trazar las divisorias de agua de los

cauces principales como parte del criterio de delimitación de las Unidades Morfodinámicas Independientes (UMIs).

De esta etapa de estudio se obtuvo un mapa con la ubicación en el área de estudio de distintos procesos morfodinámicos, en la cual se identifica una tendencia en la ocurrencia de movimientos en masa sobre las zonas con mayor intervención o influencia antrópica. Especialmente en zonas que han presentado ganadería, tomando en cuenta la presencia de terracetas de ganado y la ausencia de cobertura vegetal boscosa.



**Mapa 3** Ubicación de movimientos en masa en el área de estudio.

En total se contabilizaron 70 movimientos en masa correspondientes a flujos, desgarres en los márgenes de algunas de las quebradas y vías de la zona y deslizamientos rotacionales y planares. Así mismo se observaron procesos erosivos en zonas de ladera con coberturas vegetales de pastos bajos y presencia de terracetas de ganado.

### 3.3. Análisis detallado de la base topográfica.

Consiste en la verificación de la escala de la topografía disponible del área de estudio, la cual hace parte de los insumos compilados al inicio de la metodología. Lo anterior se llevó a cabo mediante la comparación en campo de los relieves representados por las curvas de nivel en la cartografía.



Panorámica de la ladera occidental del área de estudio, se observan laderas de vertientes largas cubiertas por rastrojo alto y cultivos permanentes de café y árboles frutales. Como geoforma característica se presenta un boquerón sobre la parte alta de la vereda La María.



Boquerón ubicado sobre la divisoria de aguas oriental de la vereda Olivares. Corresponde a una geoforma recurrente en la parte alta de los cerros de la base de la zona de estudio. Constituyen a su vez un indicador de la existencia de estructuras que debilitan la roca y la hacen más susceptible a procesos erosivos. Se observa además una cobertura de rastrojo alto conformada por vegetación arbórea y guaduales.

#### **3.4. Realización de visitas de campo para el reconocimiento de las unidades litológicas y geomorfológicas.**

Es la etapa destinada a la identificación y descripción sistemática de afloramientos, geoformas y procesos morfodinámicos. Así como a la medición y análisis de estructuras geológicas y de perfiles de meteorización y depósitos de vertiente o aluviales encontrados durante recorridos del área de estudio y que no necesariamente se identificaron en etapas previas.

Durante las salidas se observaron afloramientos con presencia de bloques de roca redondeados debido a procesos de meteorización, movimientos en masa planares y rotacionales, perfiles con presencia de ceniza volcánica, procesos erosivos de reptación en terracetas, entre otras características que serán descritas adelante:

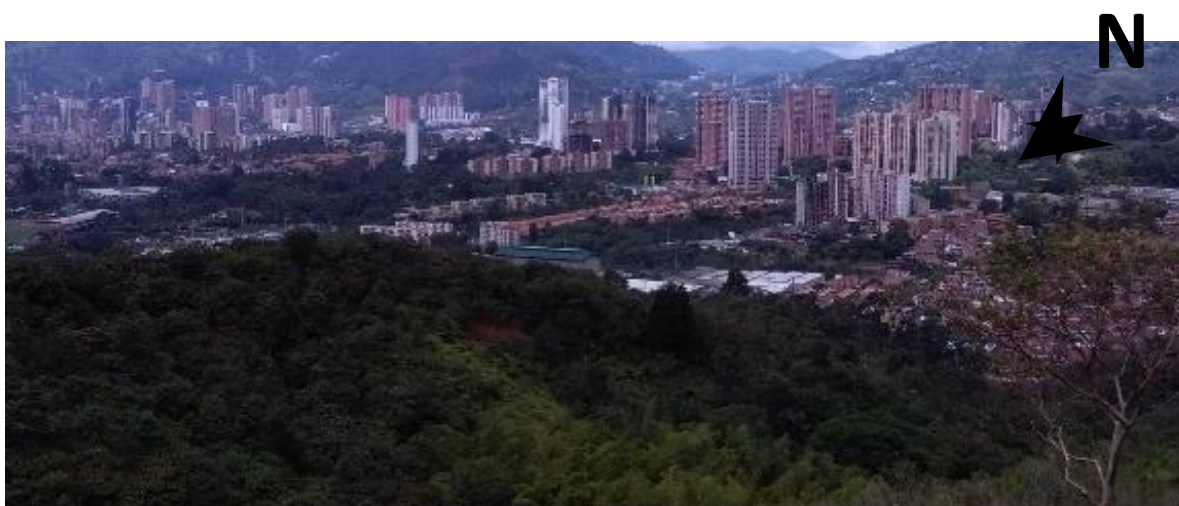
### 3.4.1. Procesos Morfodinámicos.



Movimiento en masa ubicado en el margen occidental de la quebrada Piedra Gorda, en área correspondiente a la vereda La Verde, del municipio de Medellín. Se localiza fuera del área de estudio, sin embargo constituye un elemento de análisis debido a que se presenta en un área sin intervención antrópica con condiciones de pendiente y composición similares a las de la vereda La María.



Marca de un movimiento en masa inactivo de grandes dimensiones ocurrido en el mes de junio del 2006 en la parte alta de la cuenca de la quebrada Piedra Gorda (foto izquierda), en el extremo nor-oriental de la vereda La María. Se observa la presencia de depósitos de material proveniente del flujo (foto izquierda) actualmente cubiertos por vegetación correspondiente a una cobertura de rastrojo bajo.



Movimiento en masa rotacional ubicado en el margen oriental de la vereda La María, en una zona que no evidencia intervención antrópica. En la parte posterior de la imagen se observan los municipios de La Estrella y Sabaneta.



Movimiento en masa rotacional ubicado 120 m al nororiente del centro poblado de la vereda Los Olivares, presenta dos etapas de desarrollo diferenciadas por una corona superior de 12 m de longitud en la que se presentó el movimiento inicial, el cual se encuentra inactivo, seguido por un movimiento activo con una corona de 5 m. Se observa la presencia de terracetas asociadas a la reptación del terreno



Movimiento en masa planar activo ubicado 230 m al norte del centro poblado de la vereda, en el margen oriental de la cuenca de la quebrada Los Olivares. Tiene un ancho de 13.8 m y una pendiente aproximada de  $35^\circ$ . Presenta cárcavas de 30 cm de ancho y un perfil con una capa inferior de bloques angulares a subangulares en la base, seguido por una capa de saprolito de unos 30 cm y una capa superior de suelo de 20 cm.



Movimiento en masa activo ubicado en el margen occidental de la cuenca de un afluente intermitente sin nombre, que se encuentra entre las cuencas de las quebradas Los Olivares y El Zanjón de La Miranda. Su tipología corresponde a un movimiento rotacional de grandes dimensiones, presenta 20 y 50 m de ancho en su corona y su base respectivamente las cuales se encuentran a 78 m de distancia entre sí. Presenta una cobertura de rastrojo bajo conformado por pastos, así como terracetas de ganado.



Movimiento en masa rotacional activo ubicado en la parte alta de la cuenca de la quebrada El Zanjón de La Miranda. Presenta un ancho de 55 y 27 m en su corona y su base respectivamente, las cuales se encuentran a 85 m de distancia entre sí. Se observa la presencia de terracetas de ganado y una cobertura de rastrojo bajo conformada por pastos y con presencia aislada de algunos individuos arbóreos inclinados debido al movimiento del terreno.



Movimiento en masa rotacional activo con tres etapas de desarrollo que se generaron a partir de la corona más alta (N1), seguida por un nivel intermedio (N2) y uno inferior (N3), hacia la base del movimiento. Se observa que uno de los posibles detonantes, además de la intervención humana de la cobertura evidenciada por la ausencia de vegetación y la presencia de terracetas de ganado, corresponde a los cortes del ingreso a la finca y de la vía rural de la parte alta de la vereda El Pedregal, ubicada hacia la base del movimiento.



Movimiento en masa latente, delimitado por una depresión en forma de arco en la ladera del margen norte de la vía destapada de la parte alta de El Pedregal. Se observa la inclinación de algunos individuos arbóreos que indican un movimiento superficial del terreno, así como la presencia de terracetas de ganado

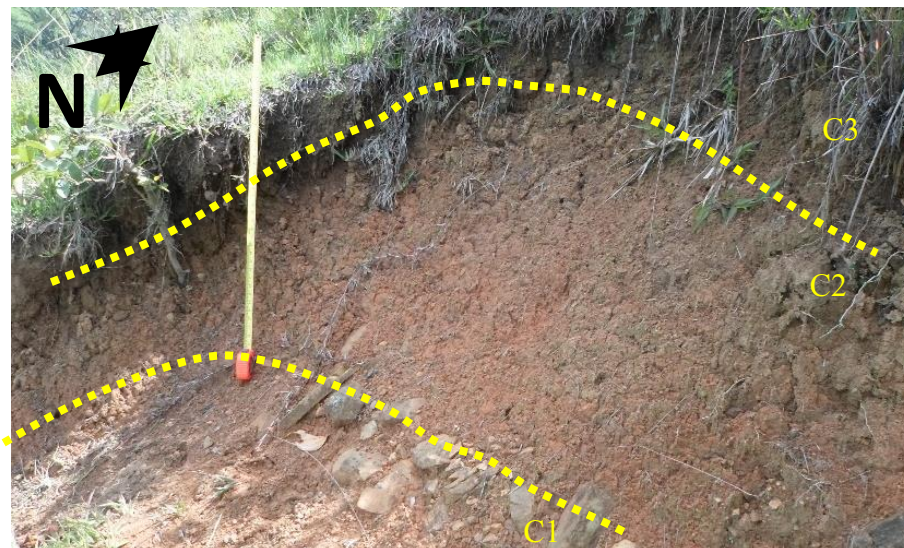


Proceso erosivo de reptación ubicado en el margen nororiental de la cuenca de la quebrada Los Estrada. Se observa la presencia de rastrojo alto correspondiente a vegetación arbórea dispersa y de una zona de mayor pendiente con rastrojo bajo.



Depósito conformado por bloques subredondeados debido a procesos de meteorización de la Diorita de Altavista, tiene una longitud de 20 m y un ancho de 13. Sus bloques presentan hasta 2.8 m de diámetro y se ubican en la base del margen occidental del movimiento ubicado entre las cuencas de las quebradas Olivares y El Zanjón de La Miranda.

### 3.4.2. Perfil de Suelo.



Perfil de meteorización expuesto en la parte superior de un movimiento en masa inactivo ubicado a unos 190 m al norte del centro poblado de la vereda. Está conformado por una capa inferior compuesta por bloques de diorita angulares a subangulares de hasta 30 cm de diámetro (C1), seguido por una capa de 40 cm de saprolito compuesto por material areno-limoso (C2) y una capa superior de suelo orgánico de 25 cm de espesor (C3).



Perfil de suelos ubicado en el margen norte de la quebrada Los Estrada, a unos 100 m sobre la vía después ingreso al área de reserva delimitado por Corantioquia. Se observa una capa inferior conformada por bloques de 20 cm de la Diorita de Altavista (C1), seguida por una capa de 80 cm de material areno-limoso con presencia de ceniza volcánica y color rojizo pardo (C2), suprayacida a su vez por una capa de similar composición con mayor presencia de cenizas, coloración grisácea y de 20 cm de espesor (C3). Por último se presenta una capa superior de materia orgánica de unos 25 cm de espesor (C4) cubierta a su vez por rastrojos altos conformados por vegetación arbórea.



Bloque subredondeado correspondiente a material de depósito de la diorita de Altavista. Se ubica en la parte alta de la vereda El Pedregal y se presenta debido al alto grado de meteorización del perfil de suelo.

#### 3.4.3. Coberturas



Cultivo de café ubicado en la parte alta de la vereda La María. Constituye una de las actividades económicas principales del área de estudio y el tipo de cobertura de origen antrópico de mayor

extensión en el margen occidental de la misma. Implica un uso permanente del suelo con propósitos agroeconómicos.



Reptación en terracetos ubicado a 300 m al norte del centro poblado de la vereda. Se observa el límite entre dos coberturas correspondientes a Rastrojo Bajo y Rastrojo Alto conformados por pastos y vegetación arbórea dispersa y vegetación arbórea densa respectivamente.



Cobertura del margen occidental de la cuenca de la quebrada Los Olivares, corresponde a Rastrojo Alto y está conformado por vegetación arbórea y guaduales que se prolongan desde los márgenes

del cauce hacia la parte alta de la ladera. Constituye una fracción importante del suelo Forestal Protector debido a su capacidad de albergar aves y mamíferos pequeños, así como de regular el caudal de los afluentes que conforman la zona.



Vegetación arbórea en crecimiento ubicada 150 m al norte del centro poblado de la vereda, corresponde a una medida para la recuperación de los suelos clasificados como Forestal Protector en el POT (Itagüí, 2007) en los que se presentaron previamente actividades correspondientes a uso mixto. El uso actual del suelo se clasifica como Plantaciones Forestales.

#### 3.4.4. Intervención Antrópica.



Presencia de proyectos urbanísticos en el margen norte de la quebrada Doña María, hacia la parte baja de la zona de estudio en el sector de la vereda La María. Se observa la proximidad a la quebrada y la implementación de anclajes para la mitigación de la amenaza por movimientos en masa inherente a la pendiente de la ladera y al corte vial realizado para el acceso al proyecto.



Vivienda ubicada en el margen sur de la quebrada Doña María. Si bien no se ubica al interior del área de estudio, constituye un indicativo de la presión urbanística informal sobre afluentes y corredores ribereños, así como de falencias en el control sobre la ocupación del territorio. La construcción de viviendas sin ningún tipo de diseño o cálculo estructural implica una vulnerabilidad alta de las mismas frente a la ocurrencia de fenómenos de amenaza, tales como avenidas torrenciales, movimientos en masa e inundaciones.



Canal artificial ubicado en la ladera oriental de la quebrada Los Olivares. No se observa su uso actual, sin embargo es un indicador del incremento gradual de la intervención humana hacia la parte alta de las laderas de la vereda Los Olivares.



Vivienda ubicada en la parte alta de la vereda El Pedregal. El uso del actual del suelo corresponde a Asentamientos Subnormales en Laderas, en la foto se observa la marca donde se ubicaba una estructura demolida junto a un bloque de diorita subredondeado debido a procesos de meteorización de 2.5 m de diámetro, así como un pequeño equipamiento para el abastecimiento de agua de la vivienda aledaña.



Presencia de redes de alcantarillado en la parte alta de la vereda El Pedregal. Se observan obras con una capacidad hidráulica alta, sin embargo su uso se limita a algunas viviendas del área rural del municipio. Adicionalmente, se presentan captaciones informales mediante el uso de mangueras, algunas de las cuales presentan fugas, constituyendo un factor detonante de procesos de inestabilidad en las laderas.



Red hidráulica ubicada sobre el cauce de la quebrada Los Estrada, unos 4 m aguas arriba del puente que la atraviesa la parte alta de la vereda. Se observa su proximidad a la corriente, lo que podría generar averías en la red en caso de una creciente. Adicionalmente, se presenta vegetación densa a lo largo del cauce, por lo cual corresponde a una fracción del componente ecológico importante para el tránsito y hábitat de fauna silvestre.



Muro en gaviones ubicado en la parte alta de la vía de la vereda El Pedregal, unos 200 m antes de la vía destapada. La obra tiene 60 m de longitud a lo largo del margen de la carretera y un ancho que varía de 3 a 6 m desde la parte alta hacia su base respectivamente. Corresponde a la contención de un movimiento en masa rotacional ubicado en la parte alta de la ladera.



Ganadería en el límite de las veredas Los Olivares y Loma de los Zuleta. El uso del suelo para este tipo de actividades, correspondiente a Pastos Manejados, contribuye en el mediano plazo a la presencia de procesos erosivos como reptación y socavación o carcavamiento de zonas de la ladera con poca vegetación, así como a la ocurrencia de movimientos en masa.



Tanque de aprovisionamiento de agua potable ubicado en la parte alta del centro poblado de la vereda Los Zuleta. El uso del suelo actual corresponde a Asentamientos Normalizados debido a que corresponde a un equipamiento oficial realizado por el municipio.



Depresiones circulares, algunas presentan más de 8 m de diámetro y 1.5 m de profundidad y se ubican en el límite entre las veredas Los Olivares y Loma de Los Zuleta, sobre la divisoria de aguas oriental de la quebrada Los Olivares. Representan un medio de aporte importante a los flujos de infiltración de la ladera y corresponden a posibles guaquerías debido a que se presentan montículos de acumulación de material poco pronunciados, los cuales se han incorporado al terreno por causa de la erosión y de la presencia de vegetación en su superficie. Se propone una futura verificación arqueológica.

## 4. ZONIFICACIÓN DE LA APTITUD GEOLÓGICA

Corresponde a la etapa final de procesamiento de la información descrita en los numerales anteriores y consiste en la clasificación de áreas, según sus características geomorfológicas, morfodinámicas, de pendientes y usos del suelo, en las cuatro categorías definidas por en las “Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera en el Valle de Aburrá” (AMVA, 2012). A continuación se presenta la descripción textual según esta guía:

- Zonas aptas: Corresponden a zonas que presentan alto grado de estabilidad; no se aprecia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos e inactivos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa que afecten la estabilidad global del predio de interés y de la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas está condicionada al tipo de intervención que se proyecte y al uso y manejo que se dé a estas y a la UMI asociada.
- Zonas aptas con restricciones moderadas: Corresponden a zonas estables dentro del predio de interés; sin embargo, su estabilidad está condicionada por la incidencia directa que presentan procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa identificados en la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a los procesos morfodinámicos y al tipo de intervención que se proyecte. Se considera que las obras de estabilización proyectadas son técnica y económicamente viables.
- Zonas aptas con restricciones altas: En las cuales se evidencia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa localizados en el predio de interés y en la UMI asociada; la estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a los procesos

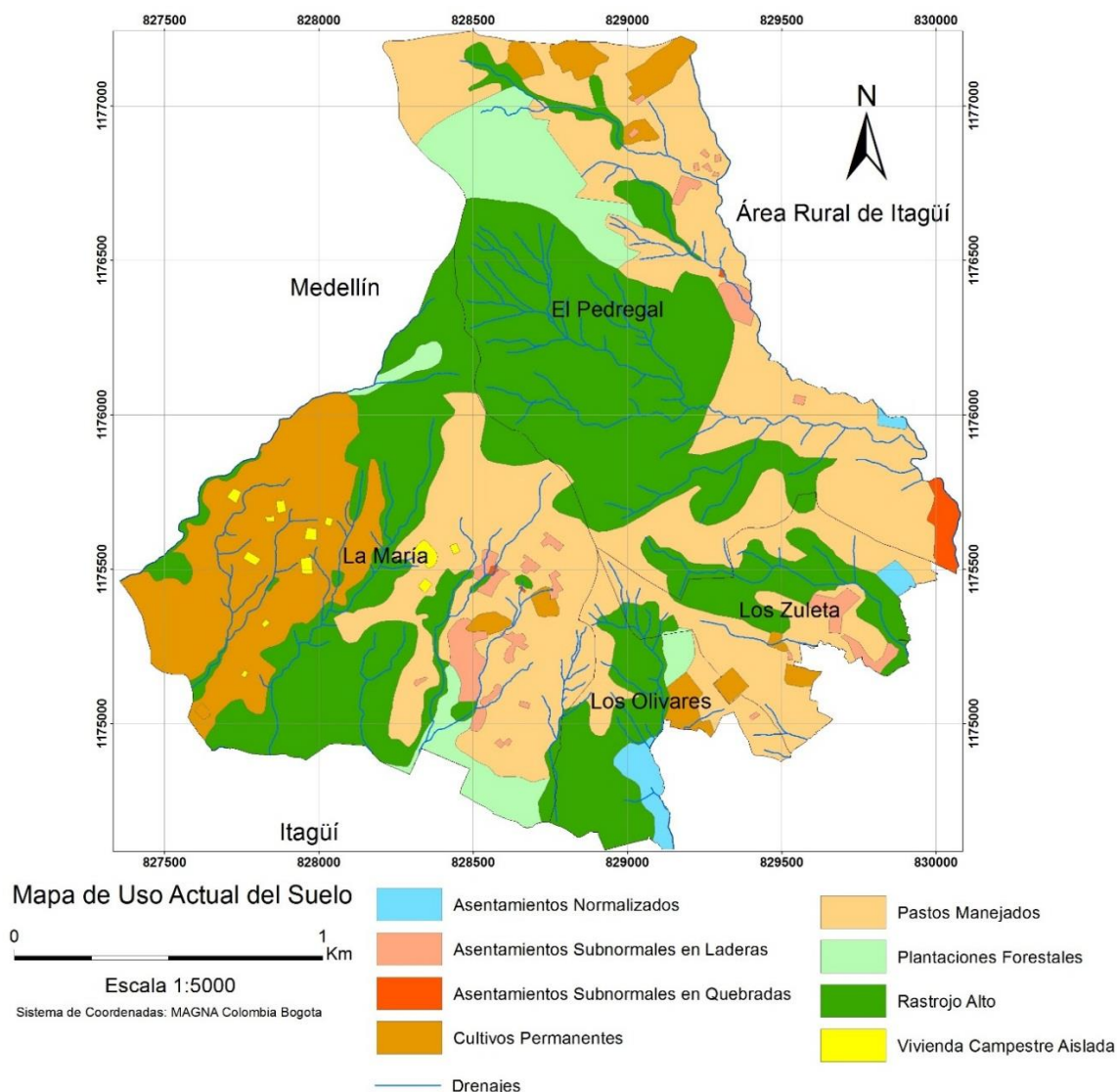
morfodinámicos y al tipo de intervención que se proyecte sobre estas. El estudio debe evaluar la viabilidad técnica y económica de las obras de estabilización proyectadas dentro del lote y la UMI asociada.

- Zonas no aptas: Son aquellas con evidente inestabilidad por la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa dentro del lote de interés y la UMI asociada; el estudio considera que las obras de estabilización proyectadas son técnicamente complejas y de alto costo con respecto a las inversiones proyectadas en la zona o predio de interés. Las zonas con restricciones normativas se considerarán como no aptas.

Para lograr la clasificación anteriormente descrita, se procedió a la elaboración de cuatro mapas de distinta tipología, correspondientes a uso actual del suelo, geomorfológico, de pendientes y de Unidades Morfodinámicas Independientes- UMIs. Finalmente, se establecieron los criterios para la propuesta de un mapa de aptitud geológica. Adelante se enuncian los criterios con los cuales se generó la cartografía en cuestión.

#### **4.1. Mapa de uso actual del suelo.**

Tomando en consideración que la cartografía oficial de usos del suelo de Itagüí (2007) tiene más de diez años de haber sido realizada, se procedió a la elaboración de un mapa de uso actual del suelo basado en las coberturas observadas en campo y mencionadas anteriormente, así como en la ortofoto disponible. Esto, haciendo uso de la tabla de clasificación de usos del suelo del documento de “*Formulación de los Planes de Manejo y Gestión Integral de los Cerros Tutelares de Medellín*” (AMVA, 2004)



**Mapa 4** Uso actual del suelo en el área de estudio.

Como resultado se obtuvo un mapa en el cual se observa que los tres usos principales corresponden a Cultivos Permanentes, Rastrojo Alto y Pastos Manejados, seguidos por un uso en menores dimensiones de los distintos tipos de asentamientos y de plantaciones forestales.

Se observa que el uso de Cultivos Permanentes ocupa una amplia extensión de la vereda La María, al suroccidente del área de estudio, así como la presión ejercida por el uso asociado a la cobertura

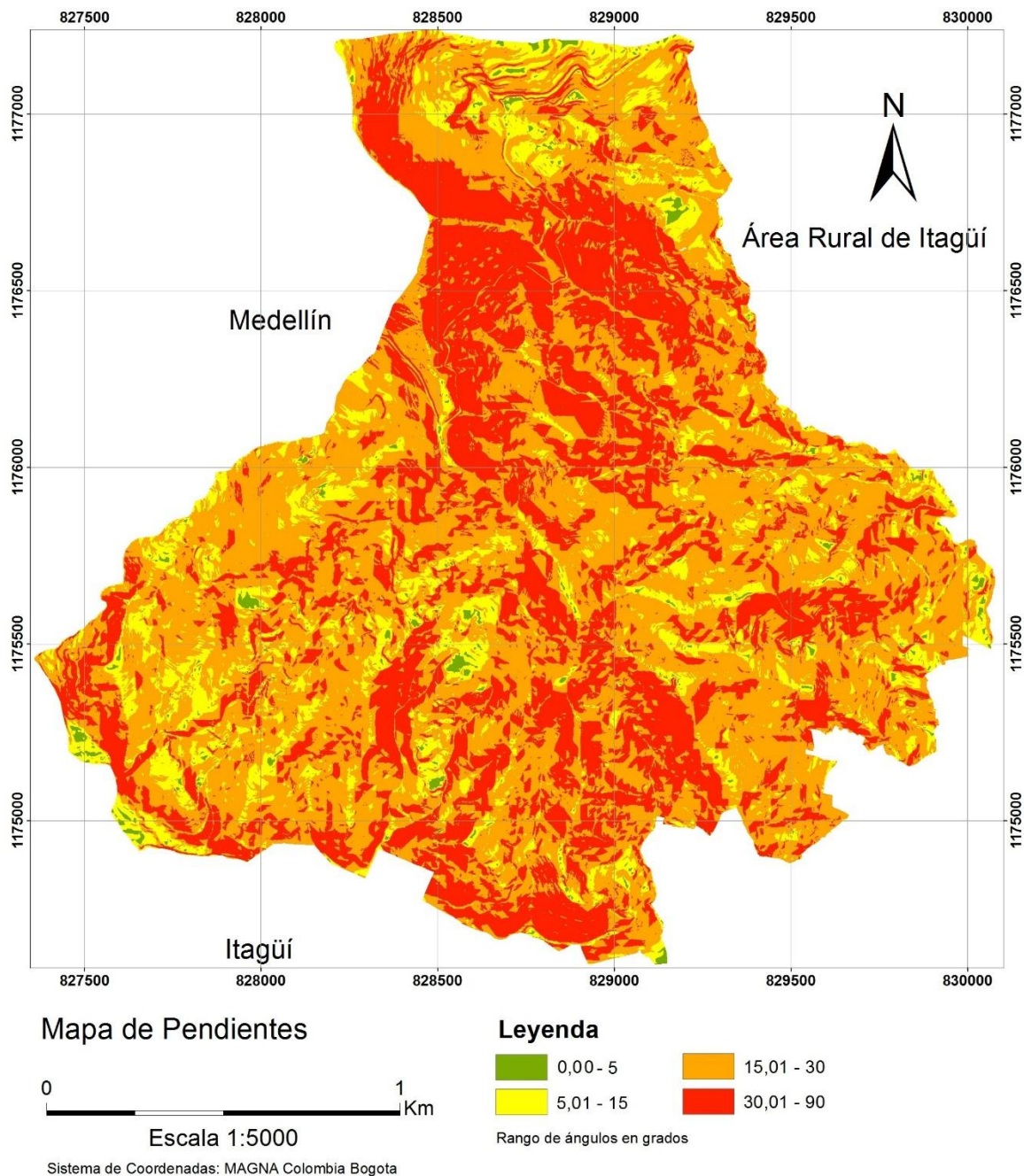
de Pastos Manejados sobre las áreas de Rastrojo Alto. A su vez, estas últimas se prolongan desde la parte alta de las cuencas principales y a lo largo de algunos drenajes.

Adicionalmente, si bien los distintos tipos de asentamientos se presentan de manera dispersa, es evidente su alto grado de influencia sobre las coberturas circundantes, lo cual implica que la presencia de población puede representar grandes cambios sobre la morfodinámica del territorio, incluso si se presenta en pequeñas proporciones. Esto, tomando en cuenta la concentración de procesos morfodinámicos en áreas cuya cobertura ha sido alterada, como se muestra adelante.

#### **4.2. Pendientes**

Posteriormente se llevó a cabo el procesamiento de las curvas de nivel de escala 1:2.000 provistas por el municipio de Itagüí para la generación de un modelo de elevación digital y un mapa de pendientes que permitieran la caracterización morfométrica del área de estudio.

El mapa presenta los rangos de pendientes establecidos en el documento de lineamientos metodológicos del AMVA (2012), el cual establece cuatro rangos de  $0^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ - $90^{\circ}$ , lo cual permitió obtener el siguiente resultado.



**Mapa 5 Pendientes**

En el mapa se observa la predominancia de rangos de pendiente de  $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$  y de  $30^{\circ}$ - $90^{\circ}$ , seguidos en menor medida por los de  $0^{\circ}$ - $5^{\circ}$  y  $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$ . Esto indica la presencia de pendientes altas, las cuales hacen proclive al terreno a presentar procesos morfodinámicos activados por la gravedad.

Este mapa constituye un insumo importante para la definición de las unidades geomorfológicas que se mencionarán adelante, así como para la realización del mapa de aptitud geológica.

### 4.3. Geomorfología.

A partir de las observaciones realizadas en campo, así como del mapa de pendientes y la ortofoto del municipio de Itagüí, se definieron cuatro unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio. Esto, a partir de la guía metodológica del AMVA (2012), en la cual se establecen las unidades presentes en el Valle de Aburrá. A continuación se realiza una descripción de las geoformas identificadas:

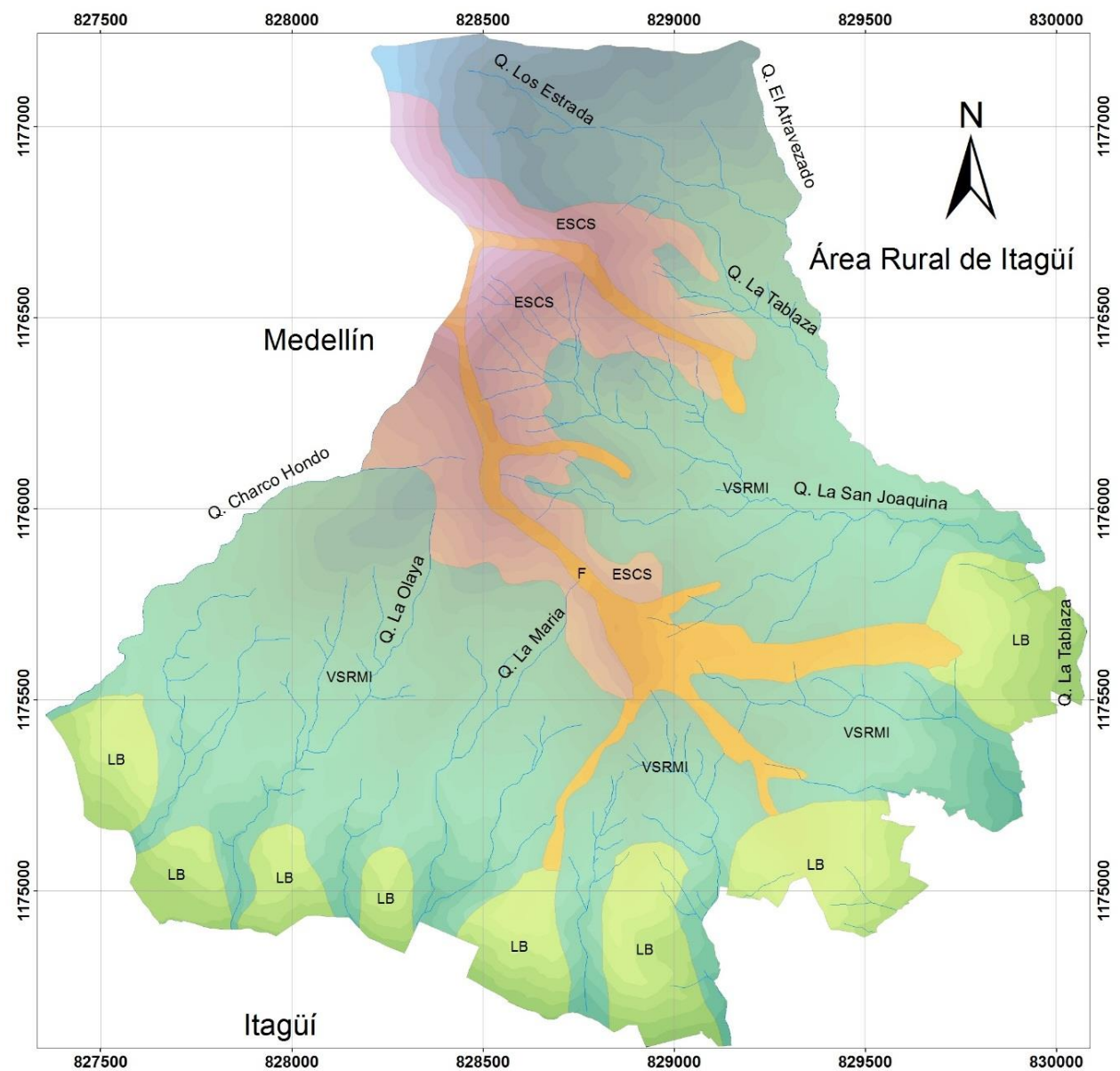
**Escarpes Semicirculares Superiores:** Corresponden a las unidades de mayor pendiente ubicadas en la parte alta de algunas de las cuencas de la zona de estudio. Su tipología semicircular se debe al dominio hidrológico del área, el cual esculpe un contorno cóncavo en forma de arco sobre el relieve.

**Filos:** Es la única unidad que no se plantea en la guía metodológica. Se propone debido a que facilita establecer el límite de las unidades escarpadas, así como la visualización de las cuencas hidrográficas y a que corresponde a áreas de menor pendiente.

**Lomos Bajos:** Se presentan en la base del área de estudio, presentan relieves cóncavos alargados y una variación altimétrica de hasta 200 m. Constituyen un límite geográfico entre las áreas urbana y rural de Itagüí





**Vertientes en Suelos Residuales Moderadamente Incisados:** Corresponden a las unidades de ladera con pendientes medias en las que discurren los drenajes del área de estudio, los cuales presentan

perfiles de suelo residual de la Diorita de Altavista. Algunas de ellas limitan con los Escarpes Semicirculares Superiores y conforman las unidades geomorfológicas de mayor extensión en el área de estudio.



**Mapa Geomorfológico**  
 0 1 Km  
 Escala 1:5000  
 Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Bogota

**Componente**

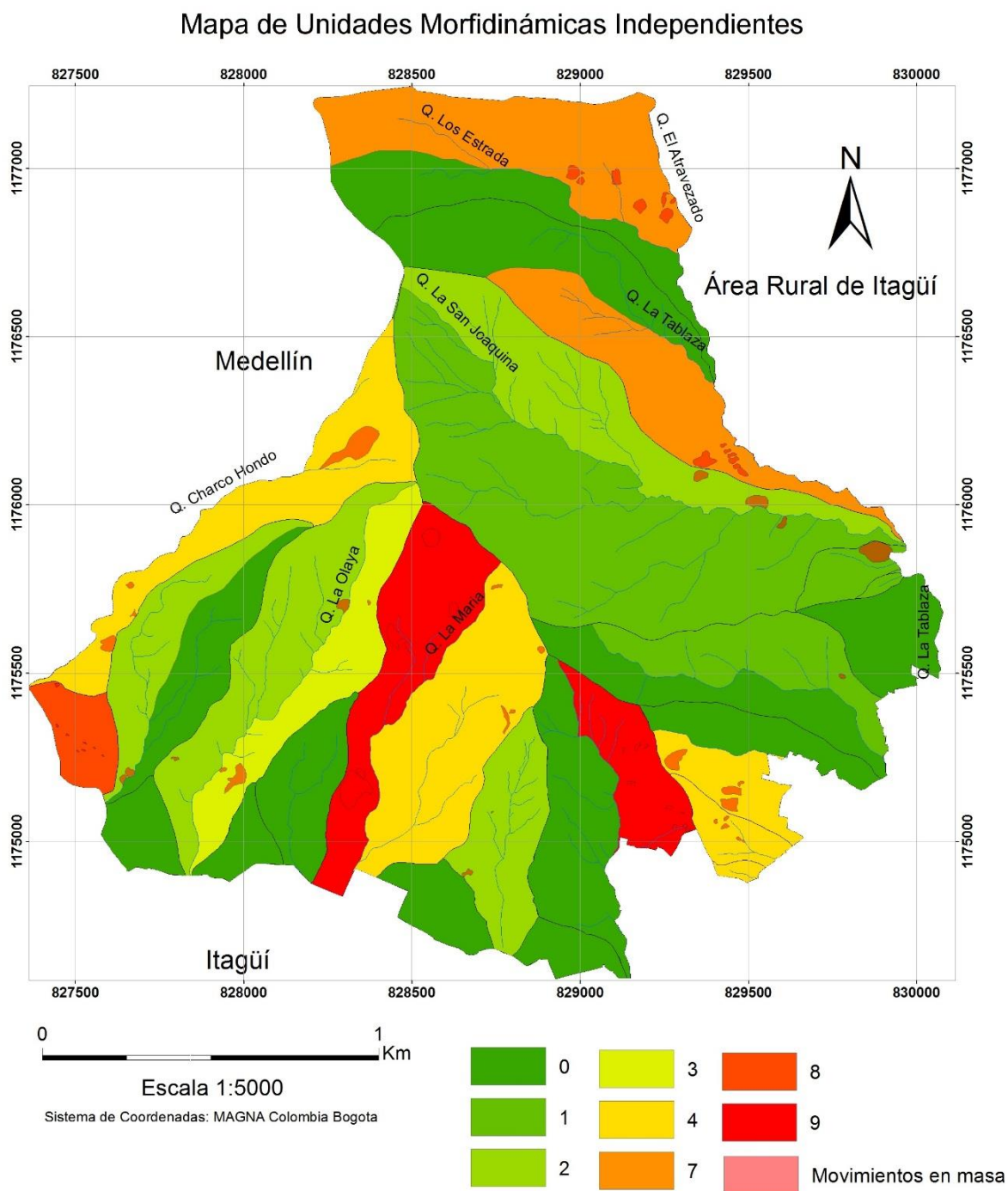
	Escarpes semicirculares superiores (ESCS)
	Vertientes en suelos residuales moderadamente incisosos (VSRMI)
	Filos (F)
	Lomos bajos (LB)

**Mapa 6 Geomorfología.**

Las unidades descritas denotan la correspondencia del área de estudio a un ambiente denudacional, con una influencia importante de variables hidrológicas y de las coberturas sobre su morfodinámica. Dado que los afluentes representan un factor activador de movimientos en masa y procesos erosivos, mientras que las coberturas de Rastrojo Alto constituyen un factor amortiguador de dichos procesos. El efecto contrario se produce debido a la remoción de los matorrales y la cobertura arbórea.

#### **4.4. Unidades Morfodinámicas Independientes – UMIs**

Representan un insumo para el análisis de la morfodinámica del área de estudio y se delimitaron a partir de las divisorias de aguas de las cuencas hidrográficas y de los márgenes de los afluentes principales. Cabe anotar que las unidades representadas en el mapa se pueden prolongar fuera del área de estudio, especialmente las ubicadas en su margen sur.



**Mapa 7** Unidades Morfodinámicas Independientes (UMIs)

Las unidades representadas en el mapa se presentan con una coloración dependiendo del número de procesos que contiene, estableciendo un indicador de la criticidad en relación a su actividad

morfodinámica, siendo los colores naranja a rojo relacionados con actividad alta, verdes con actividad baja y amarillo de actividad media.

Se observa que las unidades con mayor número de procesos son aquellas en las que se presenta una intervención alta por parte de poblaciones y actividades agrícolas y ganaderas de baja escala.

#### 4.5. Mapa de zonificación de la Aptitud Geológica

A continuación se describen los criterios con los cuales se delimitaron las zonas de aptitud del área de estudio en el orden en que se desarrolló la metodología:

Zonas no aptas: Fueron las primeras en ser delimitadas debido a que corresponden a las zonas más críticas frente a la estabilidad del terreno. Están conformadas por las áreas en las que se presenta uno o más de los siguientes elementos: (1) unidad de Escarpes Semicirculares Superiores (geomorfológico) (2) rastrojo alto (uso actual del suelo) (3) pendientes de más de 30° (morfométrico) y (4) presencia de movimientos en masa (morfodinámico).

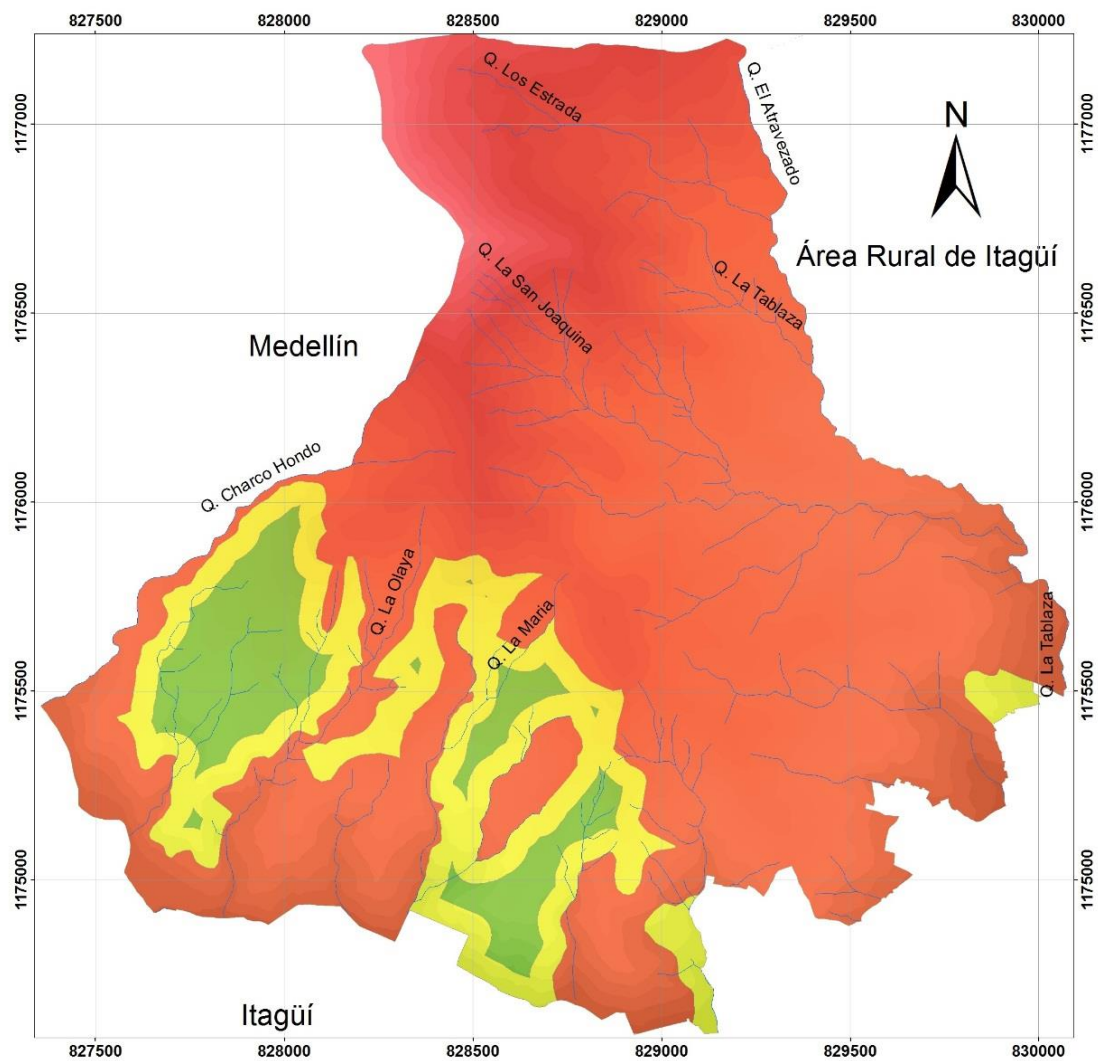
Cabe anotar que el uso actual del suelo no representa un criterio normativo sino de preservación de las coberturas que representan algún valor ecológico. De haberse aplicado el criterio normativo a partir de la clasificación de suelo Forestal Protector del POT (Itagüí, 2007) la extensión de las zonas no aptas sería mayor a la que se propone en este informe. Esto a su vez, implicaría (entre otras) la implementación de medidas para el cambio parcial o total de las actividades relacionadas con el uso actual del suelo para cultivos permanentes de la vereda La María hacia usos relacionados con la preservación ecológica.

Zonas aptas con restricciones altas: Son las áreas más susceptibles a cualquier variación o intensificación en el uso del suelo y se delimitaron estableciendo un perímetro de 65m respecto al límite de las zonas no aptas. Adicionalmente, si bien no presentan procesos morfodinámicos activos sobre su área, pueden verse afectadas por los procesos de áreas adyacentes.

Zonas aptas con restricciones medias: Corresponden a las áreas en las que no se presentan procesos morfodinámicos y que están a más de 65 m del área de influencia de las zonas no aptas. El carácter restrictivo de esta zona se debe a que están ubicadas en zonas de pendiente media y con una dinámica constante en relación a actividades humanas (expansión de las centralidades rurales y uso agrícola) que podría llegar a desarrollar procesos en el futuro.

Zonas aptas: no se presentan en la zona de estudio. Esto, respondiendo al principio de precaución debido a la delimitación de las zonas en el presente informe se hace de manera general a partir de las características del terreno y no en función de un proyecto en específico.

A partir de los criterios enunciados se obtuvo entonces el siguiente mapa de microzonificación de la aptitud geológica para cuatro veredas del área rural del municipio de Itagüí.



Mapa de Zonificación de Aptitud Geológica



Escala 1:5000

Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Bogota

- Zonas aptas con restricciones moderadas
- Zonas aptas con restricciones altas
- Zonas no aptas
- Drenajes\_U

**Mapa 8** Zonificación de la aptitud geológica.

## 5. DISCUSIÓN.

Según la información compilada y la obtenida a partir del trabajo de campo y de su procesamiento, se observa la existencia de un conflicto entre la distribución de los usos del suelo planteados en el POT de Itagüí frente a la distribución real de dichos usos en el área de estudio. Es decir que algunas áreas establecidas como de uso Forestal Protector presentan en realidad un uso mixto asociado a actividades agrícolas y de ganadería de pequeña escala.

Por lo anterior se considera adecuado realizar una revisión de la clasificación establecida o una planificación orientada a la ejecución de medidas para llevar a la realidad los usos planteados en la misma. En este sentido, se menciona además la presencia de áreas en proceso de recuperación, lo que indica un esfuerzo por el mejoramiento del entorno natural del área rural del municipio.

Respecto a la ocurrencia de procesos morfodinámicos, se observa una mayor presencia de movimientos en masa en áreas que presentan o han presentado algún tipo de intervención antrópica, especialmente en aquellas con actividades de ganadería a pequeña escala. La última, es también la generadora de procesos erosivos como reptación y socavación superficial de áreas con escasa vegetación. Adicionalmente, se presentan movimientos en áreas poco intervenidas, como el ocurrido en el año 2006 en la parte alta de la vereda La María, lo cual indica que la ocurrencia de dichos procesos obedece, además de la intervención humana, a la evolución geomorfológica asociada a altas pendientes con perfiles de suelo permeables y con capacidad de captar volúmenes de aguas de infiltración tales, que generan el colapso gravitacional de secciones del terreno.

## 6. CONCLUSIONES.

La información preliminar compilada para el presente trabajo constituye una herramienta esencial para su desarrollo, en cuanto a que permitió la observación de variables relacionadas con la ocupación del territorio y con su naturaleza, tales como ubicación de procesos morfodinámicos, pendientes, usos del suelo establecidos en el POT, coberturas, drenajes y geoformas.

Adicionalmente, las visitas de campo facilitaron la observación del comportamiento in situ del terreno y brindar una descripción más detallada sobre las dimensiones y tipología de movimientos en masa, procesos erosivos, depósitos y perfiles de suelos. Así como identificar problemáticas relacionadas con la ocupación del territorio, tales como la ocurrencia de movimientos en masa asociadas a la ruptura de redes informales para la captación de agua en zonas de ladera y la presencia de viviendas en zonas de retiro hidrológico.

La compilación de información, las visitas de campo y la realización de mapas temáticos (geológico, geomorfológico, de UMIs, de pendientes y de uso actual del suelo) permitió formular una propuesta de zonificación de la aptitud geológica con un potencial de utilización con enfoques de gestión territorial y gestión del riesgo asociado a la ocurrencia de movimientos en masa y avenidas torrenciales.

## 7. RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta las problemáticas de estabilidad relacionadas con procesos morfodinámicos (movimientos en masa y procesos erosivos) identificados en el área de estudio, se recomienda la implementación de medidas en torno al cambio de uso del suelo de tipo ocupacional a usos ecológicos. Esto, considerando la evidencia de activación de dichos procesos a partir de la

intervención de las personas y tomando en cuenta la pérdida de áreas para la preservación de la fauna y el recurso hídrico importantes para la población del municipio.

Así mismo, se considera pertinente emprender estudios más detallados, tal como lo indica el documento de lineamientos metodológicos (AMVA, 2012) para la descripción de la geología en detalle y para establecer las medidas de mitigación y gestión del riesgo adecuadas según las características del territorio.

## AGRADECIMIENTOS

Extiendo mi más sincero sentido de agradecimiento y disposición hacia todas las personas e instituciones involucradas en la realización de este trabajo, entre los cuales se encuentran el profesor José Humberto Caballero Acosta y los geólogos Diego Alberto Sánchez Botero y Esneider Peláez quienes me prestaron el acompañamiento necesario para llevarlo a cabo. Así como la Empresa de Desarrollo Urbano – EDU de Medellín y la Alcaldía de Itagüí, donde me facilitaron los insumos y recursos necesarios para su elaboración.

## BIBLIOGRAFÍA

AMVA. (2004). *Formulación de los Planes de Manejo y Gestión Integral de los Cerros Tutelares de Medellín*. Medellín: AMVA.

AMVA. (2012). *Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera en el Valle de Aburrá*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA).

- Arias, A. (2003). La diversidad del relieve y de los suelos en el altiplano de Santa Rosa de Osos (Antioquia): sus significados ambientales. *Boletín de ciencias de la Tierra. No 15*.
- Botero, G. (1963). Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. *Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Medellín, 101*.
- GSM. (1999). Instrumentación y Microzonificación sísmica del área urbana de Medellín. *Sistema Municipal de Prevención y Atención de Desastres, 135*.
- Hermelin, M. (2007). Valle de Aburrá: ¿Quo Vadis? *Gestión y Ambiente, 7 - 16*.
- INGEOMINAS. (1983). *Reseña explicativa del mapa geológico preliminar de la plancha 146 Medellín Occidental*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Itagüí, C. m. (2007). *Acuerdo No. 20. Por medio del cual se adopta la revisión al plan de ordenamiento territorial del municipio de Itagüí*. Itagüí.
- Jiménez, C. A. (2006). *Microzonificación geotécnica de algunas veredas de Itagüí*. Medellín: Universidad Nacional.
- Mejía. (1984). Geología y Geoquímica de las Planchas 130 (Santa Fe de Antioquia) y 146. (Medellín Occidental). *Ingeominas, 376*.