

# ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER

## VOLUMEN IV

### DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ

ELABORADO POR:



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

GEOMÁTICA

Gestión y optimización de sistemas

PRESENTADO A:



Municipio de Vélez

AGOSTO DE 2015

BUCARAMANGA

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO:**

**No. 9677-04-1127-2013**

**OBJETO:** Aunar esfuerzos administrativos, financieros y técnicos para contratar y desarrollar el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Municipio de Vélez, Departamento de Santander

**INFORME:** Volumen IV - Determinación de la amenaza del área rural del municipio de Vélez

**ELABORADO POR:** UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



Grupo de investigación:  
GEOMATICA, Gestión y optimización de sistemas



**Coordinación técnica** Hebenly Celis Leguizamo  
Ingeniera Civil  
Especialista en Asfaltos y Pavimentos  
Magíster en ingeniería Civil

Wilfredo Del Toro Rodríguez  
Ingeniero Civil  
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia  
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

**Director general** Hernán Porras Díaz  
Ingeniero Civil  
Magíster en Informática  
Magíster en Gestión Tecnológica  
Doctor Ingeniero en Telecomunicaciones

**Equipo técnico**

Darío Villamizar  
Ingeniero Forestal  
Magíster en Geografía física  
Especialista políticas ambientales en la conducción de proyectos

German Alfonso Reyes Mendoza  
Geólogo  
Especialista en Riesgos Geológicos y Prevención de Desastres  
Especialista en Derecho Ambiental  
Magíster en Geología  
Estudiante de Doctorado

Wilfredo Del Toro Rodríguez  
Ingeniero Civil  
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia  
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

Luis Eduardo Moreno Torres  
Ingeniero civil  
Especialista en Ingeniería Ambiental  
Especialista en Alta Gerencia  
Especialista en Docencia Universitaria

Héctor Torres Ortiz  
Ingeniero civil  
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Silvia Ruggeri  
Bióloga  
Especialista en Monitoreo Biológico

**Equipo de apoyo técnico**

Andrea Marcela Vera Guarín  
Ingeniera civil

Yuseth Sebastián Gómez Neira  
Ingeniero civil

Andrés Julián Ulloa Moreno  
Ingeniero civil

John Jairo Báez Lizarazo  
Ingeniero civil

Sandy Jair Yanes Sánchez  
Ingeniero Civil  
Especialista en Sistemas de información Geográfica

Jesús Orlando Escalante Torrado  
Ingeniero civil  
Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil

Dewin Aguilera Lizarazo  
Geólogo  
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Duvan Yahir Sanabria Echeverry  
MSc. Ing. Sistemas e Informática

Elver Omar Gallo Lancheros  
MSc. Ing. Sistemas e Informática

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>2. ASPECTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>18</b>
<b>4. PENDIENTES.....</b>	<b>20</b>
<b>5. GEOLOGÍA REGIONAL .....</b>	<b>23</b>
5.1. MARCO GEOTECTÓNICO .....	23
5.2. ESTRATIGRAFÍA RURAL .....	24
5.2.1. Geoestaciones y Mapa Geológico Rural .....	39
5.2.2. Estructuras geológicas regionales .....	42
5.2.3. Sistema de fallas del Río Suárez .....	42
5.2.4. Sinclinal y anticlinal de Vélez .....	42
5.2.5. Fallas rurales .....	43
5.2.6. Petrografía Rural .....	44
5.3. DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES.....	46
<b>6. GEOMORFOLOGÍA.....</b>	<b>51</b>
6.1. LOCALIZACION GENERAL DEL MUNICIPIO DE VELEZ .....	51
6.2. ASPECTOS TOPOGRÁFICOS .....	52
6.3. CONTEXTO GEOMORFOLOGICO GENERAL .....	52
6.4. TAXONOMIA DE LAS GEOFORMAS PRESENTES EN EL AREA DE ESTUDIO .....	53
6.4.1. Conjuntos morfoestructurales .....	53
6.4.2. PAISAJES .....	55
6.5. MORFOGRAFÍA Y MORFOGENESIS .....	62
6.5.1. VALLE DE VÉLEZ .....	62
6.5.2. EXTREMO SUR DE LA SERRANÍA VÉLEZ – LA PAZ .....	65
6.5.3. LADERAS OCCIDENTALES DE LA SERRANÍA VÉLEZ – LA PAZ.....	66
6.5.4. SERRANÍA DE ARMAS .....	70
6.6. PROCESOS MORFODINAMICOS .....	72
6.6.1. PROCESOS MORFODINÁMICOS DE CARÁCTER HIDROLÓGICO .....	72
6.6.2. DINÁMICA DE VERTIENTES .....	74
6.6.3. PROCESOS MORFODINÁMICOS DE CARÁCTER ANTRÓPICO.....	78
6.7. GEOFORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL.....	78
6.8. CALIFICACIÓN PARA LA SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLOGICA .....	81
6.9. INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS .....	84
6.9.1. Metodología.....	84
6.9.2. Esquema metodológico y actividades desarrolladas .....	85
6.9.3. Autores y trabajos de referencia .....	87
6.9.4. Formato y criterios de inventario .....	87
6.9.5. Jerarquización de fenómenos o procesos inventariados.....	89
6.10. REUNIONES CON LA COMUNIDAD Y VISITAS RURALES .....	90



6.11.	CATALOGO E INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA .....	96
<b>7.</b>	<b>HUMEDAD DEL SUELO .....</b>	<b>109</b>
7.1.	CUENCAS HIDROGRÁFICAS .....	109
7.2.	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL.....	111
7.3.	ASIGNACION DE INDICES DE PRECIPITACIÓN.....	128
7.4.	CALIFICACIÓN PARA LA SUSCEPTIBILIDAD POR HÚMEDAD DEL SUELO.....	130
<b>8.</b>	<b>USO Y COBERTURA DEL SUELO DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ .....</b>	<b>134</b>
8.1.	INTRODUCCION.....	134
8.2.	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	134
8.2.1.	Unidades de cobertura y uso del suelo empleadas para el estudio .....	134
8.2.2.	Insumos cartográficos .....	136
8.2.3.	Identificación preliminar de las unidades de uso y cobertura del suelo .....	138
8.2.4.	Depuración y simplificación de los mapas de uso y cobertura .....	146
8.2.5.	Validación de las unidades de cobertura delimitadas .....	149
8.3.	RESULTADOS .....	151
8.3.1.	Descripción de las unidades de uso y cobertura de suelo.....	151
8.3.2.	Resultados.....	169
8.4.	CALIFICACIÓN PARA LA SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES DE USO Y COBERTURA DEL SUELO .....	182
8.4.1.	Evapotranspiración.....	185
8.4.2.	Profundidad de drenaje .....	188
8.4.3.	Profundidad del sistema radicular .....	190
8.4.4.	Estratos de la cobertura .....	192
8.4.5.	Calificación de las unidades de uso y cobertura del suelo .....	194
<b>9.</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD .....</b>	<b>197</b>
<b>10.</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA AMENAZA.....</b>	<b>200</b>
10.1.	FACTOR DETONANTE POR LLUVIAS MÁXIMAS .....	202
10.2.	FACTOR DETONANTE POR SISMO .....	211
10.3.	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	213
10.4.	CALIBRACIÓN DEL MAPA DE AMENAZA .....	219
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>221</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....</b>	<b>222</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Metodología para la evaluación de susceptibilidad y la amenaza híbrida por movimientos en masa a nivel rural del municipio de Vélez. ....	17
<b>Figura 2.</b>	Delimitación de la zona de estudio para el área rural. ....	19
<b>Figura 3.</b>	Mapa de pendientes del área rural (Plano R-02). ....	21
<b>Figura 4.</b>	Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa por pendientes del área rural (Plano R-03). ....	22
<b>Figura 5.</b>	Mapa geoestructural de la parte noroccidental de la Cordillera Oriental. Vélez se ubica abajo, en la estrella blanca, sobre rocas del Cretácico. Bucaramanga, arriba al centro. ....	23
<b>Figura 6.</b>	Columna estratigráfica generalizada del Cretácico, al sur de Santander. ....	25
<b>Figura 7.</b>	Correlación cronoestratigráfica de las formaciones del Cretácico inferior. ....	25
<b>Figura 8.</b>	Mapa geológico del municipio de Vélez y alrededores. El óvalo negro ubica su área urbana, fundada sobre la Formación Paja (Kip), con amplio patrón de afloramiento orientado al NE. Las carreteras principales se resaltaron en líneas rojas. ....	26
<b>Figura 9.</b>	(a) Detalle de calizas fosilíferas y escarpes rocosos (b) de la Formación Rosablanca (Kir), evidentes en el tramo vial del puente Eduardo Santos hasta el río Fonce (hacia Berlín). ....	27
<b>Figura 10.</b>	Detalle de la Formación Paja: (a) Izquierda, lutitas o shales observables en la vía hacia el municipio de Encino; (b) derecha, concreciones septarias presentes en la parte baja del municipio de Galán, cerca de la confluencia entre los ríos Suárez y Fonce. ....	28
<b>Figura 11.</b>	Contacto estratigráfico entre la infrayacente unidad K1r (o Kir), conformada por calizas, y la unidad K1p (o Kip), eminentemente lutítica: (a) izquierda en el puente Eduardo Santos sobre el río Suárez; (b) derecha, en cantera de calizas de Curití. ....	29
<b>Figura 12.</b>	Aspecto de caliza fosilífera identificada en la sección tipo: micrita gris con restos de braquiópodos reemplazados y fisuras rellenas con calcita blanquecina. Afloramiento sobre el puente el Tablazo, en la vía la Renta-San Vicente de Chucurí. ....	30
<b>Figura 13.</b>	Aspecto en afloramiento de la unidad Kit: a) Izquierda, vista de talud rocoso sujeto a desprendimiento, (Km 47 de la ruta 60); b) derecha, intercalaciones de capas degadas a gruesas de calizas micriticas y lutitas. ....	31
<b>Figura 14.</b>	Contacto neto entre la Formación Paja (K1p) y la Formación Tablazo (K1p), sobre la vía de Vélez a Paloblanco. El contraste de relieve, entre blandos abajo y duros arriba, es evidente y responde al cambio litológico de lutitas a calizas, respectivamente. ....	32
<b>Figura 15.</b>	Taludes de corte que coinciden con la estratificación de la Formación Tablazo (K1t), inmediaciones del Km18+330, con la vía hacia Cimitarra a la derecha. ....	33
<b>Figura 16.</b>	Areniscas calcáreas fosilíferas de la unidad K1s (geoestación 50), vereda Gualilo. ....	34
<b>Figura 17.</b>	Areniscas de la parte superior de la Formación Simití. Vda. el Limoncito, río Quiratá. ....	34
<b>Figura 18.</b>	Talud de corte vial afectado por deslizamiento traslacional, en rocas de K1s. Vda. el Recreo, inventariado como el MM33 (ver sección 6.11). ....	35
<b>Figura 19.</b>	Recebera de lutitas de la Formación La Luna, miembro Galembó, Vda. el Limoncito. ....	36
<b>Figura 20.</b>	Detalle de lutitas grises, masivas y friables, de la Formación Umir, intercaladas con capas delgadas de siderita, parda y de comportamiento frágil. Parte central municipal. ....	37

<b>Figura 21.</b>	Depósito sedimentario fluvial (Qal) asociado al río Quiratá, que fluye hacia el fondo.	39
<b>Figura 22.</b>	Mapa con la ubicación de las estaciones geológicas efectuadas a nivel rural en el municipio de Vélez.	40
<b>Figura 23.</b>	Mapa geológico del área rural del municipio de Vélez (Plano R-04).	41
<b>Figura 24.</b>	Corte geológico adaptado de la Plancha 170 Vélez.	43
<b>Figura 25.</b>	Falla Normal localizada en el área rural del municipio de Vélez.	43
<b>Figura 26.</b>	Detalle de milonita asociada a falla normal.	44
<b>Figura 27.</b>	Localización muestras analizadas.	45
<b>Figura 28.</b>	Formación superficial (Llen), identificada en inmediaciones de Paloblanco.	47
<b>Figura 29.</b>	Mapa de formaciones superficiales del área rural del municipio de Vélez (Plano R-05).	49
<b>Figura 30.</b>	Mapa de susceptibilidad litológica del área rural del Municipio de Vélez (Plano R-06).	50
<b>Figura 31.</b>	Vista del frente de cuesta Peñas Blancas – Los Guayabos – Aco.	56
<b>Figura 32.</b>	Vista de la Serranía Vélez- La Paz (al fondo) y de las vertientes del costado oriental.	57
<b>Figura 33.</b>	Vista aérea de la meseta inclinada y escalonada Palo Blanco – La Héliida.	58
<b>Figura 34.</b>	Cuerpo estructural oriental de San Ignacio del Opón.	60
<b>Figura 35.</b>	Cuerpo estructural occidental de Armas.	61
<b>Figura 36.</b>	Estructura en forma de batea longitudinal, vereda Puerto Rico.	61
<b>Figura 37.</b>	Extremo sur de la Serranía de Vélez.	65
<b>Figura 38.</b>	Meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán.	67
<b>Figura 39.</b>	Escalonamiento estructural arqueado horizontalmente con caída hacia el río Negro.	68
<b>Figura 40.</b>	Emersión estructural Río Negro – quebrada La Miel.	70
<b>Figura 41.</b>	Espaldón estructural meteorizado abajo Palo Blanco, que a pesar de su baja pendiente, al ser objeto de corte para explanación antrópica, ocasionó proceso de remoción en masa (MM12, véase sección 6.11).	76
<b>Figura 42.</b>	Mapa geomorfológico para el área rural del municipio de Vélez (R-07).	80
<b>Figura 43.</b>	Mapa de susceptibilidad geomorfológica a movimientos en masa para el área rural del municipio de Vélez (R-08).	83
<b>Figura 44.</b>	Metodología empleada para los estudios geológico – geomorfológicos aplicados al inventario de deslizamientos.	86
<b>Figura 45.</b>	Cuatro criterios para la calificación de los movimientos en masa inventariados (Modificado de: Reyes, 2013).	89
<b>Figura 46.</b>	Reunión de capacitación sobre deslizamientos del 13-9-2014 en el Colegio Isabel Valbuena.	92
<b>Figura 47.</b>	Inicio de la sensibilización en el Colegio Universitario de Vélez del 18-10-2014.	92
<b>Figura 48.</b>	Reunión de capacitación sobre deslizamientos del 17-10-2014 en la escuela de la vereda el Gualilo.	93
<b>Figura 49.</b>	Aspecto del taller del 17-10-2014 en la vereda Gaital: dibujo de rasgos geográficos y ambientales, incluyendo sitios inestables.	93
<b>Figura 50.</b>	Aspecto del taller del 17-10-2014 en la vereda Gaital: ejemplo de exposición de mapa “parlante” sobre deslizamientos-	94
<b>Figura 51.</b>	Escarpe de deslizamiento en visita urbana del 19-10-2014.	94
<b>Figura 52.</b>	Traslación y flujo en la vereda El Amarillo (MM18), el día 28-7-2014.	95
<b>Figura 53.</b>	Deslizamiento en talud de corte en Peña Grande (KM45+570).	95
<b>Figura 54.</b>	Catálogo obtenido con participación de la comunidad de Vélez (flechas verdes, símbolo CC) e inventario de movimientos en masa (flechas rojas, símbolo MM).	97

<b>Figura 55.</b>	Análisis de la variable actividad obtenida del inventario de movimientos en masa del área rural de Vélez.....	98
<b>Figura 56.</b>	Distribución de la variable magnitud, esto es la extensión (en grande, mediano y pequeño, según los rangos en m <sup>2</sup> indicados en la figura 45, de los movimientos en masa inventariados en área rural de Vélez. ....	98
<b>Figura 57.</b>	Estadísticas de mecanismos o tipologías de ruptura (o de falla, en la zona fuente) inventario de movimientos en masa, en el área rural de Vélez. ....	99
<b>Figura 58.</b>	Relación de los materiales comprometidos en las remociones en masa evaluadas (inventariadas) a nivel rural. ....	99
<b>Figura 59.</b>	Aspecto del movimiento en masa complejo, inventariado como MM24: escarpe principal, con el predio El Naranjito Bajo. ....	100
<b>Figura 60.</b>	Aspecto del movimiento en masa complejo, inventariado como MM24: Detalle del comportamiento como flujo, con inclinación de los árboles, parte distal de la zona. .	103
<b>Figura 61.</b>	Ubicación del área de influencia del MM24, con puntos levantados con GPS, con etiquetas de los elementos destacados. En líneas roja el escarpe del deslizamiento principal; en morado los escarpes secundarios y a trazos el agrietamiento más superior, que indican un movimiento en masa retrogresivo, que amenaza las viviendas. ....	103
<b>Figura 62.</b>	Daños en la vivienda del predio Bellaluz por el MM24. ....	104
<b>Figura 63.</b>	Detalle de escarpe rocoso en arcillolitas consolidadas, grises y con laminación plano-paralela, que buzan en el sentido de la pendiente. Notar los árboles que han sido cortado en su borde. ....	105
<b>Figura 64.</b>	Puntos de control con GPS y línea roja de escarpe de la zona inventariada como MM34, relacionado a la quebrada la Balsita, que fluye hacia arriba (al Norte). ....	106
<b>Figura 65.</b>	Panorámica de la quebrada La Balsita, que socava y genera el deslizamiento traslacional y flujo extensos sobre la ladera de la margen derecha. Nótese los escombros vegetales que caen al cauce. ....	107
<b>Figura 66.</b>	Vista de los suelos con vegetación de alta humedad y dedicados al cultivo tecnificado de cacao. La persona se ubica sobre un resto de tronco partido por la mitad debido a un agrietamiento severo del terreno. ....	107
<b>Figura 67.</b>	Socavación de la quebrada La Balsita (vista hacia aguas arriba), que genera orillales, de hasta 11.5 m de altura, e inestabilidad de calificación 5 al extremo izquierdo. ....	108
<b>Figura 68.</b>	Delimitación de cuencas hidrográficas para la jurisdicción del municipio de Vélez. .	110
<b>Figura 69.</b>	Estaciones meteorológicas ubicadas en proximidad del municipio de Vélez. ....	112
<b>Figura 70.</b>	Distribución espacial de las estaciones influyentes por polígonos de Thiessen. ....	113
<b>Figura 71.</b>	Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Enero. ....	116
<b>Figura 72.</b>	Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Febrero. ....	117
<b>Figura 73.</b>	Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Marzo. ....	118
<b>Figura 74.</b>	Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Abril. ....	119
<b>Figura 75.</b>	Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Mayo. ....	120
<b>Figura 76.</b>	Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Junio. ....	121

**Figura 77.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Julio. 122

**Figura 78.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Agosto. .... 123

**Figura 79.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Septiembre. .... 124

**Figura 80.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Octubre. .... 125

**Figura 81.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Noviembre. .... 126

**Figura 82.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Diciembre. .... 127

**Figura 83.** Valor acumulado de índices de precipitación (Plano R-09). .... 129

**Figura 84.** Susceptibilidad a movimientos en masa por humedad del suelo del área rural del municipio de Vélez (Plano R-10). .... 132

**Figura 85.** Distribución por vereda de la susceptibilidad a movimientos en masa por humedad de suelo. .... 133

**Figura 86.** Vista del producto del proceso clasificación supervisada de imagen (derecha) a partir del raster de entrada (izquierda). .... 142

**Figura 87.** Vista del proceso de recorte de la imagen al área de interés. .... 142

**Figura 88.** Vista del resultado obtenido mediante la extracción de las regiones con errores de clasificación por la presencia de nubes y sombras. .... 143

**Figura 89.** Vista del resultado obtenido mediante la aplicación de la herramienta *Filtro mayoritario* sobre la imagen clasificada. .... 144

**Figura 90.** Vista del resultado obtenido mediante la aplicación de la herramienta *Refinado de límites* sobre la imagen clasificada. .... 144

**Figura 91.** Vista del resultado obtenido mediante la aplicación de la herramienta *Grupo de regiones* sobre la imagen clasificada. .... 145

**Figura 92.** Vista del resultado obtenido mediante la aplicación de las herramientas *Extraer por consulta de atributos* (izquierda) y *Nibble* (derecha) sobre la imagen clasificada. .... 146

**Figura 93.** Vista del proceso de conversión de las imágenes ráster clasificadas a polígonos. .... 146

**Figura 94.** Vista del proceso de edición de áreas con errores de clasificación. .... 147

**Figura 95.** Vista del proceso de agregación de polígonos. .... 147

**Figura 96.** Corrección de errores topológicos en el shape de uso y cobertura del suelo y obtención del producto final. .... 149

**Figura 97.** Localización de algunos puntos de control utilizados para la verificación en campo de la clasificación de imágenes de ráster. .... 150

**Figura 98.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.1.1 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009). 152

**Figura 99.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.1.2 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009). 153

**Figura 100.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.4.1 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009). 154

**Figura 101.** Delimitación de la unidad de cobertura 2.1 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009). . 155

**Figura 102.** Vista de cultivos de maíz junto a cortes de caña panelera desde mirador ubicado en la vereda Loma Alta, mirando hacia la vereda Ropero. .... 156

**Figura 103.** Vista de cultivos de maíz desde mirador ubicado en la vereda Guayabal (derecha) y hacia la vereda Los Ejidos (abajo). .... 156

<b>Figura 104.</b> Delimitación de la unidad de cobertura 2.3.1 sobre imagen satelital Landsat OLI-TIRS (USGS, 2015). .....	158
<b>Figura 105.</b> Vista de la cobertura 2.3.1 desde la vía Palo Blanco – Alto Jordán hacia la vereda Tebaida. ....	158
<b>Figura 106.</b> Vista de la cobertura 2.3.1 desde la vía Palo Blanco – Alto Jordán, vereda Helida. .	159
<b>Figura 107.</b> Delimitación de la unidad 2.4.3 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009). Sector del municipio de San José de Pare. ....	160
<b>Figura 108.</b> Vista de mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales de las veredas Palmera y Loma Alta. ....	161
<b>Figura 109.</b> Delimitación de la unidad 2.4.4 sobre imagen satelital RapidEye (IGAC, 2009).Sector del municipio de Bolívar. ....	162
<b>Figura 110.</b> Delimitación de la unidad 3.1.3 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2010). ....	164
<b>Figura 111.</b> Vegetación secundaria en transición asociada a bosque fragmentado, con presencia de helechos arborescentes del género <i>Cyathea</i> . Vereda Palo Blanco. ....	164
<b>Figura 112.</b> Bosque fragmentado que interrumpe los potreros a lo largo de la vía hacia el municipio de Bolívar. Vereda Palo Blanco. ....	165
<b>Figura 113.</b> Bosque fragmentado con vegetación secundaria en transición. Vereda El Recreo. .	165
<b>Figura 114.</b> Delimitación de la unidad 3.2.3 sobre imagen satelital RapidEye (IGAC, 2010). ....	167
<b>Figura 115.</b> Vegetación secundaria en transición. Vereda El Recreo. ....	167
<b>Figura 116.</b> Delimitación de zonas arenosas naturales sobre imagen RapidEye (IGAC, 2010). Tramo del río Opón. Vereda La Tablona. ....	168
<b>Figura 117.</b> Mapa de uso y cobertura del suelo del área rural del Municipio de Vélez (Plano R-11). 173	
<b>Figura 118.</b> Contribución relativa de las unidades de uso y cobertura por vereda para territorios artificializados (unidad 1). ....	174
<b>Figura 119.</b> Contribución relativa de las unidades de uso y cobertura por vereda para territorios agrícolas (unidad 2). ....	175
<b>Figura 120.</b> Contribución relativa de las unidades de uso y cobertura por vereda para bosques y áreas seminaturales (unidad 3). ....	176
<b>Figura 121.</b> Esquema metodología empleada. ....	184
<b>Figura 122.</b> Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa por uso y cobertura del suelo del área rural del Municipio de Vélez (Plano R-12). ....	196
<b>Figura 123.</b> Mapa de variable para el cálculo de susceptibilidad a movimientos en masa. ....	197
<b>Figura 124.</b> Mapa de susceptibilidad para el área rural del municipio de Vélez (R-14). ....	199
<b>Figura 125.</b> Proceso para la calificación de la amenaza por movimientos en masa para el área rural del municipio de Vélez. ....	201
<b>Figura 126.</b> Mapa de precipitaciones máximas diarias registradas en el área rural del municipio de Vélez (escenario 1). ....	205
<b>Figura 127.</b> Mapa de precipitaciones máximas diarias con Tr 100 años para el área rural del municipio de Vélez (escenario 2). ....	206
<b>Figura 128.</b> Mapa de precipitaciones máximas diarias con Tr 200 años para el área rural del municipio de Vélez (escenario 3). ....	208
<b>Figura 129.</b> Mapa de precipitaciones máximas diarias con Tr 500 años para el área rural del municipio de Vélez (escenario 4). ....	209
<b>Figura 130.</b> Mapa del factor detonante por lluvias máximas diarias para el área rural del municipio de Vélez. ....	210
<b>Figura 131.</b> Zonas de amenaza sísmica definidas por la NSR-10. ....	212

<b>Figura 132.</b> Distribución de las zonas de amenaza por movimientos en masa en el territorio municipal. ....	215
<b>Figura 133.</b> Mapas de amenaza por detonantes. ....	216
<b>Figura 134.</b> Mapa de amenaza total por lluvias y sismo. ....	217
<b>Figura 135.</b> Mapa de amenaza por movimientos en masa para el área rural del municipio de Vélez (R-15). ....	218
<b>Figura 136.</b> Distribución de movimientos en masa inventariados y catalogados por zona de amenaza. ....	219
<b>Figura 137.</b> Calibración del mapa de amenaza para el área rural del municipio de Vélez. ....	220

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Determinación de pesos mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA).....	16
<b>Tabla 2.</b>	Valoración de los rangos de pendientes para el área de estudio. ....	20
<b>Tabla 3.</b>	Muestras analizadas. ....	45
<b>Tabla 4.</b>	Formaciones superficiales identificadas en el área rural del municipio de Vélez, con sus atributos y el factor litológico (Li) asignado. ....	46
<b>Tabla 5.</b>	Conjuntos morfoestructurales y paisajes geomorfológicos en jurisdicción del municipio de Vélez.....	62
<b>Tabla 6.</b>	Clasificación de los suelos según su susceptibilidad geomorfológica. ....	82
<b>Tabla 7.</b>	Formato limpio, con nota explicativa, empleado para inventariar en campo los deslizamientos (movimientos en masa). ....	88
<b>Tabla 8.</b>	Reuniones de sensibilización y capacitación sobre deslizamientos, y talleres para su inventario a nivel rural de Vélez. ....	91
<b>Tabla 9.</b>	Inventario de movimientos en masa rurales, los cuales fueron visitados y evaluados por el equipo de expertos de geomática UIS. ....	101
<b>Tabla 10.</b>	Inventario de movimientos en masa rurales, los cuales fueron visitados y evaluados por el equipo de expertos de geomática UIS. ....	102
<b>Tabla 11.</b>	Estaciones meteorológicas próximas e intervinientes en el análisis de la precipitación para el área rural del Municipio de Vélez. ....	111
<b>Tabla 12.</b>	Estaciones meteorológicas próximas e intervinientes en el análisis de la precipitación para el área rural del Municipio de Vélez (continuación). ....	112
<b>Tabla 13.</b>	PMM = Precipitación Media Mensual en mm/mes. Para las estaciones aledañas al municipio de Vélez Sder.....	114
<b>Tabla 14.</b>	Rangos de precipitación adoptados para el análisis de precipitación media mensual multianual. ....	115
<b>Tabla 15.</b>	Valores del índice de precipitación asignados a los promedios mensuales de precipitación. ....	128
<b>Tabla 16.</b>	Calificación de la humedad del suelo para la susceptibilidad a movimientos en masa. ....	130
<b>Tabla 17.</b>	Unidades de uso y cobertura del suelo empleadas para el estudio. Área rural. ....	135
<b>Tabla 18.</b>	Unidades de uso y cobertura del suelo empleadas para el estudio (continuación).....	136
<b>Tabla 19.</b>	Insumos cartográficos utilizados para la elaboración de los mapas de uso y cobertura del suelo del área rural del Municipio de Vélez. ....	137
<b>Tabla 20.</b>	Composiciones de bandas más utilizadas para la toma de muestras de capacitación en imágenes LANDSAT 5 TM. ....	139
<b>Tabla 21.</b>	Composiciones de bandas más utilizadas para la toma de muestras de capacitación en imágenes LANDSAT 8 OLI-TIRS. ....	140
<b>Tabla 22.</b>	Composiciones de bandas más utilizadas para la toma de muestras de capacitación en imágenes RAPIDEYE.....	141
<b>Tabla 23.</b>	Área por unidad de uso y cobertura del suelo. Zona Rural. ....	172
<b>Tabla 24.</b>	Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez, zona rural. ....	177
<b>Tabla 25.</b>	Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez, zona rural (continuación).....	178

<b>Tabla 26.</b> Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez, zona rural (continuación).....	179
<b>Tabla 27.</b> Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez. Zona rural (continuación).....	180
<b>Tabla 28.</b> Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez, zona rural (continuación).....	181
<b>Tabla 29.</b> Coeficientes de cultivos adaptados de la FAO. ....	187
<b>Tabla 30.</b> Calificación de las coberturas para la variable evapotranspiración. ....	188
<b>Tabla 31.</b> Calificación de las coberturas para la variable drenaje profundo. ....	190
<b>Tabla 32.</b> Calificación de las coberturas para la variable profundidad del sistema radicular. ....	191
<b>Tabla 33.</b> Calificación de las coberturas para la variable estratos de la cobertura. ....	193
<b>Tabla 34.</b> Matriz de calificación de las unidades de cobertura. ....	195
<b>Tabla 35.</b> Pesos de los valores para el cálculo de susceptibilidad. ....	197
<b>Tabla 36.</b> Calificación para la susceptibilidad. ....	198
<b>Tabla 37.</b> Estaciones meteorológicas y registro histórico de su máxima precipitación. ....	202
<b>Tabla 38.</b> Valores de lluvias máximas diarias para diferentes periodos de retorno. ....	203
<b>Tabla 39.</b> Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa.....	204
<b>Tabla 40.</b> Calificación de la zona de amenaza sísmica. ....	211

## 1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander (UIS), en calidad de entidad ejecutora del Convenio Interadministrativo No. 9677-04-1127-2013, cuyo objeto es “Aunar esfuerzos administrativos, financieros y técnicos para contratar y desarrollar el ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER”, presenta a consideración del Municipio de Vélez, el Departamento de Santander y la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, los resultados correspondientes al área rural del Municipio de Vélez.

Este documento presenta las diversas actividades realizadas y la descripción de los tópicos investigados por el equipo de docentes y profesionales de la UIS, con relación a las pendientes, la geología, la geomorfología, la hidrología (humedad del suelo), el uso y cobertura del suelo aplicadas a la evaluación y la zonificación de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a nivel rural del municipio de Vélez.

## 2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Como ya se mencionó en el Volumen IIA, para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa para el municipio de Vélez, se tomó como base el método denominado originalmente como Método de las Jerarquías Analíticas por Saaty (1990), posteriormente redenido como “Combinación de Factores” (Carrara et al., 1995) o también llamado “Ponderación de Parámetros” (PMA-GCA, 2007), que igualmente ha sido empleado en otros trabajos análogos, como Wang (1994) y Soeters y Westen (1996; en INIGEMM, 2013). En Colombia son conocidas las metodologías de Mora y Vahrson (1994) y de PREDECAN (2009).

Como cada factor influye de manera distinta en la estabilidad de una ladera es importante encontrar un método que disminuya la subjetividad en la asignación de los pesos. Por ejemplo el INIGEMM (2013) modificó el método de Saaty (1990), cuyos resultados de la ponderación de cada parámetro se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Determinación de pesos mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA).

DETERMINACIÓN DE PESOS PARA SUSCEPTIBILIDAD/AMENAZA A FRM (H)						
	F1	F2	F3		$\sum \frac{x_{ij}}{n}$	$P = (\sum ij / n) (\sum x_{ij})$
F1	1	2	2		1.667	0.48
F2	0.5	1	2		1.167	0.33
F3	0.5	0.5	1		0.667	0.19
	RI = 4.6			$\sum X_{ij}$	3.50	1.00

Fuente: INIGEMM, 2013

Cada uno de los factores se califica según su susceptibilidad para obtener un archivo digital en formato *raster*, y se realiza la suma ponderada de las calificaciones definidas por celda mediante el uso de la herramienta “raster calculator” (extensión Spatial Analyst) del software ArcGis 10.2, mediante el siguiente algoritmo de susceptibilidad:

$$H = \frac{0.48(F_1) + 0.33(F_2) + 0.19(F_3)}{3}$$

Donde:

F1: Factor Pendiente (48%)

F2: Factor Litológico (33%)

F3: Factor Geomorfológico (19%)

Para la zonificación de amenazas en el área rural de Vélez fueron propuestos, no tres sino cinco factores de análisis por el equipo de especialistas, los siguientes: pendientes, geología superficial (litología-estructura), geomorfología (unidades geomorfológicas), humedad del suelo y uso y cobertura del suelo. En la figura 1 se muestra la metodología empleada, cuyas ponderaciones se muestran en los sucesivos capítulos de éste volumen.

**Figura 1.** Metodología para la evaluación de susceptibilidad y la amenaza híbrida por movimientos en masa a nivel rural del municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración propia

Para el área rural de Vélez, tales factores se estructuraron en *shapes* independientes, en donde a cada polígono se le asignó una calificación de 1 a 5, para después ser convertidos a formato *ráster* con un tamaño de celda de 20m\*20m.

Posteriormente, el mapa de amenaza obtenido del cruce de factores se calibró con el Mapa de Inventario de Movimientos en Masa (o inventario de deslizamientos), que contempla los procesos morfodinámicos identificados dentro de las zonas inspeccionadas en campo, mediante sobrevuelos o con los talleres efectuados con las comunidades del área rural de Vélez.

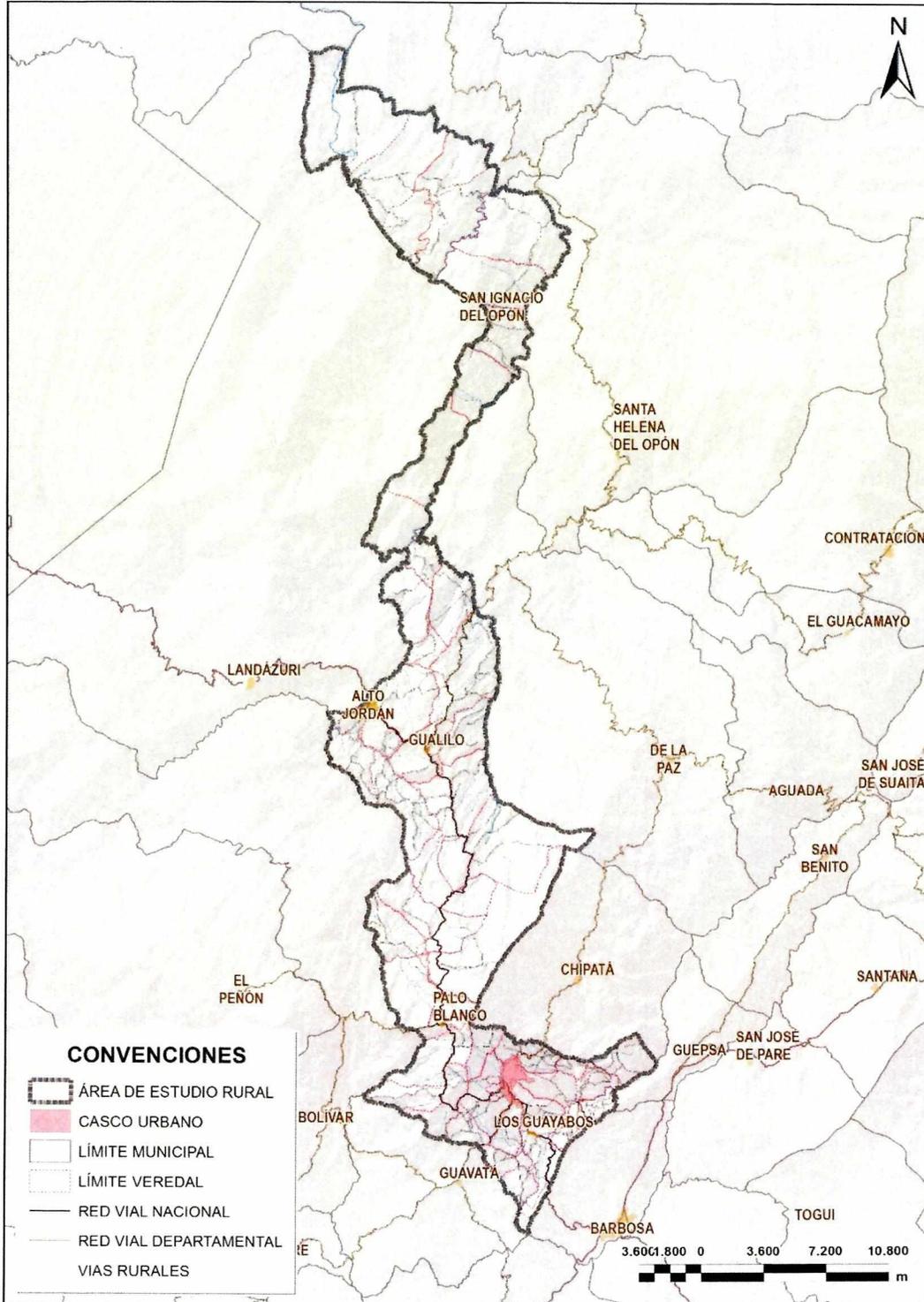
### 3. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se circunscribe a todo el territorio bajo la jurisdicción del municipio de Vélez, localizado al sur del Departamento de Santander, que se extiende desde su extremo sur en límites con el municipio de Barbosa hasta el valle del Magdalena medio santandereano colindando con el bajo Simacota, terrenos que hacia sus partes altas corresponden al extremo sur de la Serranía Vélez – Chipatá – La Paz con alturas máximas de 2.750 metros de altitud en las cimas de este cuerpo montañoso que se prolonga hacia el norte como la Serranía de los Yariquíes, en tanto que el territorio municipal lo hacen siguiendo las vertientes que drenan tanto hacia los ríos Carare y Opón, descendiendo hacia terrenos ubicados hacia los 175 metros de altitud (ver figura 2).

El área de estudio está delimitada por las siguientes coordenadas (Magna Sirgas Colombia – Bogotá):

- 1.216.531 N al norte;
- 1.032.342 W al este;
- 1.147.221 N al sur;
- 1.053.321 W al oeste.

Figura 2. Delimitación de la zona de estudio para el área rural.



Fuente: Elaboración Propia

### 4. PENDIENTES

La pendiente se considera como una variable extrínseca o exógena de la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa, al igual que la geomorfología y el uso y cobertura del suelo. Las dos primeras son naturales, mientras que la última es de tipo antrópico.

El factor pendiente del terreno se representa con el Mapa de Pendientes, elaborado a partir del modelo digital de elevaciones obtenido de las curvas de nivel proporcionadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, con una resolución de 50 m.

La calificación para susceptibilidad a movimientos en masa por pendiente se determinó con base en los rangos propuestos por Van Zuidam (1985), con una modificación en la definición de las categorías de mayor susceptibilidad (4 y 5) con el fin de que fueran más restrictivas, dado el menor detalle del modelo digital de elevaciones.

De acuerdo a lo anterior, para el caso particular del área rural del municipio de Vélez se adoptaron los rangos reportados en la tabla a continuación.

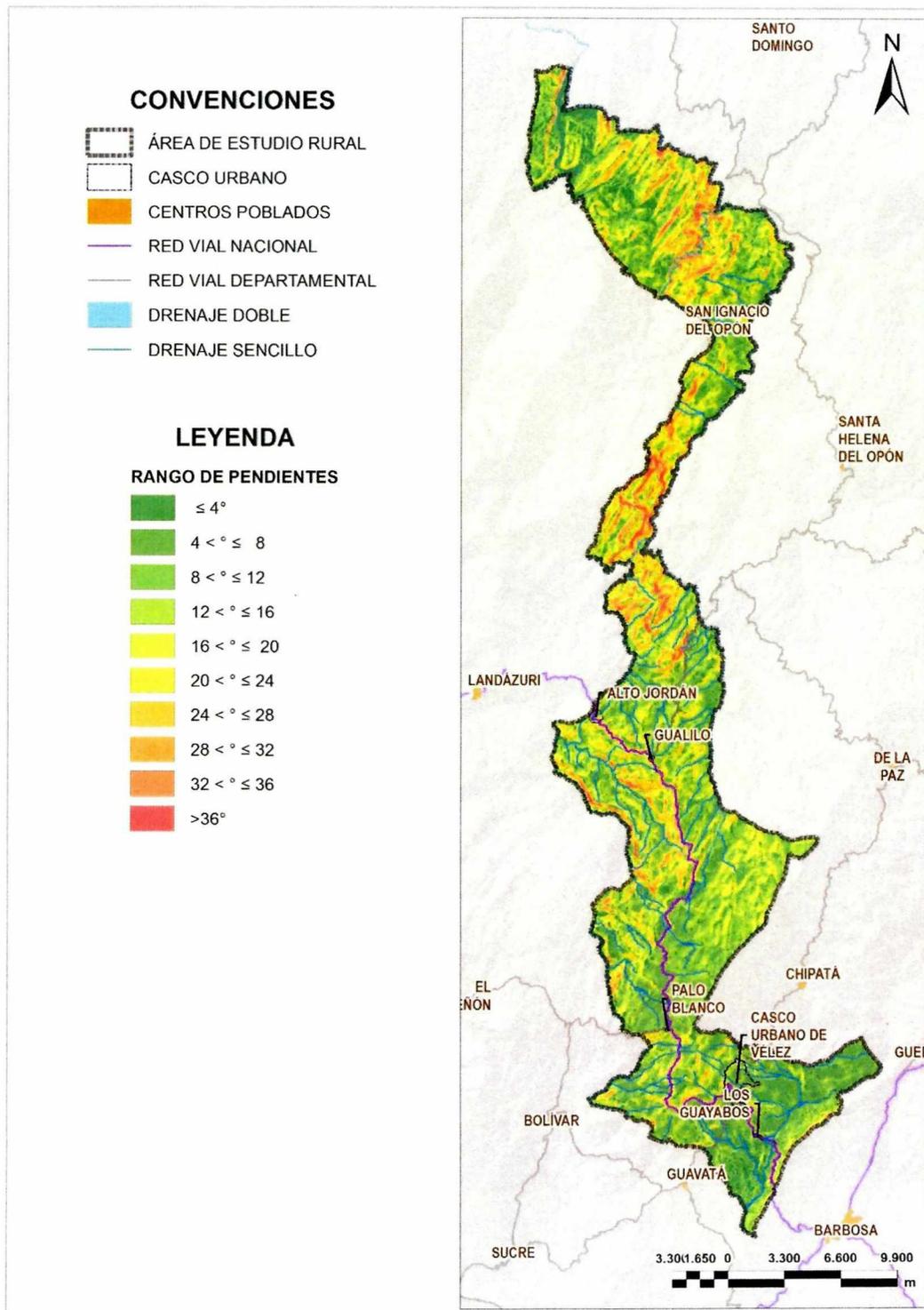
**Tabla 2.** Valoración de los rangos de pendientes para el área de estudio.

SUSCEPTIBILIDAD		CALIFICACIÓN	RANGO DE PENDIENTES (°)
	1	MUY BAJA	0-4
	2	BAJA	4-8
	3	MEDIA	8-16
	4	ALTA	16-25
	5	MUY ALTA	>25

Fuente: Elaboración Propia

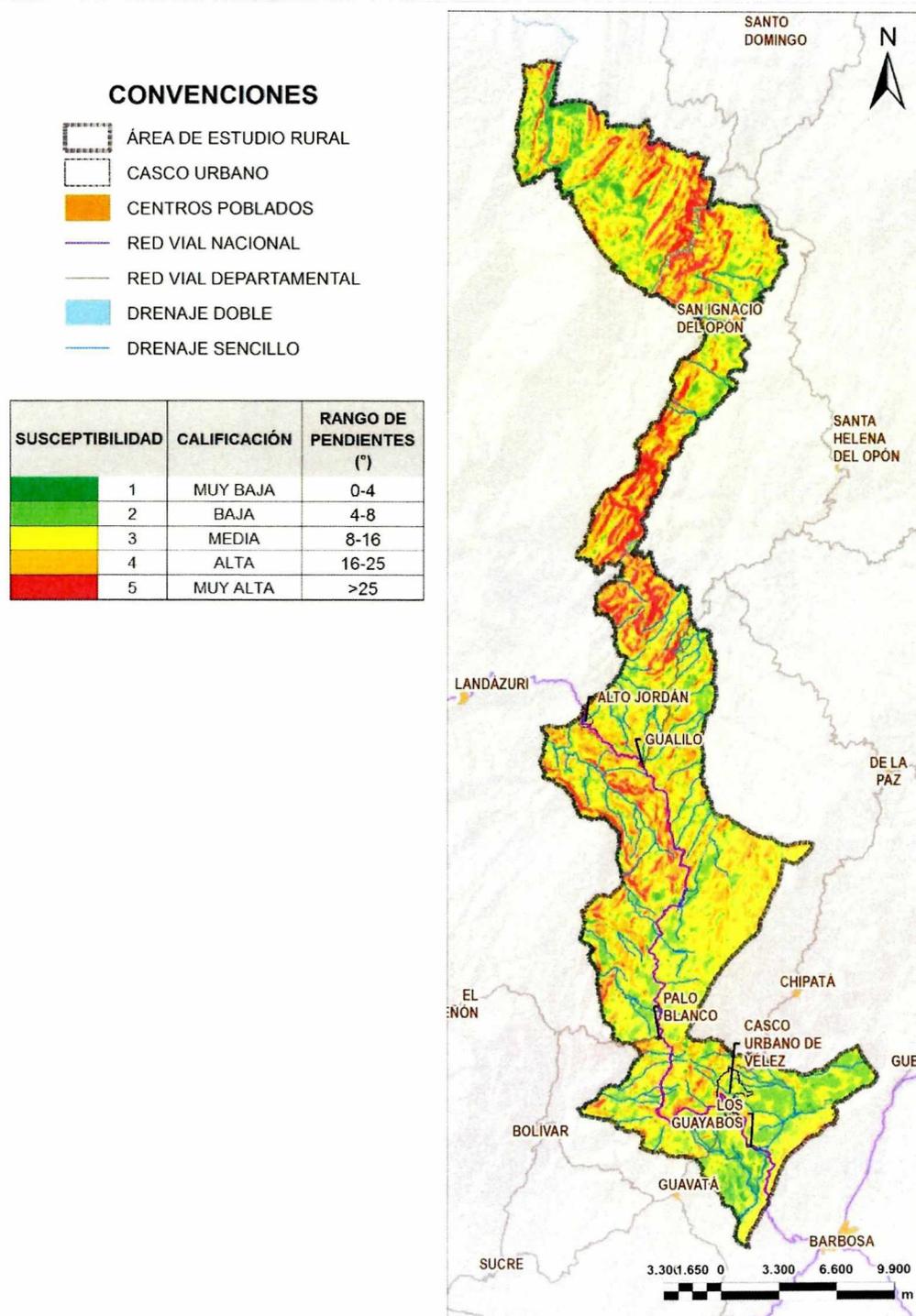
En la figura 4 se reporta el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa por pendientes obtenido mediante la calificación de las celdas del modelo digital de elevaciones de acuerdo a los rangos definidos.

**Figura 3.** Mapa de pendientes del área rural (Plano R-02).



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa por pendientes del área rural (Plano R-03).



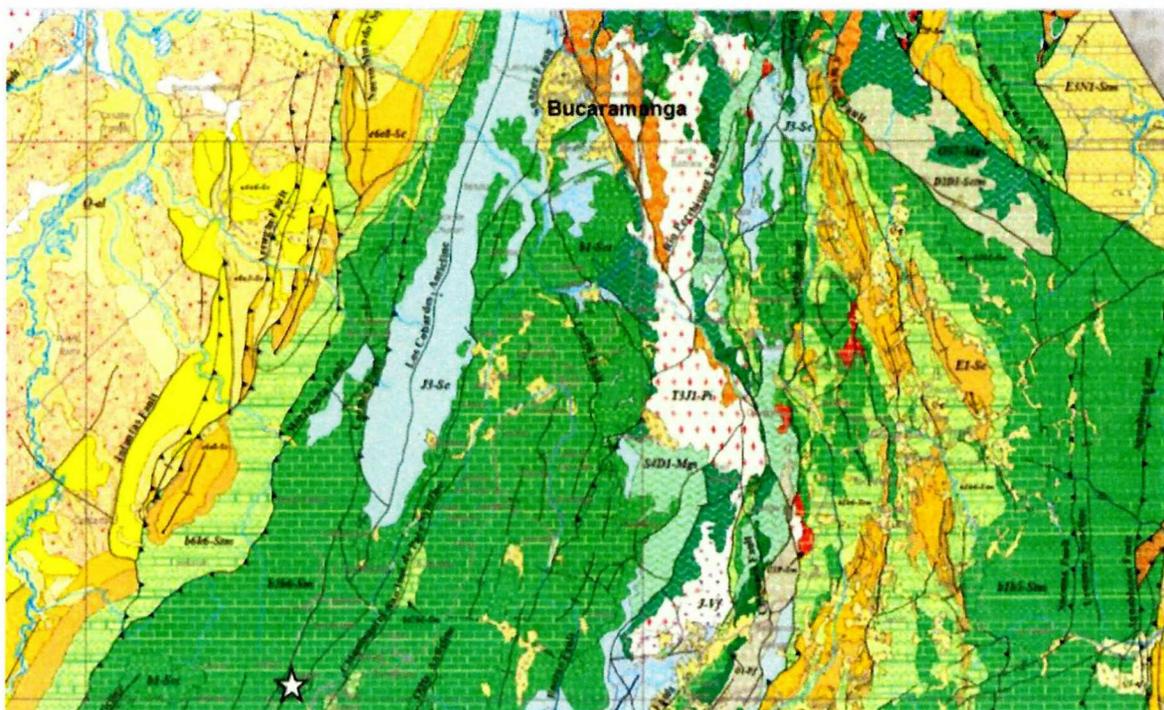
Fuente: Elaboración Propia

## 5. GEOLOGÍA REGIONAL

### 5.1. MARCO GEOTECTÓNICO

De acuerdo a Reyes y Álvarez (2007) Santander es representativo de la zona de confluencia de las placas Caribe y suramericana, conocida como bloque Andes del Norte o bloque Norandino según varios autores (Kellogg, 1984; Case et al., 1984, Kellogg et al., 1985; James, 1985; Boinet, 1985: en Royero y Clavijo, 2001). De acuerdo con el mapa de terrenos geológicos de Colombia (Etayo et al., 1983; en Royero y Clavijo, 2001) la zona de estudio forma parte del “supraterrano Cretácico de la Cordillera Oriental”, y según el esquema tectónico de Clavijo et al. (1993; en Royero y Clavijo, 2001) pertenece a la provincia de la Cordillera Oriental. Así, el municipio de Vélez se ubica (ver figura 5) dentro de un sistema orogénico que bordea por el noroccidente al cratón Guayanés (Reyes, 2012).

**Figura 5.** Mapa geoestructural de la parte noroccidental de la Cordillera Oriental. Vélez se ubica abajo, en la estrella blanca, sobre rocas del Cretácico. Bucaramanga, arriba al centro.



Fuente: Modificado de Gómez, et al. (2007)

Regionalmente se enmarca en una cadena plegada cabalgante, de vergencia occidental y conformada principalmente por rocas de ambientes marinos (Cretácico), aunque más al oeste afloran sedimentitas continentales del Paleógeno, unidades volcanoclásticas del Neógeno, junto a diversos depósitos del Cuaternario, de gran sedimentación actual. Todas las unidades del Cretácico, de color verde en la figura 5, conforman un gran pliegue sinforme, afectado por fallas de rumbo y cabalgamiento (Reyes, 2012).

La alta actividad sísmica en el departamento de Santander, en términos generales, es superficial a intermedia. La región nororiental se ve especialmente influenciada por la presencia de los sistemas de fallas geológicas de Bucaramanga, Suárez y Suratá, más al occidente por el sistema de fallas de la Salina, límite oriental del valle del Magdalena (Reyes y Alvarez, 2007), mientras que más al sur –de interés para Vélez– principalmente por los dos últimos sistemas.

## 5.2. ESTRATIGRAFÍA RURAL

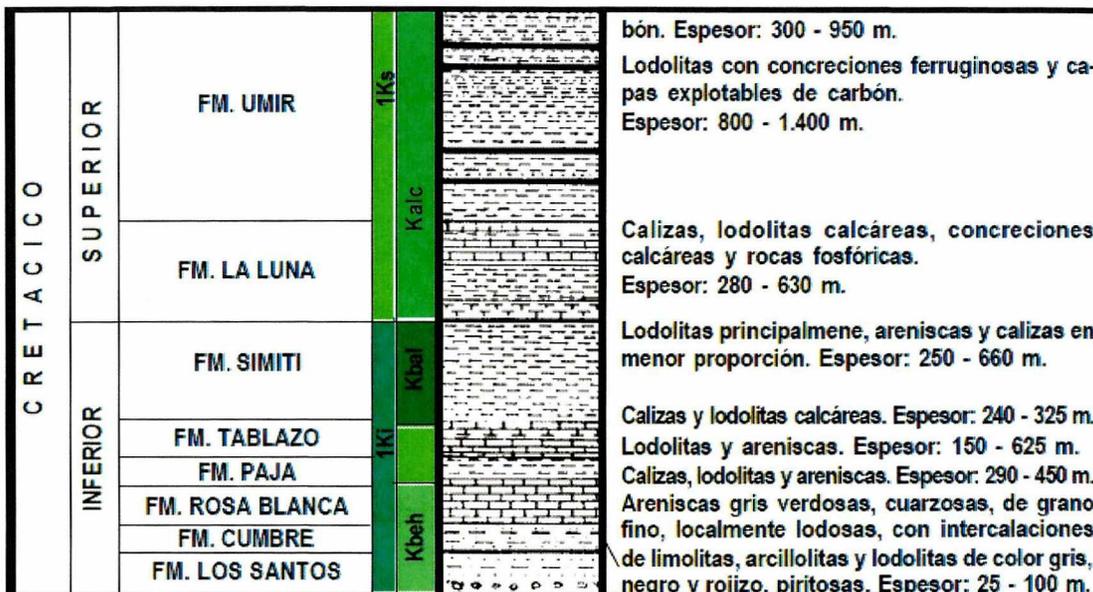
Conforme Royero y Clavijo (2003), Pulido (1985), Hincapié y Veloza (2009), Ulloa y Rodríguez (INGEOMINAS, 1984), en las regiones central a sur de Santander afloran unidades del Mesozoico (especialmente Cretácico) y Cenozoico (Paleógeno, Neógeno y Cuaternario), descritas enseguida desde sus autores originales, con la litología regional a local, geometría, ambiente sedimentario y distribución espacial.

El Cretácico, de amplia exposición en el municipio de estudio y sintetizado en la columna litológica general de la figura 6, lo representan las siguientes Formaciones: Rosablanca, Paja, Tablazo, Simití, la Luna y Umir. Como se analizó de las Planchas 170 Vélez y 150 Cimitarra del INGEOMINAS, además de los trabajos de campo, tales unidades litoestratigráficas son sedimentarias y de origen marino, cartografiadas con colores verdosos (figura 6).

Para Vélez este periodo de la era Mesozoica lo representan predominantemente la Formación Paja (Kip) y parte de la Formación Tablazo (Kit), las cuales constan en su mayoría de lodolitas laminadas (lutitas o shales) y calizas grises, respectivamente, y están cubiertas discordantemente por depósitos coluviales y aluviales del Cuaternario. Específicamente sobre la unidad Kip se fundaron las áreas urbanas de Vélez y Guavatá, y sobre la unidad Kit los municipios de Barbosa y Güepsa.

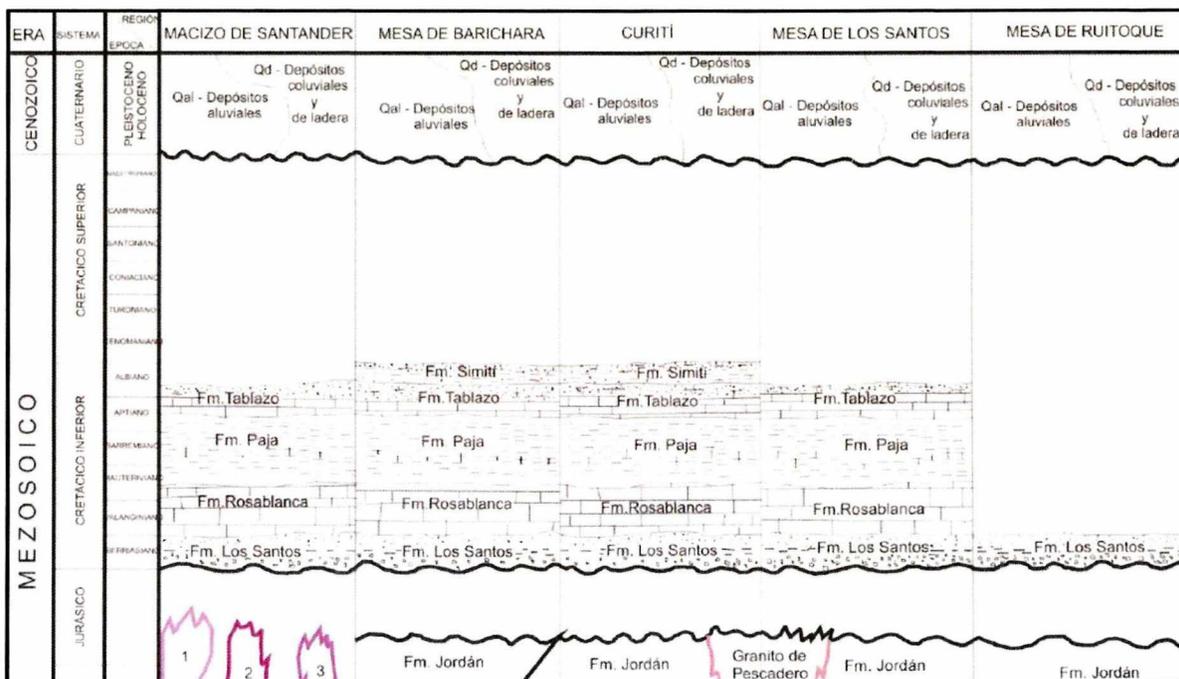
En la figura 7 se observa la distribución y la correlación cronoestratigráfica de las mismas.

**Figura 6.** Columna estratigráfica generalizada del Cretácico, al sur de Santander.



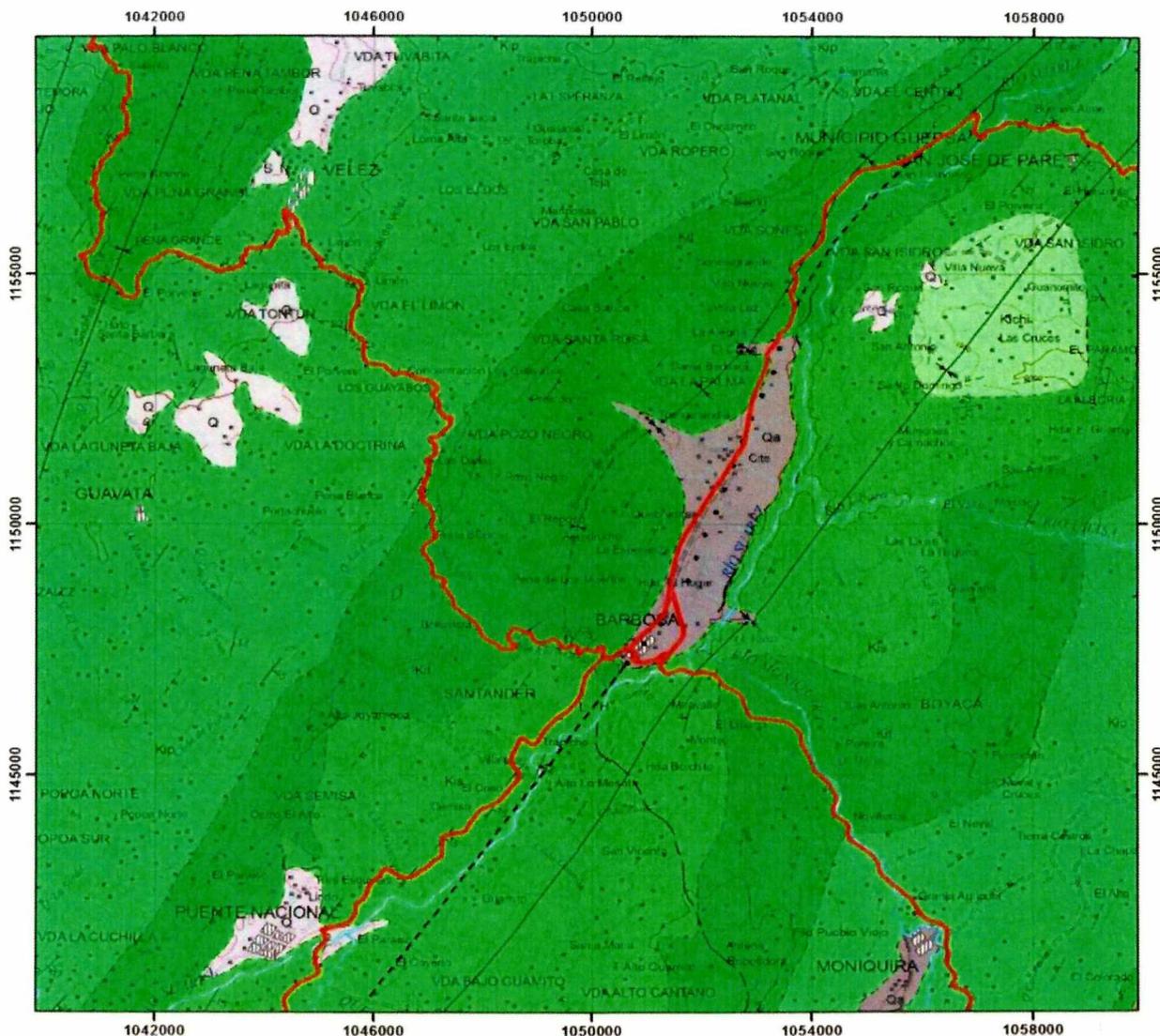
Fuente: Modificado de Royero y Clavijo, 2001

**Figura 7.** Correlación cronoestratigráfica de las formaciones del Cretácico inferior.



Fuente: Modificado de Morales (2010)

**Figura 8.** Mapa geológico del municipio de Vélez y alrededores. El óvalo negro ubica su área urbana, fundada sobre la Formación Paja (Kip), con amplio patrón de afloramiento orientado al NE. Las carreteras principales se resaltaron en líneas rojas.



Fuente: Modificado de INGEOMINAS (1984)

A continuación se describen las características litológicas de las formaciones encontradas en el municipio de Vélez, iniciando por las más antiguas. En el mapa geológico rural de Vélez, elaborado a escala 1:25000 se presenta la cartografía generada en el presente estudio.

### **Formación Rosablanca (Kir o K1r)**

Fue descrita originalmente por Wheeler (1939) y cartografiada por Julivert (1958) en toda la Región de Mesas y Cuestas. Zamarreño de Julivert (1963) estudió en detalle la estratigrafía de la Formación Rosablanca, en una sucesión de 318 m de potencia ubicada en el cañón del río Sogamoso, al occidente de la Mesa de Los Santos (modificado de: Hincapié y Veloza, 2009).

Se encuentra compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso con oolitos, ostrácodos y dolomías; hacia la parte superior está constituida por calizas fosilíferas, masivas y potentes, areniscas y lodolitas calcáreas.

En la parte inferior presenta depósitos evaporíticos como yeso y polihalita, que indican una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depositación. El resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas (Hincapié y Veloza, 2009).

La Formación Rosablanca aflora a nivel rural de Vélez en las veredas San Benito, Rionegro Cascajero, Visina, Llanadas y al oriente del municipio de Bolívar, como una franja alargada N-S de calizas. Allí consta en la zona de estudio de alternancia de calizas micríticas, de color gris fresco y pardo-amarillento meteorizado, lumaquélicas (con bivalvos, figura 9a) y muy duras, areniscas de grano medio a fino, en matriz lodosa calcárea grisácea, consolidadas, y lodolitas pardo-grisáceas a negras, calcáreas, masivas a laminadas, en capas delgadas a muy gruesas ( $\geq 1$  m de espesor), según la figura 9b.

**Figura 9.** (a) Detalle de calizas fosilíferas y escarpes rocosos (b) de la Formación Rosablanca (Kir), evidentes en el tramo vial del puente Eduardo Santos hasta el río Fonce (hacia Berlín).



Fuente: Registro Fotográfico de campo

### **Formación Paja (Kip o K1p)**

Su nombre proviene de Julivert (1958), asociado a la quebrada La Paja (afluente por la margen izquierda del río Sogamoso), 1 km aguas arriba del puente el Tablazo. Se trata de una sucesión de shales<sup>1</sup> grises (Figura 6a), negros a pardos, fosilíferos, ligeramente calcáreos y a veces micáceos; el segmento inferior de esta formación contiene nódulos y concreciones calcáreas, septarias (Figura 6b) y venas de calcita. El espesor de la formación varía entre 125 m y 625 m en la sección tipo (Adaptado de: Reyes, 2013); y según Royero y Clavijio (2003) entre 150 y 625 m.

La Formación Paja ha sido cartografiada por toda la región de Mesas y Cuestas (como la de los Santos, Barichara, Socorro, etc.), más al norte de la zona de estudio, en donde frecuentemente es yesífera. Allí se expresa a lo largo del cañón de los ríos Suárez y Fonce; posee además pendientes suaves, con morfología de laderas onduladas, aunque localmente se encuentran pequeños escarpes, debido a la presencia de niveles de lodos calcáreos o margas (Reyes, 2013). La figura 10 muestra la distribución y la correlación cronoestratigráfica de la unidad en estas regiones.

**Figura 10.** Detalle de la Formación Paja: (a) Izquierda, lutitas o shales observables en la vía hacia el municipio de Encino; (b) derecha, concreciones septarias presentes en la parte baja del municipio de Galán, cerca de la confluencia entre los ríos Suárez y Fonce.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

En la planchas 170 y 150 de INGEOMINAS la Formación Paja tiene una amplia distribución, ya que ocupa franjas alargadas de dirección NE, de hasta decena de kilómetros de ancho,

<sup>1</sup> En el presente informe usamos el término “lutitas” como sinónimo de la palabra inglesa shales, para describir estas rocas sedimentarias lodosas (con tamaños de grano entre limo y arcilla), que además poseen laminación y son fisibles (o fisiles; es decir, que se rompen siguiendo tales estructuras planares primarias).

representada básicamente por los núcleos de un buen número de estructuras regionales y locales que guardan dicha orientación (Álvarez y Bueno, 1994).

Hacia la base la Formación Paja se compone de capas de lodolitas fisiles negras calcáreas de 20 cm de espesor, con nódulos calcáreos, intercaladas con capas medias de margas, color gris oscuro y geometría tabular. Hacia el techo de esta unidad se observan capas muy gruesas de lodolitas fisiles negras y tonalidades rojizas por efecto de la meteorización de minerales de hierro, las cuales presentan láminas de yeso paralelas a la laminación y rellenando pequeñas fracturas, intercaladas con capas de margas de hasta 30 cm de espesor. En la parte superior hay nódulos ferruginosos, concreciones calcáreas y fósiles de bivalvos, moldes de amonitas y erizos de mar.

El contacto entre la Formación Paja y la infrayacente Formación Rosablanca (Kir) es neto y concordante, como se observa en las figura 11a y 11b. Aunque dentro de la zona de estudio no fue evidenciado dicho contacto.

### **Formación Tablazo (Kit o K1t)**

Unidad litoestratigráfica descrita por Wheeler (1958), cuya localidad tipo se encuentra en el sitio Tablazo, en el puente sobre el río Sogamoso de la vía Bucaramanga - San Vicente.

**Figura 11.** Contacto estratigráfico entre la infrayacente unidad K1r (o Kir), conformada por calizas, y la unidad K1p (o Kip), eminentemente lutítica: (a) izquierda en el puente Eduardo Santos sobre el río Suárez; (b) derecha, en cantera de calizas de Curití.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

Está conformada por calizas grises a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas (figura 12), en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de areniscas grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas (Reyes, 2013).

**Figura 12.** Aspecto de caliza fosilífera identificada en la sección tipo: micrita gris con restos de braquiópodos reemplazados y fisuras rellenas con calcita blanquecina. Afloramiento sobre el puente el Tablazo, en la vía la Renta-San Vicente de Chucurí.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

Álvarez y Bueno (1994), en la parte urbana de Vélez, propusieron dividir esta formación en 7 unidades (o miembros), hecho que no es concordante con los observado en el presente estudio, dentro de las cuales se mencionan calizas, lodolitas calcáreas, areniscas y cuarzo-areniscas.

El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas poco profundas. Tiene variaciones en el espesor: en la localidad tipo alcanza 186 m; y al norte de Bucaramanga alcanza 277 m (Ward, et al. 1973). En el área de Mesas y Cuestas su mayor espesor es de 374 m; Moreno y Sarmiento (2002; en Reyes, 2013) levantaron la sección estratigráfica en la carretera que del Municipio de Barichara conduce al centro poblado de Guane, que registró un espesor de 360 m; según Royero y Clavijio (2003) tiene una potencia de 240 a 325 m.

La Formación Tablazo corona los altos topográficos y cuchillas montañosas, en muchas ocasiones originando pendientes estructurales (Reyes, 2013). Conforman la cima montañosa occidental de Vélez, expuesta en las veredas los Amarillos y Peñas Blancas, constituyendo además el eje del sinclinal de Vélez y con muy buenos afloramientos en los taludes viales antes del centro poblado de Paloblanco y entre Gaitán y Gualilo.

En los taludes de la vía Landázuri-Barbosa se observa esta unidad, integrada por capas medias a gruesas de areniscas calcáreas gris claras (figura 13 a y b) y calizas masivas, que alternan con capas delgadas de lutitas negras.

**Figura 13.** Aspecto en afloramiento de la unidad Kit: a) Izquierda, vista de talud rocoso sujeto a desprendimiento, (Km 47 de la ruta 60); b) derecha, intercalaciones de capas degadas a gruesas de calizas micríticas y lutitas.



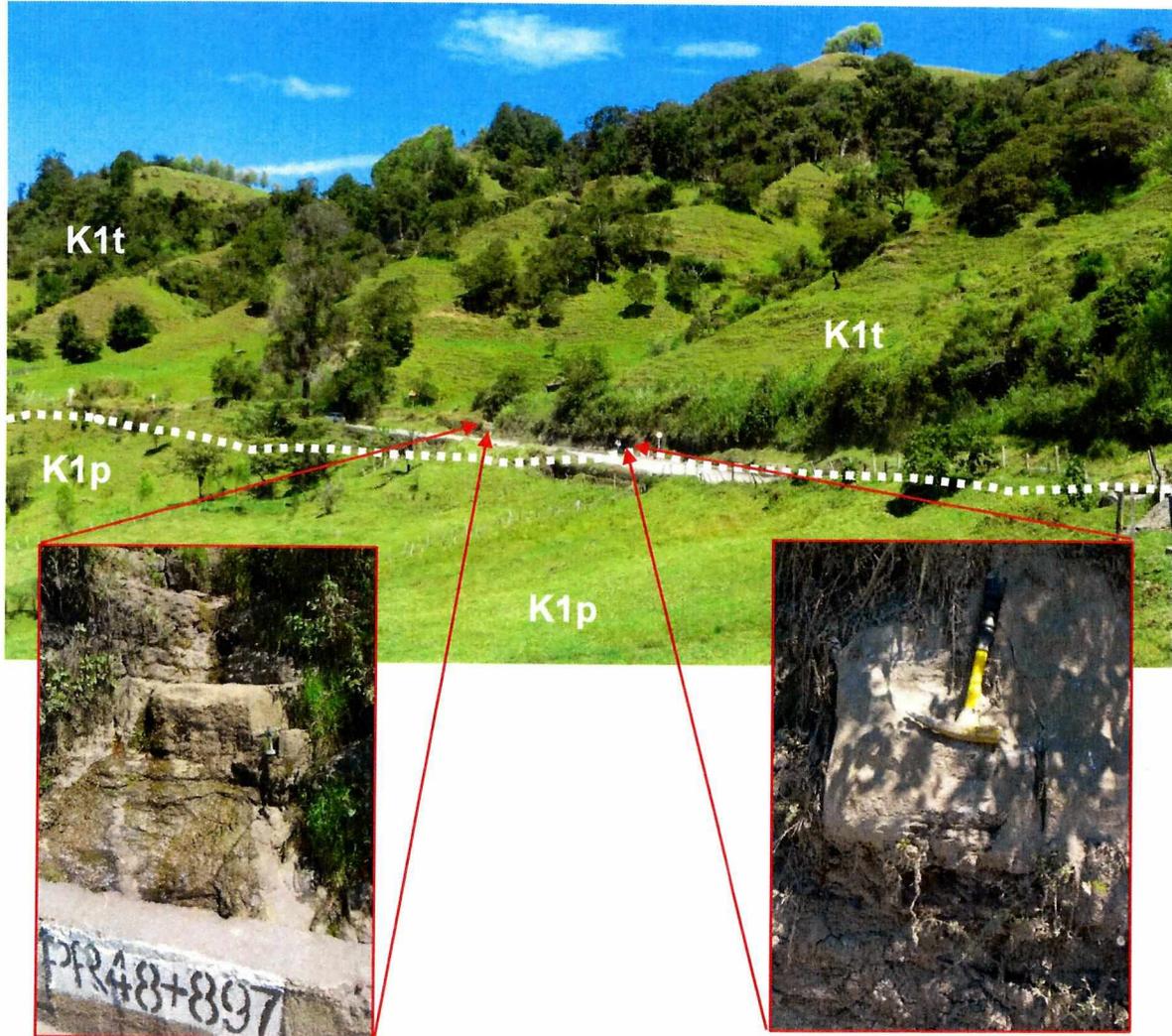
Fuente: Registro Fotográfico de campo

Igualmente, el contacto entre las unidades Kip (K1p o infrayacente) y Kit (K1t o suprayacente) es concordante y neto: está definido claramente por las terminación de las lutitas gris oscuras de la unidad Kip y el inicio de calizas (en capas de color meteorizado pardo-amarillento y fresco gris claro), en un estrato muy grueso, que luego se intercalan con sets delgados de lutitas negras y calizas en capas progresivamente de mayor espesor, relacionadas a la unidad Kit.

El contacto neto se puede observar claramente entre las abscisas K48+897 (en donde hay una alcantarilla, en donde ya aparecen las calizas) y el PR49 (en donde terminan las lutitas), de las Formaciones Tablazo y Paja, respectivamente. También, el contraste de duros y blandos (figura 13b) evidencia tal discontinuidad estratigráfica en el cambio de pendientes en el relieve de este sector.

Este contraste de niveles blandos (lutitas de la Formación Paja, K1p) y de duros (calizas de la Formación Tablazo, K1t) origina taludes de corte más altos, escarpes y filos rocosos en varios sectores rurales de Vélez, como se aprecia en la figura 14.

**Figura 14.** Contacto neto entre la Formación Paja (K1p) y la Formación Tablazo (K1t), sobre la vía de Vélez a Paloblanco. El contraste de relieve, entre blandos abajo y duros arriba, es evidente y responde al cambio litológico de lutitas a calizas, respectivamente.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

**Figura 15.** Taludes de corte que coinciden con la estratificación de la Formación Tablazo (K1t), inmediaciones del Km18+330, con la vía hacia Cimitarra a la derecha.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

### **Formación Simití (Kis o K1s)**

En el techo está compuesta principalmente por areniscas de grano fino, ligeramente lodosas, de color gris y violáceo, bien compactas, bien calibradas y moderadamente cementadas, de estructura masiva y geometría tabular en capas gruesas y muy gruesas, hasta de 1.5 m de espesor. En estas capas se presentan huellas de fragmentos de bivalvos (figura 16); intercaladas con areniscas de grano medio, lodosas, de color amarillo a blanco, se observan colores rojizos por la intensa meteorización de la roca, en capas medias y gruesas de geometría tabular; capas de lodolitas arenosas de color gris claro, micáceas; y capas de arcillolitas arenosas, de color gris a violáceo, micáceas. Se presentan costras de hierro en las superficies de las capas y rellenando fracturas (Morales, 2010).

En la parte media de la Formación Simití, capas gruesas de lodolitas fisiles de color gris oscuro, de hasta 1 m de espesor, intercaladas con lodolitas arenosas, de color gris a violáceo y algunas capas medias tabulares de areniscas, de grano muy fino, de color crema, con espesores máximos de 20 cm. Hacia la base la Formación Simití está compuesta por capas gruesas tabulares de areniscas de grano fino ligeramente lodosas de color crema a blanco, de hasta 80 cm de espesor, intercaladas con areniscas de grano muy fino calcáreas, de color crema oscuro, seguida de una sucesión de capas medias y gruesas, tabulares, de arenisca de grano fino, de color violáceo a gris, intercalados con lodolitas arenosas, ligeramente fisiles, de color gris (Morales, 2010).

**Figura 16.** Areniscas calcáreas fosilíferas de la unidad K1s (geoestación 50), vereda Gualilo.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

Aflora en las siguientes veredas de Vélez: San Ignacio, San Pedro, Tagual, La Soledad, Altamira, Limoncito, Mantellina Baja, Recreo, Mantellina Alta, Palma, La Esperanza, Santa Rosa, Gualillo, Cuba, Salandas, Helida, Gaital. Consta de areniscas de grano muy fino a medio (figura 17), en matriz limosa amarillenta, y limolitas arcillosas, grises, amarillentas a beige, caoliníticas y untuosas al tacto, con la laminación plano-paralela continua, meteorizadas y diaclasadas, en capas muy gruesas. Por la presencia de areniscas cementadas pueden originar pendientes estructurales (figura 18), sobre las cuales se denudan las lutitas.

**Figura 17.** Areniscas de la parte superior de la Formación Simití. Vda. el Limoncito, río Quiratá.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

**Figura 18.** Talud de corte vial afectado por deslizamiento traslacional, en rocas de K1s. Vda. el Recreo, inventariado como el MM33 (ver sección 6.11).



Fuente: Registro Fotográfico de campo

### **Formación La Luna (K1s o K2l)**

Royero y Clavijo (2001) mencionan que fue descrita por Garner (en JULIVERT, et al., 1968) y el nombre procede de la quebrada La Luna al NW de Perijá, Zulia (Venezuela).

En Colombia fue introducido el término por geólogos de la Caribbean Petroleum Company. La unidad está constituida por calizas gris oscuras, arcillosas, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas, lutitas gris oscuras con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro y también capas fosfáticas hacia la parte superior.

En el Valle Medio del Magdalena y la Cordillera Oriental la Formación La Luna se subdivide en tres miembros: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galemo.

Esta formación aflora en el municipio de Vélez en las veredas: Altamira, La Soledad, Mantenilla Alta, Mantenilla Baja, Recreo, San Ignacio, San Pedro, Tagual, constituyendo cuchillas alargadas y topes de cerros. En la vereda El Limoncito (figura 19) consta de lilitas negras a pardas, silíceas y consolidadas, en capas delgadas y fracturadas en "panelitas", intercaladas con lutitas grises, que son susceptibles a inestabilidades.

**Figura 19.** Recebera de liditas de la Formación La Luna, miembro Galembó, Vda. el Limoncito.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

El ambiente de depositación es marino de aguas relativamente poco profundas, con poca ventilación en el fondo. El espesor varía entre 275 y 575 m.

***Formación Umir (Ksu o K2u)***

La Formación Umir fue observada en inmediaciones de Alto Jordán y es evidente al norte del territorio municipal de Vélez, gracias a la cartografía oficial del Ingeominas. Se define por una secuencia litoestratigráfica lodosa muy potente, integrada por limolitas a limolitas arcillosas grises a pardas, laminadas y fisibles (es decir lutíticas), blandas a poco consolidadas, lo cual otorga superficialmente un carácter deleznable y una plasticidad baja a moderada, de contenido variable de materia orgánica, que se intercalan con niveles de limolitas y areniscas de grano muy fino pardas a verdosas, con laminación plano-paralela, duras y de menor espesor, exceptuando la parte alta en donde tienen mayor dominancia sobre las lutitas, y ocasionalmente con capas delgadas de siderita (figura 20).

**Figura 20.** Detalle de lutitas grises, masivas y friables, de la Formación Umir, intercaladas con capas delgadas de siderita, parda y de comportamiento frágil. Parte central municipal.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

**Grupo Real (Tmr o Ngr)**

El nombre Real Series o Formación Real (Tmr) fue usado por primera vez por O. C. Wheeler (1935; en Hubach, 1957) en un Informe inédito, por los afloramientos que se encuentran en Bandera Real, una estación de triangulación situada al norte del Río Opón a unos dos kilómetros al occidente de la Quebrada Real.

Wheeler divide el Real Series en cinco formaciones, de base a techo:

- Lluvia (30 m de conglomerados y 500 m de arenisca conglomerática masivas y cruciestratificadas, con shales grises manchados de rojo y capas delgadas de arenisca gris con ondulitas).
- Chontorales Shale (1300 m de shales grises y manchados de rojo, con capas delgadas de arenisca gris con estratificación cruzada y ripple marks).
- Hiel (1100 m de arenisca que tienen menor cantidad de fragmentos de carbón que la arenisca inferior; troncos silicificados y carbonizados son comunes).

- Enrejado Shale (500 m de shales manchados de colores gris, rojo, púrpura y pardo, en alternancia con areniscas blancas, friables y delgadas).
- Bagre (areniscas frecuentemente conglomeráticas de color verde azulado y azul, con estratificación cruzada, abundante madera carbonizada y hojas, algunas con grandes cantidades de augita y hornblenda).

De acuerdo a Morales et al. (1958) asignan un espesor total de 4054 m.

Esta unidad no fue recorrida en campo, pero si identificada a partir de información secundaria del Ingeominas, por lo cual no hay registro fotográfico

**Depósitos del Cuaternario.** Hay dos tipos de depósitos sedimentarios del periodo Cuaternario, como se presenta en el Mapa Geológico de las siguientes páginas.

**Depósitos Coluviales (Qco).** En general están representado por depósitos sedimentarios matriz soportados, en espesores desde 3.5 hasta 6 m, integrados por gravas heterométricas con tamaños predominantes desde guijo hasta bloque ( $\varnothing \geq 4.5$  cm), angulares, de baja esfericidad y mal seleccionados, compuestos de areniscas duras, embebidos en una matriz areno-granulosa poco consolidada, de color anaranjado y blanda, moderadamente meteorizada.

Tienen poca manifestación areal, dada la escala de trabajo, por lo cual solamente se cartografió un coluvión importante en el sector suroccidental rural de Vélez.

**Depósitos Aluviales (Qal).** Los depósitos sedimentarios de origen aluvial (Qal), activos y de mayor volumen, están asociados a los ríos y quebradas más importantes que surcan el suelo rural de Vélez; es decir, los cauces mayores y dinámicos de tal territorio.

Contienen gravas heterométricas (figura 21), con tamaños hasta bloque, compuestas típicamente por rocas sedimentarias (diámetros de 1.5 m), y arenas y lodos en distintas proporciones, conformando barras laterales, centrales y algunas islas.

**Figura 21.** Depósito sedimentario fluvial (Qal) asociado al río Quiratá, que fluye hacia el fondo.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

Por su parte también hay acumulaciones sedimentarias que tienen pequeña distribución e insignificante espesor, en su mayoría asociados a pequeños drenajes con aguas efímeras a intermitentes, tributarios de las corrientes mayores antes citadas. No están cartografiados por dicha razón; poseen patrones de afloramiento alargado y paralelo al canal que los transporta, y están conformados por gravas heterométricas de calizas y areniscas calcáreas más duras, y en menor proporción de bloques lodosos consolidados, o acompañados de arenas finas y limos.

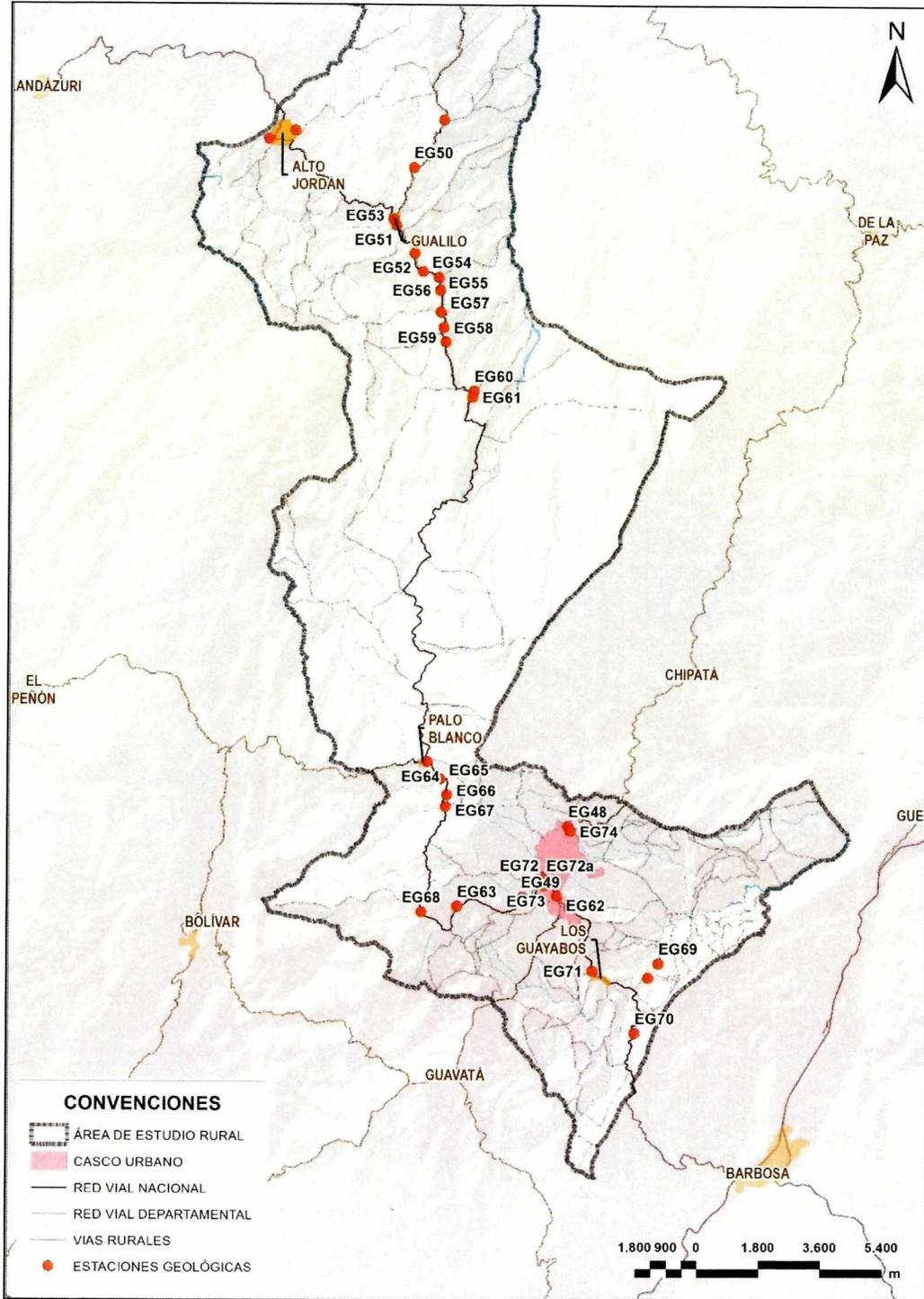
Esta unidad Qal puede cubrir, en forma discordante y muy puntualmente, a las formaciones litoestratigráficas antes mencionadas, en el fondo de valles o cauces rocosos.

### **5.2.1. Geoestaciones y Mapa Geológico Rural**

Se efectuaron en total 33 estaciones de campo a nivel rural del municipio de Vélez, las cuales se muestran en la figura 22. En ellas se identificaron las unidades litológicas, se levantaron puntualmente columnas estratigráficas y se efectuaron muestreos y registros fotográficos.

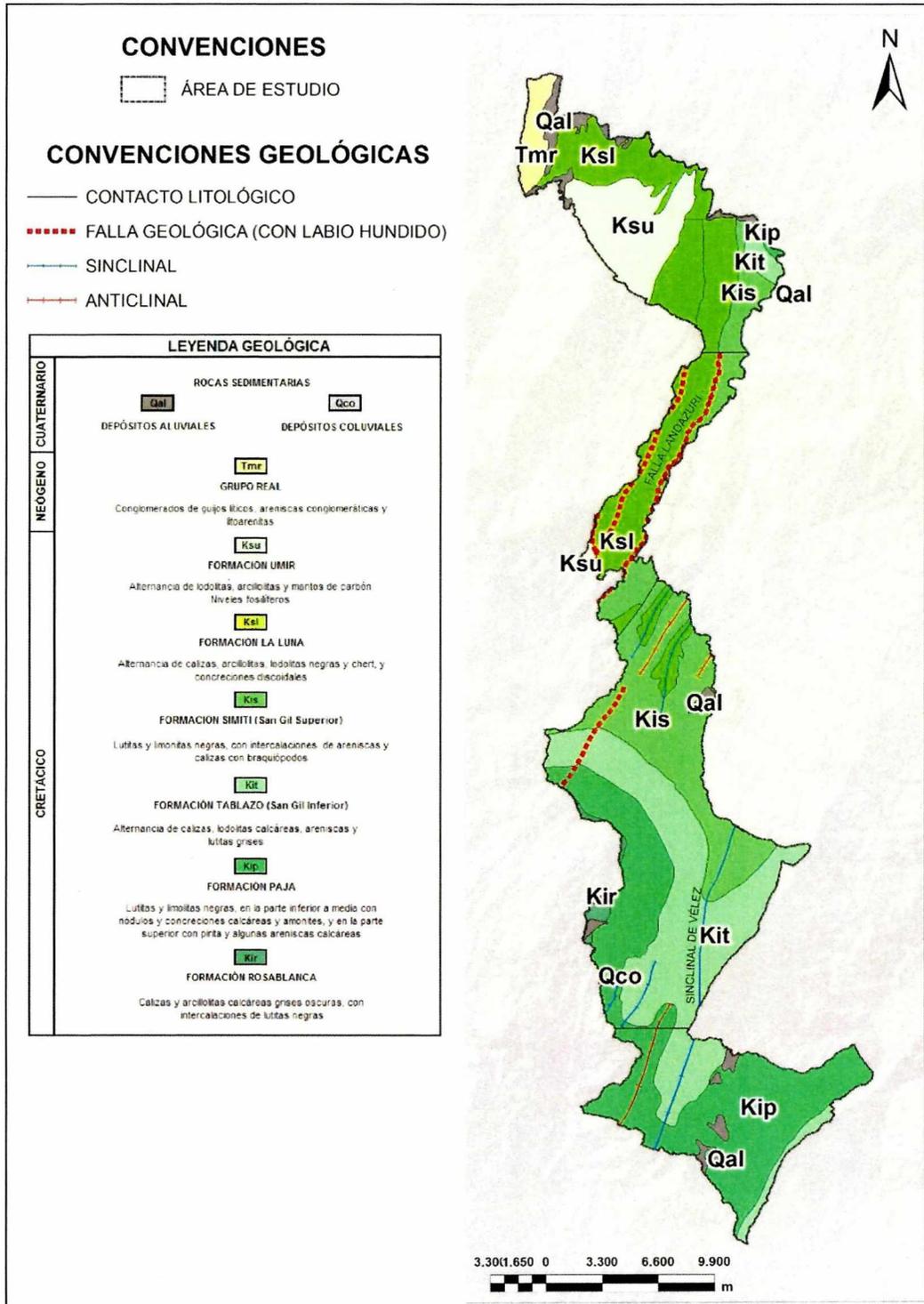
Con base en todo lo anterior se generó el mapa geológico rural, editado a escala 1:25.000, mostrado en la figura 23.

Figura 22. Mapa con la ubicación de las estaciones geológicas efectuadas a nivel rural en el municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 23.** Mapa geológico del área rural del municipio de Vélez (Plano R-04).



Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.2. Estructuras geológicas regionales

Específicamente en inmediaciones de Vélez al parecer no se presentan fallas geológicas, de acuerdo a la información secundaria y a las evaluaciones superficiales llevadas a cabo, aunque falta la integración de resultados e interpretaciones de las exploraciones geofísicas y geotécnicas, aunque si hay control estructural relacionado a plegamientos (figura 24), en consecuencia al estilo compresivo de los Andes del Norte. Se exceptúa el sistema de fallas del río Suárez (SFRSU), que pasa muy cerca a Barbosa, y que por su importancia se describen como sigue.

### 5.2.3. Sistema de fallas del Río Suárez

Según Reyes y Álvarez (2007) el sistema FRSU se extiende por una longitud de unos 170 km desde Barbosa, al sur, hasta el Sistema de Fallas de Bucaramanga, 5 km al norte de la capital santandereana. Su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y de Oro (al norte).

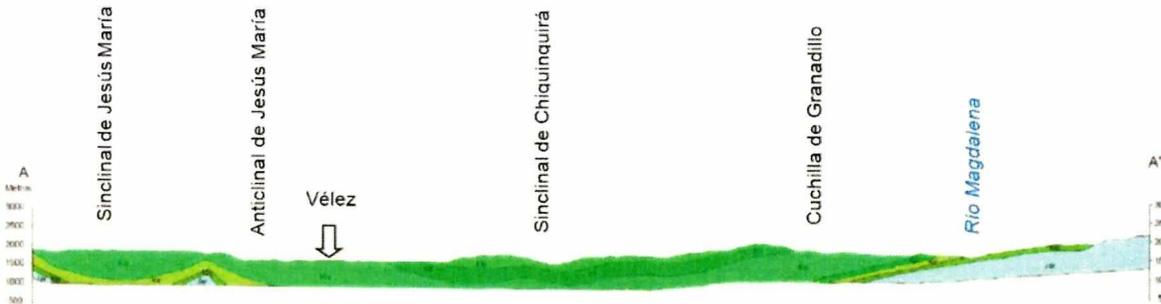
Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante (Reyes y Álvarez, 2007). París y Sarria (1988; en Royero y Clavijo, 2001) calculan la tasa de movimiento como baja (0.01 a 0.1 mm/año); además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral (Reyes y Alvarez, 2007).

El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2300 m (Ward et al., 1973; en Royero y Clavijo).

### 5.2.4. Sinclinal y anticlinal de Vélez

Según INGEOMINAS (1984) a nivel geoestructural el municipio está flanqueado al oriente y al occidente por los ejes de dos pliegues importantes: la parte occidental urbana pertenece al flanco oriental del sinclinal de Vélez, en una zona que alcanza las mayores elevaciones topográficas, en donde también está el casco urbano de Guavatá; y la parte más más oriental y baja de estos municipios se localizan sobre el flanco occidental y el eje del anticlinal de Vélez, definido por la divergencia de datos de estratificación de campo y fotogeológicos, pero cuya línea de eje no está cartografiada pero si aparece el nombre de la estructura en la plancha 170 Vélez, conforme se observa en la anterior figura 8.

**Figura 24.** Corte geológico adaptado de la Plancha 170 Vélez.



Fuente: Modificado de INGEOMINAS (1984)

### 5.2.5. Fallas rurales

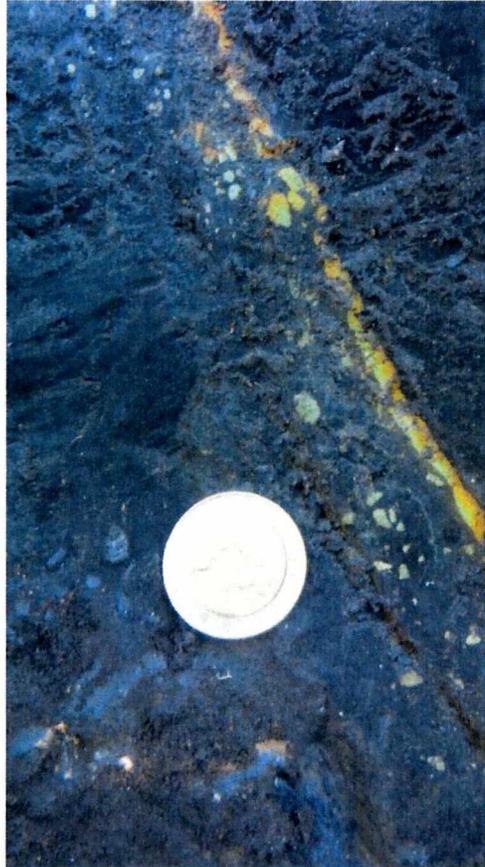
En el área rural de Vélez se encontró una falla normal (figura 25) localizada en la vereda Monte Oscuro, en la geoestación EG65, anexo III 1.3. Está afectando a la Formación Paja; su rumbo es de S210°W buzando 86°NW. Tiene un espesor de 50cm de milonita, con clastos angulares y subangulares blanquecinos, amarillos y verdosos, en matriz arcillosa (figura 26).

**Figura 25.** Falla Normal localizada en el área rural del municipio de Vélez.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

**Figura 26.** Detalle de milonita asociada a falla normal.



Fuente: Registro Fotográfico de campo

### 5.2.6. Petrografía Rural

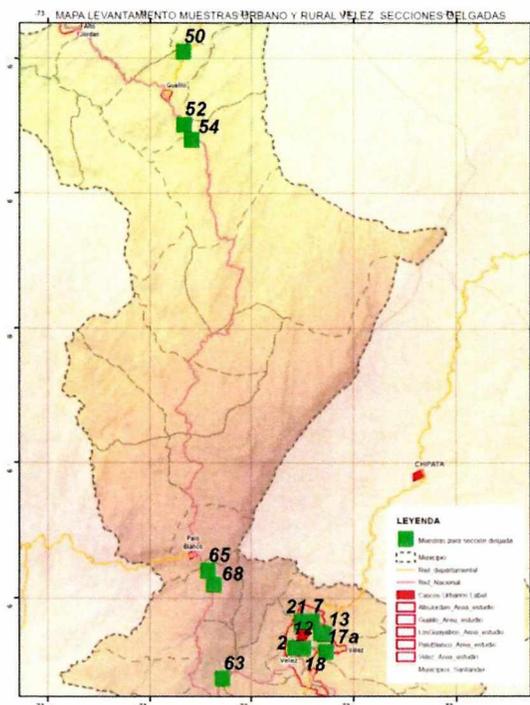
Dentro de los alcances del estudio geológico también se realizó la descripción de 13 secciones delgadas, como ya se mencionó en el Volumen IIA, dentro de ellas 5 del área rural de Vélez (ver tabla 3). La ubicación espacial de las muestras se indica en la figura 27.

**Tabla 3. Muestras analizadas.**

MUESTRAS LEVANTADAS		
Número estación	Formación superficial	COLUMNA
2	Qal/Kip2	Col. 1
7	SR/Kip2	Col. 3
12	Qc/SR/Kip	Col.4
13	SR/Kip	Col.5
17a	Qc/Kip1	Col.8
18	Qal/Kip2	Col.9
21	Kip3	Col.11
50	Kis	
52	Kit	
54	Kit	
63	Kip	
65	Kis	
68	Kit	

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 27. Localización muestras analizadas.**



Fuente: Elaboración propia

### 5.3. DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

A continuación se describen las formaciones superficiales, conocidas por algunas instituciones como unidades geológicas superficiales (UGS) o unidades geológicas para ingeniería (UGI), identificadas dentro del área rural del municipio de Vélez (ver tabla 4), con algunas descripciones, registro fotográfico y la tabla del factor litológico (Li) asignado.

**Tabla 4.** Formaciones superficiales identificadas en el área rural del municipio de Vélez, con sus atributos y el factor litológico (Li) asignado.

Formación Superficial	Competencia	Geoestructuras	Meteorización-erosión	Disolución-carts	Valor Li
Terrenos urbanos antropizados (Tua)	Variable	No	Si	No	1
Llenos antrópicos (Llen)	Poco a moderadamente consolidados	No	Si	No	5
Depósitos de canales aluviales (Cal)	Inconsolidados	No	Si	No	5
Depósitos coluviales (Col)	Poco consolidados	No	Si	No	5
Rocas del Grupo Real (Rgr)	Predominio de rocas blandas	Capas medias a gruesas; diaclasamiento bajo	Si	No	4
Rocas de la Formación Umir (Rfu)	Predominio de rocas blandas	Laminación y capas muy delgadas a medias; diaclasamiento medio	Si	Si	3
Rocas de la Formación La Luna (Rfl)	Alternancia de rocas blandas y duras muy fracturadas	Capas delgadas; diaclasamiento alto	Si	Si	4
Rocas de la Formación Simití (Rfs)	Predominio de rocas blandas	Laminación y capas delgadas; diaclasamiento bajo	Si	Si	3
Rocas de la Formación Tablazo (Rft)	Predominio de rocas duras, con blandas inestables	Capas delgadas a muy gruesas; diaclasamiento medio	Si	Si	4
Rocas de la Formación Paja (Rfp)	Predominio de rocas blandas	Laminación y capas delgadas; diaclasamiento bajo	Si	Si	3
Rocas de la Formación Rosablanca (Rfr)	Alternancia de rocas duras y blandas	Capas delgadas a gruesas; diaclasamiento medio	Si	Si	2

Fuente: Elaboración Propia

Para el área rural del municipio de Vélez se identificaron once (11) formaciones superficiales.

Dada la escala de trabajo (1:25.000) y la información básica adquirida de campo (en puntos de control, moderadamente representativas) no se pudieron determinar todos los espesores, por lo cual se modificaron aquí los criterios de ponderación utilizados anteriormente, permaneciendo solo las geoestructuras y la meteorización-erosión hídrica, adicionando la competencia litológica y los fenómenos de disolución-carst, los cuales se presentan en la tabla 4, con el valor litológico asignado.

En la figura 28 se muestra un ejemplo de formación superficial rural, correspondiente a llenos (Llen), identificada en inmediaciones de Paloblanco, a la cual se asignó un factor litológico de 5.

**Figura 28.** Formación superficial (Llen), identificada en inmediaciones de Paloblanco.



Fuente: Registro fotográfico de campo.

La cartografía de tales formaciones superficiales se generó a escala 1:25.000 (figura 29).

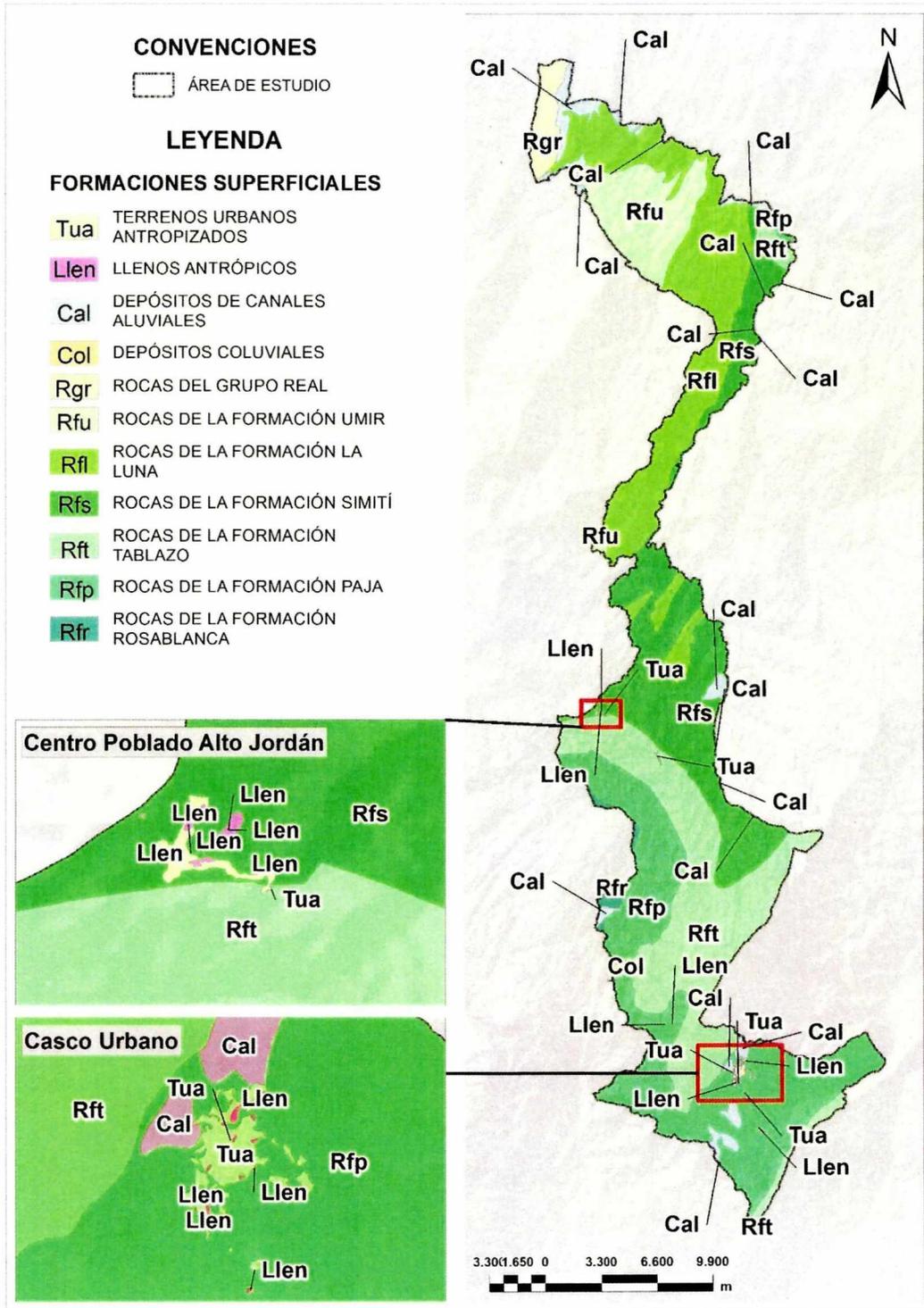
En la figura 30 se presenta el mapa de susceptibilidad geológica (plano R-06), según los valores asignados en la tabla 4 y los modelos analizados en ArcGIS.

Las áreas definidas como TUA, para la escala de trabajo, son puntuales y poco reconocibles: corresponden a las zonas calificadas con susceptibilidad litológica muy baja, de color verde claro, debido a su poco patrón de afloramiento. Se ubican en las áreas urbanas de Vélez, Paloblanco, Gualido y Alto Jordán. Están relacionadas a las superficies duras del urbanismo (vías, andenes, parques, así como cubiertas y manpostería de construcciones), las cuales evitan la infiltración, la humedad natural, la meteorización de rocas y suelos, con la disminución en las tasas de erosión hídrica laminar.

En general, se observa que Vélez tiene susceptibilidad litológica baja a media, de colores cartográficos verde claro y amarillo en forma respectiva, expuestas en forma dominante en el sector sur municipal. Le sigue en preponderancia la susceptibilidad alta, de color anaranjado y con distribución exclusiva desde el centro hacia el norte del territorio municipal.

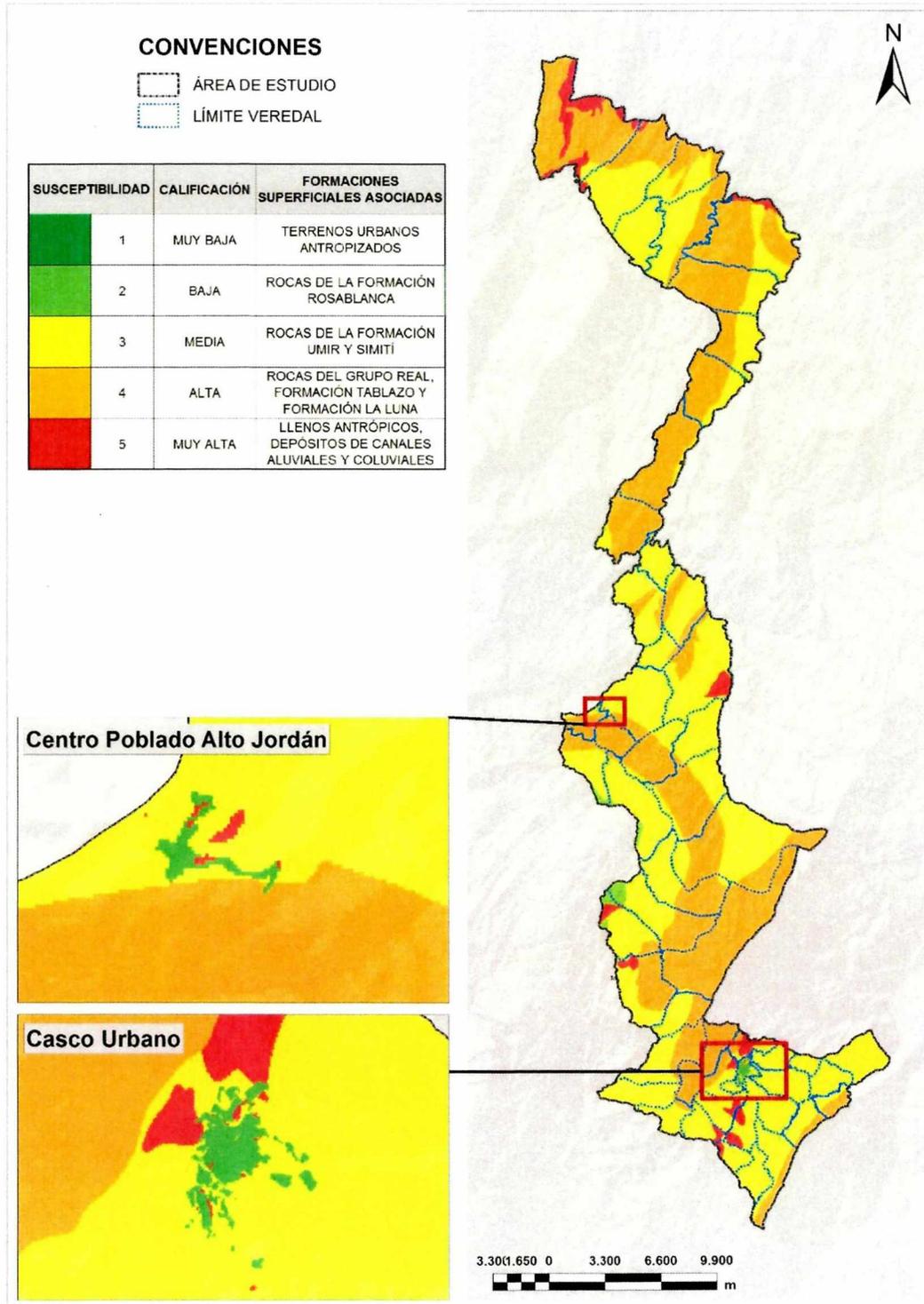
Por su parte la susceptibilidad por factor litológico que tiene calificación muy alta está señalada en el mapa con achurado de color rojo; se asocian a los llenos o rellenos antrópicos (de poca extensión y ampliados en la cartografía) y los depósitos sedimentarios (inconsolidados) del Cuaternario, tanto aluviales como coluviales, que merecen ser evaluados mediante trabajos geológicos más detallados, y diferenciando los activos de los inactivos.

Figura 29. Mapa de formaciones superficiales del área rural del municipio de Vélez (Plano R-05).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 30. Mapa de susceptibilidad litológica del área rural del Municipio de Vélez (Plano R-06).



Fuente: Elaboración Propia

## 6. GEOMORFOLOGÍA

En el presente capítulo se presenta el estudio geomorfológico elaborado para la totalidad del área municipal de Vélez, con énfasis en su contexto rural, habiéndose elaborado el mapa geomorfológico respectivo utilizando cartografía a escala 1: 25.000, basado en la interpretación de fotografías aéreas de los años 1982, 1993 y 2003 a escala 1: 42000 – 1: 45.000, con las respectivas comprobaciones de campo de tipo general realizadas a finales del año 2014 y principios del 2015.

El léxico utilizado se basa en los conceptos sobre Geomorfología Estructural y Climática de los profesores Cailleux y Tricart, de la escuela Francesa de Estrasburgo. Para su desarrollo se han seguido los lineamientos indicados en la propuesta técnica.

### 6.1. LOCALIZACION GENERAL DEL MUNICIPIO DE VELEZ

El área rural de este municipio es una larga faja territorial de aproximadamente 69 kilómetros de longitud en línea recta, irregularmente angosta, de dirección general sur - norte. Comienza al sur en terrenos de las cuencas hidrográficas de las quebradas El Ropero y Cenizas, tributarias del río Suárez, sistemas hidrográficos que tienen sus nacimientos en el extremo suroriental de la Serranía Vélez – La Paz que son los terrenos más altos de este municipio.

El área municipal se dirige hacia el norte siguiendo vertientes que drenan tanto hacia el norte en dirección del río Quiratá afluente importante del río Opón y hacia el sur, en dirección del río Negro y quebrada Aguamiel tributarios del río Carare, los cuales, a la altura de Jordán Bajo, difluyen o se alejan entre sí ante el obstáculo que presenta el tren estructural de otra serranía paralela a la anterior a la que acá se le da el nombre de Armas.

El territorio municipal prosigue hacia el norte, limitado hacia su costado nororiental por el río Quiratá (que sirve de límite municipal con el municipio de La Paz) en largo trayecto rectilíneo hacia el norte donde tributa en el río Opón que también viene del oriente y que ahora sirve de límite con el municipio de Simacota; este río y consecuentemente el límite municipal prosiguen hacia el noroccidente, donde continúan rectilíneos, cruzando transversalmente el tren estructural de la serranía de Armas hasta la confluencia con el río Blanco, donde en terrenos de la vereda Puerto Rico nuevamente este es forzado a dirigirse hacia el NE por circunstancias geológicas estructurales, lugar donde termina la jurisdicción del municipio de Vélez, en su extremo norte.

## 6.2. ASPECTOS TOPOGRÁFICOS

En general, los terrenos del municipio de Vélez, son de condiciones altamente montañosas.

Tomando como referencia la serranía de Vélez – La Paz, que recorre de sur a norte los terrenos más altos del área rural de este municipio y que llega hasta altitudes por encima de los 2600 metros, hacia su costado oriental se tienen laderas muy pendientes que drenan hacia el lineamiento recorrido por las El Ropero y Cenizas, mientras que por su costado oriental son amplias laderas menos pendientes que las anteriores, conformando un extenso sector de llanos inclinados con descenso hacia el sector de la Hélida, seguido de otro territorio en ligero descenso pero muy disectado, el cual se extiende hasta el alineamiento que determina el río Quiratá, prosiguiendo hacia el norte en condiciones de abrupta topografía surcada de ramales y subramales montañosos de dirección preferencial hacia el nororiente, terrenos que drenan hacia el río Quiratá, quebrada Negra de Armas y río Blanco, que conforman la serranía de Armas, direccionando cursos de agua que finalmente confluyen en el río Opón.

## 6.3. CONTEXTO GEOMORFOLOGICO GENERAL

A grandes rasgos, en el departamento de Santander se identifican dos grandes contextos geomorfológicos, la Cordillera Oriental de características altamente montañosas y al occidente el Valle del Magdalena Medio santandereano.

En la Cordillera oriental se pueden distinguir, de Oriente a Occidente, tres grandes regiones geomorfológicas que recorren el departamento de sur a norte: el macizo de Santander que alcanza las mayores altitudes, la región de mesas y mesetas ocupando altitudes medias en la parte central del departamento y las serranías occidentales de Santander, entre ellas la Serranía de los Cobardes con su prolongación sur de la Serranía de Vélez - La Paz y más al occidente y a menor altitud la acá llamada Serranía de Armas.

Superficialmente estas grandes geoformas están afectadas por los procesos de meteorización y formación de suelos, tanto de los llamados residuales (subsuelo) como los superficiales de interés edafológico inadivibles por la vegetación, incluidos los procesos de erosión y destrucción del relieve, función de los mecanismos tectónicos y climáticos a que están sometidos.

## 6.4. TAXONOMIA DE LAS GEOFORMAS PRESENTES EN EL AREA DE ESTUDIO

### 6.4.1. Conjuntos morfoestructurales

Los terrenos bajo la jurisdicción del municipio Vélez, se encuentran ubicados al sur del departamento de Santander en terrenos de la región de mesas y mesetas santandereanas y serranías occidentales del departamento.

En la primera de estas regiones aflora una cobertura mesozoica constituida por rocas sedimentarias, estratificadas, que por levantamiento tectónico acompañado de importantes plegamientos se manifiestan en el relieve en forma de sucesión de anticlinales y sinclinales, mostrando toda una individualización de grandes geoformas propias de estos contextos.

Ellas son las mesas y mesetas cuando la estratificación de esa cobertura es aproximadamente horizontal y de cuestras cuando la estratificación ha quedado suficientemente inclinada.

En el caso particular del territorio bajo la jurisdicción del municipio de Vélez, este se le encuentra ocupando terrenos del costado occidental de la región de mesas y mesetas santandereanas, cuyo límite municipal sur corresponde al borde o filo del frente de la Cuesta Puente Nacional – Barbosa – Guepsa, larga estructura que se levanta hacia el noroccidente a continuación de la cual, hacia el noroccidente se encuentra la elevación de la parte norte de la serranía Vélez – La Paz que iría entre el lineamiento El Ropero – Q. Cenizas y el lineamiento Sevilla - río Quiratá.

Más al norte se encuentran los terrenos montañosos del tren estructural de la Serranía de Armas, a altitudes hacia los 1400 – 1500 metros sobre el nivel del mar de altitud y a continuación de este, un pequeño territorio ubicado hacia los 400 de altitud perteneciente al valle del Magdalena medio, al occidente del río Blanco, terrenos donde se localiza la vereda Puerto Rico.

Lo anterior, permite identificar, en la jurisdicción del municipio de Vélez, la presencia de tres conjuntos morfoestructurales:

- La Cuesta Puente Nacional – Barbosa – Guepsa.
- La serranía Vélez – La Paz.
- La serranía de Armas.

#### **6.4.1.1. Cuesta Puente Nacional – Barbosa – Guepsa**

En el caso del área rural del municipio de Vélez, su límite sur coincide con los bordes occidentales de una larga estructura en cuesta, que en sentido sur – norte se extiende entre Puente Nacional, Barbosa y Guepsa, con frente de cuesta con caída hacia el lineamiento de las quebradas El Ropero y Cenizas y en el que a la altura del municipio de Vélez se ubican las Veredas San Pablo, San Vicente Alto y Peña Blanca, componente occidental de la citada macroforma que de oriente a occidente se levanta desde el alineamiento recorrido por el río Suárez.

Los cauces principales de las cuencas de las quebradas El Ropero y Las Cenizas que limitan la cuesta por el pié de dicho frente de cuesta, drenan o fluyen en dirección contraria u opuesta; el Ropero hacia el norte y Las Cenizas hacia el sur, separadas en sus respectivas cabeceras por la divisoria de aguas a modo de alta pared o arco estructural por cuyo tope pasa la vía Vélez – Barbosa, a la altura del lugar que se conoce como Los Guayabos. Al sur de esta divisoria de aguas continúa el frente de cuesta (Vereda Aco y Peña Blanca) de características similares a las descritas para la cuenca de la quebrada El Ropero.

#### **6.4.1.2. Serranía Vélez – La Paz**

Corresponde al cuerpo montañoso entre el alineamiento quebrada El Ropero – quebrada Las Cenizas al sur y el lineamiento Sevilla – Río Quiratá al norte, que coincide con el límite municipal con el municipio de La Paz. Es disimétrica con un largo frente con caída hacia el primero de los alineamientos citados y con estratificación larga y tendida hacia el norte que termina por disectarse con drenaje hacia el río Quiratá y levantada en dirección contraria (suroccidental), donde hacia este costado termina abruptamente en un muy alto escarpe escalonado irregularmente hacia el cauce del Río negro.

El borde de este muy alto escarpe, sirve de divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Carare y Opón y de cabeceras de tributarios importantes de la quebrada Quiratá.

La serranía termina en abrupto corte topográfico en su extremo sur, drenado por corrientes de agua que se dirigen hacia territorio en jurisdicción del municipio de Bolívar.

#### **6.4.1.3. Serranía de armas**

En el extremo norte de la jurisdicción del municipio de Vélez, donde se ubica aproximadamente el 50% de su territorio, se identifica otro amplio contexto geomorfológico de diferentes características topográficas y estructurales, delimitada al nororiente primero por el río Quiratá y luego hacia el norte por el río Opón, al que se le da el nombre de serranía de Armas, que se caracteriza por la aparición de rocas terciarias gruesamente estratificadas, con bancos, estratos o niveles levantados hacia el occidente, a partir de una estructura sinclinal en jurisdicción del municipio de Landázuri, de la que quedan como remanentes unos farallones residuales a modo de meseta, que vistos en imagen google se les interpreta como un sinclinal colgado.

Esta serranía está limitada al oriente por el lineamiento Sevilla - río Quiratá y al occidente por el valle del Magdalena medio santandereano.

## 6.4.2. PAISAJES

El siguiente nivel geomorfológico identificado corresponde a la noción de paisaje. Por paisaje geomorfológico se entiende la porción de la superficie terrestre en la que se presenta una repetición de tipos de relieve o por una asociación de tipos de relieve similares que han afrontado procesos morfogenéticos específicos como pueden ser tectónicos, disección, plegamientos, procesos erosivos, etc, bajo similares condiciones de clima. Los paisajes o parte de estos, identificados dentro de la jurisdicción del municipio de Vélez, se indican en la tabla 5.

### 6.4.2.1. Valle de Vélez

En el Valle de Vélez, de oriente a occidente se diferencian tres paisajes.

**Frente de cuesta de Peñas Blancas – Los Guayabos - Aco.** El costado occidental del Valle de Vélez está limitado por este frente de cuesta, que tiene la particularidad de estar dispuesto en angostos escalones aproximadamente horizontales de cortos escarpes entre uno y otro, cada uno de los cuales corresponde a un estrato rocoso en particular de modo que en conjunto da lugar al Escalonamiento estructural de Peñas Blancas, el cual se prolonga como frente de cuesta hacia Guepsa al norte y Puente Nacional al sur (figura 31).

Allí se ubican las veredas San Pablo, San Vicente, Aco y Peña Blanca.

En la figura 31 se aprecia a la derecha, la estructura en forma de cuesta, con su frente levantado mirando hacia el occidente. Se destaca la mayor anchura de su escalón superior en toda su longitud.

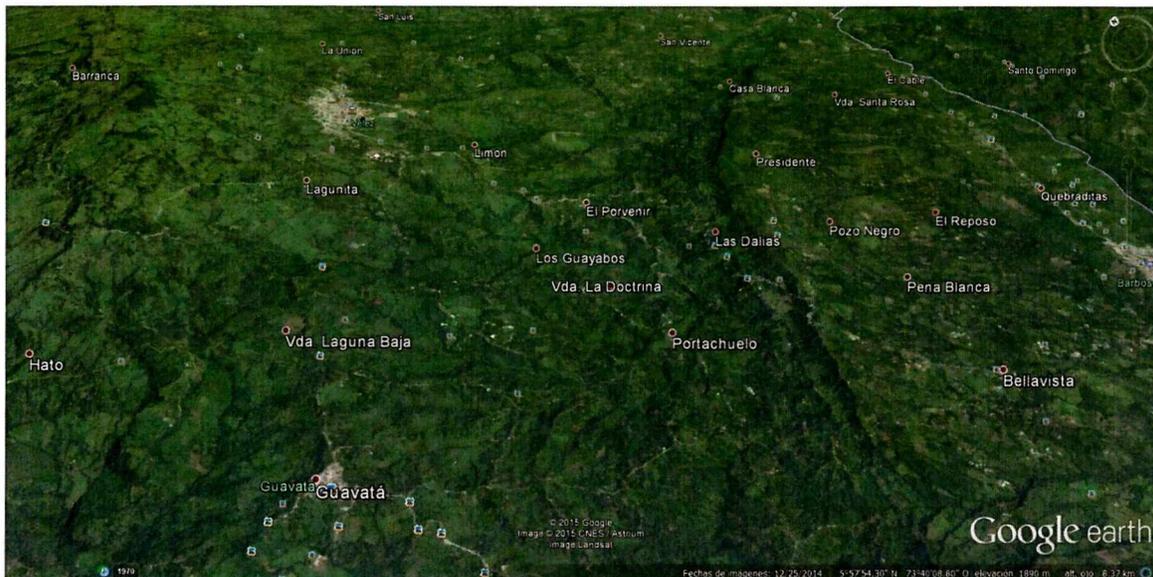
La línea de filos corresponde al límite entre los municipios de Vélez, cuya cabecera se observa al fondo y el municipio de Barbosa en la parte derecha de la imagen. Del frente de cuesta emergen plaquetas estructurales en dirección de Vélez y Guavatá.

**Valle Loma Alta – Los Guayabos – Aco.** Hacia el occidente del lineamiento de las quebradas El Ropero – Cenizas y en lo que corresponde al tercio inferior de las vertientes orientales de la serranía Vélez – Chipatá – La Paz y con caída hacia este lineamiento, en esa misma dirección hay, de norte a sur, una sucesión de amplias laderas de caras rectilíneas suavemente inclinadas con caída hacia el oriente interpretadas como superficies estructurales que emergen y guardan continuidad con la estratificación de la base del frente de cuesta donde se ubican las veredas San Pablo, San Vicente Alto y Peña Blanca delimitadas por altos escarpes también rectilíneos. Son amplias plaquetas estructurales que sobresalen en el relieve, existiendo desniveles entre unos y otras, siendo la más notoria la de la vereda Loma Alta.

Están separadas por amplias y profundas disecciones ocasionadas por la profundización y desarrollo hidrológico de las quebradas que drenan este territorio (ver figura 31). Allí se ubican las veredas El Ropero, Loma Alta, Los Ejidos, El Limón, La Capolla, Doctrina Portachuelo.

A la altura de la vereda Los guayabos, en lo que es el arco que sirve de divisoria de aguas entre la microcuenca de la quebrada El Ropero y Las Cenizas, también se trata de terrenos que emergen de la base de la citada disposición estructural, emersiones que se van volviendo más extensas hacia el sur, al punto que el casco urbano de Guavatá parece estar sobre estos terrenos.

**Figura 31.** Vista del frente de cuesta Peñas Blancas – Los Guayabos – Aco.



Fuente: Google Earth

**Frente escalonado oriental de Vélez.** Se ubica en los dos tercios superiores de la Serranía Vélez – Chipatá – La Paz, donde hacia su parte media alta se localiza el casco urbano de Vélez (ver figura 32); se tienen largas vertientes de mediana pendiente que a su vez se constituyen en parte de las cabeceras de la quebrada El Ropero, drenadas por las quebradas Las Flores y Palenque – La Lajita que tienen sus nacimientos en el tope de esta parte de la Serranía y donde las geformas mayores son amplios escalones o macroescalones, con discontinuidades topográficas por el accionar erosivo de las quebradas principales que lo drenan (Palenque y Las Flores).

En la figura 32, se observa, al fondo, la Serranía Vélez – La Paz y las vertientes del costado oriental donde se ubica el área urbana de Vélez que se le observa al fondo. Horizontalmente y con el color verde claro de los usos en potreros, se observa la secuencia de los macroescalones topográficos.

**Figura 32.** Vista de la Serranía Vélez- La Paz (al fondo) y de las vertientes del costado oriental.



Fuente: Registro fotográfico de campo

#### 6.4.2.2. Extremo sur de la Serranía Vélez – La Paz

Hacia el sur, la Serranía Vélez – La Paz termina en una amplia concavidad, bastante escarpada con características de escarpe inclinada e irregularmente escalonado hacia el suroccidente entre altos y continuos escarpes de paredes rectilíneas de altura creciente o decreciente en el sentido inclinado del escalonamiento. Los escalones están en potreros y menormente en cultivos y los escarpes con vegetación nativa tipo rastrojo alto a bosque secundario bajo. Por su parte alta pasa la carretera a Vélez – Landázuri, con terrenos que drenan hacia la cuenca del río Ture. Esta carretera está expuesta a procesos de remoción en masa hacia su parte alta, especialmente en el tramo ubicado en el amplio entrante del relieve antes de Palo blanco, viniendo desde Vélez (ver figura 37).

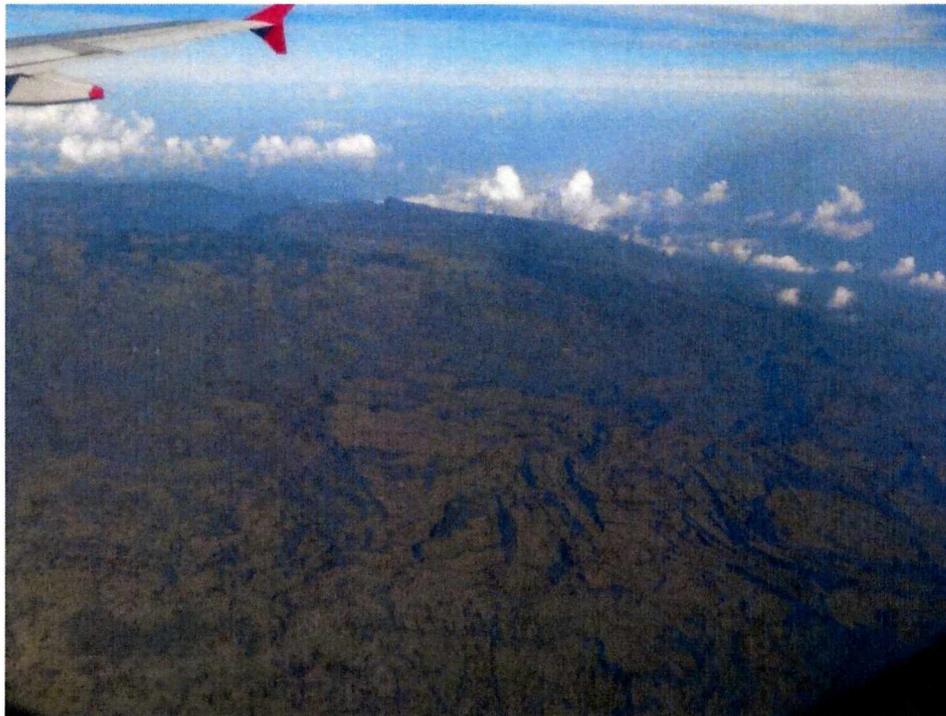
#### 6.4.2.3. Laderas noroccidentales de la Serranía Vélez – La Paz

Comprende los paisajes que se identifican a continuación, ubicados hacia el costado noroccidental de la serranía de La Paz, continuidad sur de la Serranía de Los Yariguíes o de los Cobardes, a la que se le da valor anticlinal.

**Meseta inclinada y escalonada Palo Blanco - La Héliida.** En primer lugar se destaca la Meseta inclinada y escalonada Palo Blanco – La Héliida, que se extiende desde el tope de la Serranía ubicado por encima de los 2500 metros de altitud, con caída hacia el noroccidente hasta donde terminan los llanos de la vereda La Héliida. Se compone de amplios planos estructurales inclinados levantados hacia el suroriente y occidente que las gentes conocen como llanadas, separadas por escarpes de 10 -15 metros de altura, por cuyo pié descienden las quebradas más importantes de su sistema de drenaje (figura 3). Allí se ubican las veredas Gaital, Salandas, Llanadas, Visinia y la Héliida.

En la figura 33 se aprecia la vista aérea de la meseta inclinada y escalonada Palo Blanco – La Héliida, con estratificación ligeramente levantada hacia el sur y con presencia de cortos escarpes verticales entre anchos y alargados escalones estructurales. Al fondo y parte alta del domo hacia el cual levanta la estratificación, el municipio del Peñón. Una posible falla geológica separa el domo de la meseta inclinada.

**Figura 33.** Vista aérea de la meseta inclinada y escalonada Palo Blanco – La Héliida.



Fuente: Vista aérea



**Meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán.** Se extiende entre el río Quiratá al oriente y el largo y longitudinal filo que la delimita por el costado suroccidental por el que pasa la vía Vélez – Landázuri, entre la Héliida y Sevilla. Hemos considerado, que lo que anteriormente fue continuidad de la Meseta Palo Blanco – La Héliida hacia el noroccidente, a consecuencia de la tectónica regional, la cobertura respectiva fue disectada, dando lugar a una topografía de sucesión de microcuencas entre digitaciones dispuestas en espinazos estructurales ascendentes de orientación nororiente – suroccidente, que parten tanto de la quebrada Quiratá como de la quebrada Amarilla en dirección del borde suroccidental que la delimita por este costado (ver figura 38).

**Escalonamiento estructural con caída hacia el Rio Negro.** Corresponde a las altas vertientes del costado suroccidental de la meseta disectada Gualilo – Alto Jordán, fuertemente inclinadas y superficialmente disectadas con caída hacia el río Negro (tributario del río Horta a su vez tributario del río Carare), donde se tienen vertientes dispuestas en escalinata de cortas gradas, algunas levantadas pero en general en diferentes posiciones con respecto a la horizontal y sin un arreglo tipificable, las cuales hacia el norte (en dirección de Landázuri), se van volviendo cada vez más amplias y distanciadas entre sí, entre amplias concavidades verticales, por mayor desarrollo hidrológico de la cuenca del río Horta en este sector más bajo de esta unidad hidrológica. En términos generales es un escarpe irregularmente escalonado (ver figura 39).

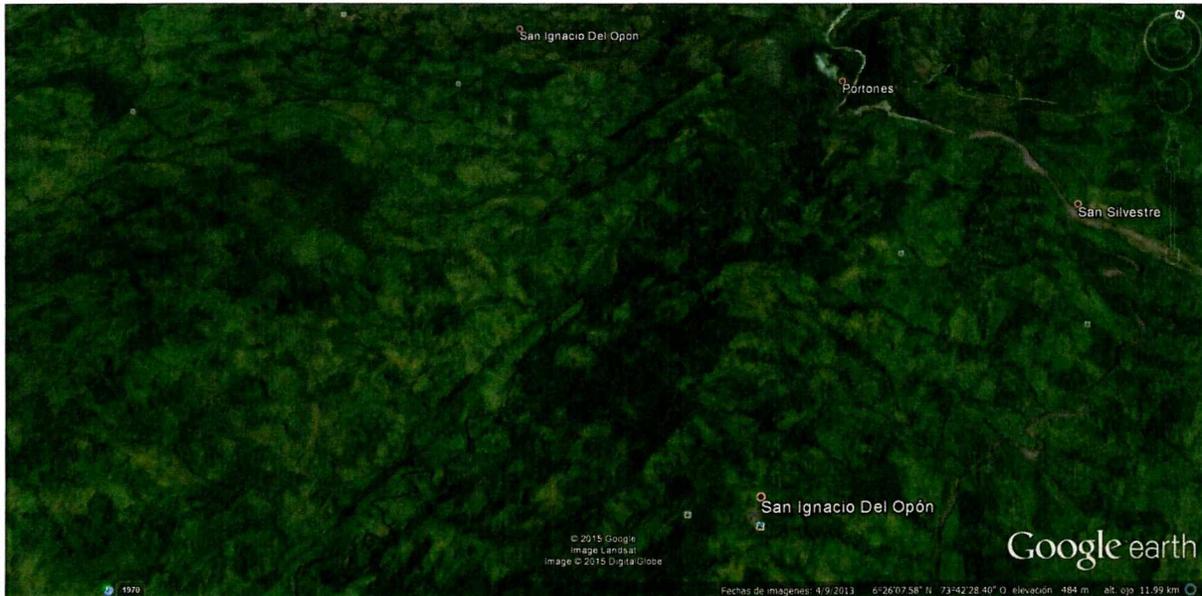
**Emersiones estructurales Rio Negro – Q. Aguamiel.** A su vez, el cauce del río Negro delimita hacia el oriente, el pié de un largo y alto espaldón estructural levantado hacia el sur (hacia el domo del Peñón) y consecuentemente de laderas rectilíneas, muy disectadas superficialmente, cuya línea de filos sirve de divisoria de aguas de la quebrada La Miel hacia la que cae frente estructural meteorizado (ver figura 40). En conjunto, es un espaldón estructural deteriorado por procesos tectónicos y meteorización y por consiguiente se trata de una estructura muy antigua.

**6.4.2.4. Serranía de Armas**

Se tomó como lugar de referencia, el Cerro de Armas, Landázuri, Santander, al que se le interpreta como un sinclinal colgado del que parten pliegues levantados hacia la derecha (oriente) e izquierda (occidente) del mismo. Esta serranía parece tener continuidad hacia el norte, hacia la serranía de La Paz. Se diferenciaron, en jurisdicción del municipio de Vélez, tres paisajes que se describen a continuación.

**Cuerpo estructural oriental de San Ignacio del Opón.** Se compone de un ancho y masivo tren estructural fuertemente levantado hacia el occidente entre el río Quiratá al oriente y Quebrada Negra de Armas al occidente, alcanzando altitudes entre los 1400 a 1500 m.s.n.m. El río Opón limita este cuerpo por el norte, sin mostrar continuidad inmediata más al norte (figura 34). Comprende las veredas La Soledad, Yagual, San Pedro, San Ignacio, Vista Hermosa, La Tablona.

**Figura 34.** Cuerpo estructural oriental de San Ignacio del Opón.



Fuente: Google Earth

**Cuerpo estructural occidental de la serranía de Armas.** Es un cuerpo más ancho que el anterior entre la quebrada Negra de Armas y el río Blanco. La primera procede del costado oriental del sinclinal colgado de Armas y el segundo, del cuerpo principal de este. Esta cuerpo tiene continuidad hacia el norte pero está cortado transversalmente de occidente a oriente por el río Opón (figura 35). Allí se ubican las veredas Quebrada seca (San José), Mirador, Caño bonito y parte de Puerto Rico.

**Sinclinal Vereda Puerto Rico.** Corresponde a terrenos bajos de topografía ondulada entre los 300 a 400 metros de altitud, entre el río Blanco al oriente y el límite municipal al occidente, ya en el valle medio del Magdalena, donde emerge una estructura sinclinal en el sentido sur norte, muy deteriorado superficialmente del que solo se conserva un retazo de su estrato superior en su costado sur. Dicho sinclinal también colgado está delimitado entre cortos escarpes laterales con caída hacia el occidente y hacia el oriente, hacia el río Blanco (figura 36).

En la figura 36, se observa la estructura en forma de batea longitudinal en el sentido sur – norte, levantada entre el río Blanco al oriente y arco estructural al occidente, levantamiento que implica la presencia de escarpes laterales, de baja altura, lo que equivale a podersele considerar como un sinclinal colgado. Superficialmente es de terrenos de topografía ondulada por desmantelado superficial de la estratificación de la estructura original, conservando parte de su cobertura externa más dura a la altura de su tercio sur”, considerada a nivel de la vereda Puerto Rico.

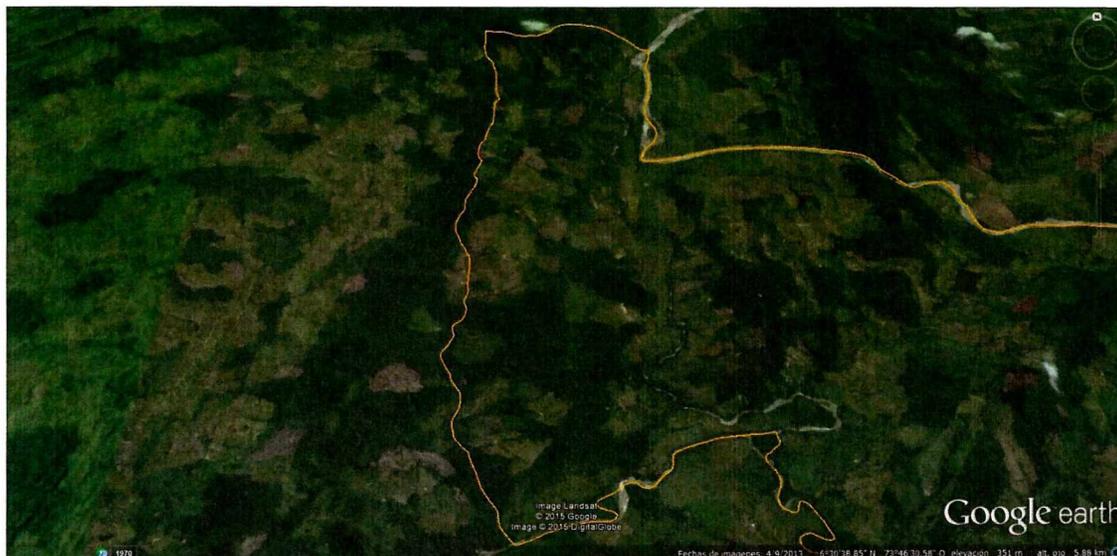
Es una estructura originada en los plegamientos ocurridos en esta parte del territorio santandereano, que ha quedado levantada con respecto a sus terrenos inmediatos y que perdido la mayor parte de su cobertura superficial original por procesos erosivos.

**Figura 35.** Cuerpo estructural occidental de Armas.



Fuente: Google Earth

**Figura 36.** Estructura en forma de batea longitudinal, vereda Puerto Rico.



Fuente: Google Earth

**Tabla 5.** Conjuntos morfoestructurales y paisajes geomorfológicos en jurisdicción del municipio de Vélez.

CONJUNTOS MORFO ESTRUCTURALES	PAISAJES
VALLE DE VÉLEZ	Frente de Cuesta de Peñas Blancas-Guayabos Aco
	Valle Loma Alta – Los Guayabos – Aco
	Frente Escalonado Oriental de Vélez
	Extremo Sur de la Serranía Vélez –La Paz
LADERAS OCCIDENTALES DE LA SERRANÍA VÉLEZ – LA PAZ	Meseta Inclinada Palo Blanco – La Helida
	Meseta Disectada del Gualilo – Alto Jordán
	Escalonamiento Estructural con Caída el Río Negro
	Emersión Estructural Río Negro – Quebrada Agua Miel
SERRANÍA DE ARMAS	Cuerpo Estructural Oriental de San Ignacio del Opón
	Cuerpo Estructural Occidental de Armas
	Sinclinal Vereda Puerto Rico

Fuente: Elaboración Propia

## 6.5. MORFOGRAFÍA Y MORFOGENESIS

La morfografía hace referencia a la forma superficial o geometría de los terrenos de las diferentes geoformas del relieve, función del substrato geológico, modificado por las acciones de orden climático que determinan el tipo de meteorización, implicando el debilitamiento de la superficie de las rocas expuestas al intemperismo climático y la consecuente erosión por acción de la escorrentía e infiltración de las aguas en los primeros horizontes del suelo.

### 6.5.1. VALLE DE VÉLEZ

Se tendrán en cuenta los paisajes citados anteriormente:

**Frente de cuesta de Peñas Blancas – Los Guayabos - Aco.** Al oriente se distingue el escalonamiento estructural de Peñas Blancas, que corresponde al frente de la cuesta Puente Nacional – Barbosa - Guepsa.

Desde el punto de vista morfológico su modelado se debe a la disposición estratigráfica próxima a la horizontal, levantada hacia el occidente.

**Valle Loma Alta – Los Guayabos – Aco.** Morfológicamente se trata de sucesión de extensas plaquetas estructurales, de caras rectilíneas y planas, inclinadas hacia el oriente, delimitadas por bordes rectilíneos de escarpes verticales a inclinados que alcanzan varios metros de altura, separadas unas de otras por valles igualmente de caras planas e inclinadas en la misma dirección.

Corresponde a las eyecciones de la base del escalonamiento estructural de Peñas Blancas, en forma de superficies estructurales que se proyectan en dirección de la parte alta de la serranía Vélez - La Paz, que se ubican en el tercio medio del valle, siendo la más relevante la de la Vereda Loma Alta, que tiene continuidad hacia el norte, hasta terrenos del municipio de Guepsa, estructura que por su costado sur desvía la quebrada Las Flores. En efecto, de la base del escalonamiento estructural de Peña Blanca, salen estas plaquetas estructurales que tienen a ser triangulares con punta dirigiéndose hacia la serranía Vélez – La Paz, donde se enfrenta con los escalones que vienen en sentido contrario. Los bordes de tales plaquetas, que son escarpes altos, son áreas expuestas a procesos de remoción en masa.

A la altura de la vereda Los guayabos, la divisoria de aguas entre la microcuenca de la quebrada El Ropero y Las Cenizas, corresponden a terrenos que también emergen de la citada disposición estructural especie de arco estructural por donde pasa la vía Vélez – Barbosa en el sector de los Guayabos, a modo de alta pared estructural de carácter residual que enmarca hacia el costado sur el amplio entrante donde se ubica el área urbana de Vélez.

El frente de cuesta escalonado ha proyectado su estratificación inferior o del pie de la misma hacia el occidente, al punto de mostrar especie de espaldones estructurales en terrenos al sur del casco urbano de Vélez, drenados por la quebrada Laureles y más al sur extenderse hasta los terrenos de la cabecera municipal de Guavatá, territorio muy disectado o profundizado por las redes de drenaje que confluyen caen en la quebrada Cenizas, obrando en idénticas circunstancias geomorfológicas a la de la quebrada El Ropero. También su red hidrográfica ha erosionado con mayor vigor las vertientes del costado occidental con las quebradas Laureles y Los Negros, terrenos que hacia el extremo sur del área rural de Vélez se tienen terrenos de topografía ondulada, del que emergen cordones longitudinales muy ampliamente circulares paralelos entre sí, a modo de salientes del relieve, separando terrenos ligeramente más bajos lo que en conjunto se le interpreta como una superficie de erosión en la que las citadas líneas emergentes del relieve corresponderían a estratos duros de la secuencia estratigráfica y las franjas intermedias a los terrenos blandos de la misma estratificación.

**Frente escalonado oriental de Vélez.** Se ubica en los dos tercios superiores de las vertientes occidentales del extremo sur de la Serranía Vélez – Chipatá – La Paz, donde hacia su parte media alta se localiza el casco urbano de Vélez, se tienen largas vertientes de mediana pendiente que a su vez se constituyen en parte de las cabeceras de la quebrada El Ropero, drenadas por las quebradas Las Flores y Palenque – La Lajita que tienen sus nacimientos en el tope de esta parte de la Serranía y donde las geoformas mayores son amplios escalones o macroescalones, con discontinuidades topográficas por el accionar de estas las quebradas.

Se identifican cinco amplios escalones aproximadamente horizontales (macroescalones), compuestos por una ancha grada ligeramente inclinada hacia el oriente y un salto o escarpe entre grada y grada; ellas son de modelado rectilíneo. Los contraescarpes de los mismos muestran caras casi verticales, también a tendencia rectilínea. En el cuarto de ellos de arriba abajo se ubica el área urbana de Vélez.

El escalón más alto, situado a la altura de la cota 2450 a la altura del área urbana de Vélez, es de características inclinadas (hacia el oriente) apenas destruido en su parte baja por los procesos erosivos de las quebradas Palenque y Las Flores. Desaparece hacia el sur erosionado por las quebradas que drenan este costado.

El segundo escalón hacia la cota 2300 es relativamente angosto; ha sido destruido parcialmente por la quebrada Palenque; no lo ha sido por la quebrada La Lajita y si en menor medida por la quebrada Las Flores. Sirve de nacimiento de tributarios menores de esta que hacia aguas abajo drenan el barrio la Esperanza alto. Desaparece hacia el sur erosionado por la quebrada Laureles.

El tercer macroescalón (vereda El Amarillo), más ancho, está destruido por el proceso de erosión remontante de las quebradas Palenque, La Lajita y Las Flores, bajo dos modalidades:

- En el caso de las dos primeras, han quedado amplias concavidades; la quebrada la Lajita termina interviniendo su escarpe mientras que el ramal sur de la quebrada Palenque modeló amplia concavidad que hacia aguas arriba erosiona el pié del escalón dos, soportado en estrato calizo cuya cornisa se percibe en la parte alta de la Serranía. La plataforma de este escalón se prolonga hacia el norte donde existe un área topográficamente paraje que se conoce como La Unión.
- En el caso de la quebrada Las Flores, su accionar erosivo ha sido muy activo pero diferente. Consta de un drenaje principal sur rectilíneo y tres afluentes menores rectilíneos, paralelos entre sí, disectando el escarpe del escalón en forma de paredes pendientes desembocando en amplios fondo de valles de modelado en U entre salientes del relieve que desembocan en la plataforma del escalón donde se encuentra la parte principal de la ciudad.

En la plataforma del cuarto macroescalón, se sitúa el casco urbano de Vélez, especie de meseta residual entre las corrientes de agua ya mencionadas, con remanentes hacia el costado norte y menos evidente hacia el costado sur, por profundización de las quebradas Palenque y La Lajita, al punto de considerarse su continuidad con el escalón donde se ha construido el barrio Santa Teresita. Hacia el sur se observan restos de este macroescalón muy destruido por la erosión de las quebradas La Gachita y El Batán.

El quinto macroescalón se extiende entre la quebrada Las Flores al sur y el borde de laderas con caída hacia la quebrada Palenque, con continuidad hacia el sur finalizando en la divisoria de aguas con la cuenca de la quebrada Laureles. Acá se le ha llamado macroescalón del Sena. También parece corresponder a un extremo de plaqueta estructural emergida de la base del frente de cuesta Peñas blanca – Los Guayabos – Aco.

Este escalonamiento de las laderas del costado oriental de la serranía Vélez – La Paz, ha sido erosionado, profundizado y destruido por las redes hidrográficas ya citadas, originando entrantes y salientes del relieve. Incluso ha afectado el contraescarpe del macroescalón donde se encuentra la parte central de Vélez, presentando entrantes de erosión como cabeceras de valles en U que han quedado colgados con respecto al cauce de la quebrada Palenque, por la mayor profundización de esta.

### 6.5.2. EXTREMO SUR DE LA SERRANÍA VÉLEZ – LA PAZ

La Serranía Vélez – La Paz termina hacia el sur en una amplia concavidad, bastante escarpada debido a severos procesos de destrucción del relieve desde su cúspide, por cuya parte alta pasa la carretera a Vélez – Landázuri, con terrenos que drenan hacia la cuenca del río Ture. Los situados en la jurisdicción del municipio de Vélez, lo son en amplios escalones inclinados hacia el sur, como parte del macroescalonamiento compuesto por 3 - 4 amplios escalones mal definidos, desigualmente anchos y longitudinalmente inclinados y muy (carcomidos) por la erosión hacia el suroriente entre altos e irregulares escarpes.

En la figura 37 se aprecia el extremo sur de la serranía Vélez – La Paz y el derruido escalonamiento con drenajes principales en el sentido inclinado de sus escalones.

Figura 37. Extremo sur de la Serranía de Vélez.



Fuente: Google Earth

Este macroescalomiento es el resultado del plegamiento de la cobertura de valor anticlinal de la cúspide de la serranía, con presencia de 2 anchos pliegues anticlinales acompañado de un severo proceso de fracturamiento interno de los terrenos de esta parte de la serranía.

Es un sector donde ha tenido ocurrencia un severo proceso de destrucción del relieve por efectos tanto del levantamiento tectónico de la serranía como de los plegamientos descritos y actualmente en etapa de destrucción por los procesos de disección de la red hidrológica que la drena.

### 6.5.3. LADERAS OCCIDENTALES DE LA SERRANÍA VÉLEZ – LA PAZ

Comprende los paisajes descritos a continuación.

**Meseta inclinada y escalonada de Palo Blanco - La Héliida.** Las geoformas dominantes son los espaldones estructurales, amplias laderas de caras o superficies rectilíneas con caída hacia el occidente. El escalonamiento de esta anchas superficies rectilíneas muestran saltos casi verticales mapeados como escarpes laterales, disectados por valles semiprofundos, con fondos de valle conteniendo depósitos torrenciales arcillosos que obraron como lavas torrenciales, no funcionales actualmente.

Es clara la presencia de algunos estratos superficiales levantados y truncados hacia la parte alta y oriental de la serranía al punto que los extremos de algunos de ellos constituyen escalones casi horizontales, de naturaleza diferente a los escalones que se observan en el costado opuesto de la serranía y que son producto de la estratificación acá existente.

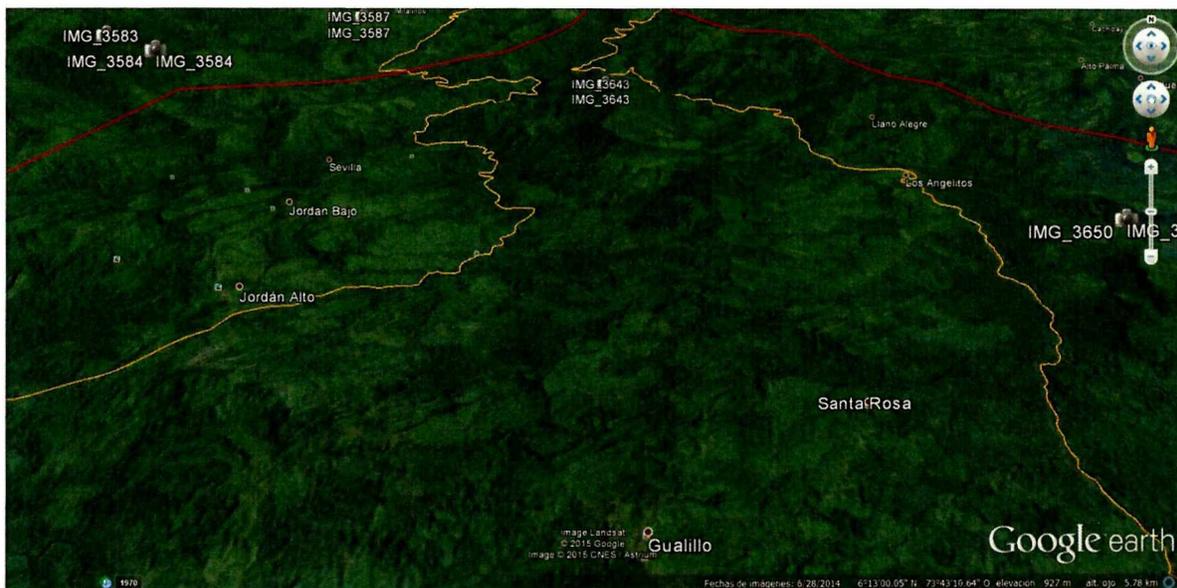
Estos planos inclinados se van insertando en los relieves de los terrenos montañosos más bajos del contexto montañoso noroccidental de la serranía; en su mayoría corresponde a terrenos cuyos suelos residuales son de características arcillosas, con profundidades que oscilan entre los 1 a 3 metros, con tendencia a fluir sobre la lisa superficie de la roca madre que aflora por debajo de dichas profundidades. Superficialmente el micromodelado se observa microondulado (como amontonado), como si ocurriesen procesos de reptación del suelo residual

El origen de esta Geoforma es el correspondiente al mecanismo de las diferentes mesetas del territorio santandereano, como el tratarse de una estructura tabular, en este caso inclinada hacia el noroccidente y disectada en la misma dirección por efectos del levantamiento tectónico sin plegamiento de la cobertura posiblemente de condiciones rígidas de esta, pero con escalonamiento por ascenso diferencial en sentido suroccidente – nororiente.

**Meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán.** Se extiende entre el río Quiratá al oriente y el largo y longitudinal filo que la delimita por el costado occidental por el que pasa la vía Vélez – Landázuri, entre la Héliida y Alto Jordán, con continuidad hacia el norte. Hemos considerado, que lo que anteriormente fue continuidad de la Meseta Palo Blanco – La Héliida, a consecuencia de la tectónica regional, la cobertura respectiva fue disectada, dando lugar a una topografía de sucesión de espinazos estructurales de orientación norte sur, que parten tanto de la quebrada Quiratá como de la quebrada Quirama, en dirección del filo occidental que la delimita por este costado.

Se trata de una región altamente montañosa de laderas muy pendientes hacia cauces muy profundizados en el relieve, ramales montañosos de dirección sur – norte, con predominio de las geformas a dominancia estructural (macroescalones, espinazos estructurales, frentes estructurales) que se alza hacia el suroriente, a continuación de los terrenos terciarios occidentales de estas vertientes drenadas por pequeños y cortos valles que afluyen a otros de mayores dimensiones que finalmente confluyen a los ríos Opón y Carare, tributarios importantes del río Magdalena.

**Figura 38.** Meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán.



Fuente: Google Earth

Las digitaciones montañosas que delimitan las microcuencas que disectan el contexto de la meseta fuertemente disectada Alto Jordán – Gualilo, son cuerpos masivos de laderas fuertemente inclinadas (60%), que rematan en lineales líneas de filos que sirven de divisorias de aguas entre microcuencas vecinas, en descenso regularizado hacia el nororiente, de lomos redondeados por los procesos de meteorización bajo condiciones de clima húmedo tropical.

Las laderas con caída hacia el costado noroccidental son de características rectilíneas, con oblicuas disecciones rectilíneas en la misma dirección del relieve y hacia los cauces de las quebradas, que se reparten paralela y a distancias regulares entre unas y otras, a modo de cóncavas depresiones donde se van formando delgados coluviones superficiales de modelado amontonado (ondulado en el sentido longitudinal de la cañada), que finalmente terminarán por deslizarse siguiendo estos fondos de valle en ladera.

Las laderas del costado opuesto son más masivas siendo menos protuberantes las oblicuas disecciones de estos cuerpos masivos en posición de espinazo estructural.

El origen de lo que anteriormente pudo ser una meseta pueden ser los apretados plegamientos de la cobertura superficial, en forma de cortos y apiñados anticlinales, conforme se ilustran en la imagen de la figura 38, que han fracturado este territorio, con emergencia de ramales montañosos no muy altos, dispuestos en espinazos estructurales, perpendiculares a la dirección de tales plegamientos, existiendo un espinazo estructural central más prominente, que llega hasta el centro poblado del Gualilo.

En la figura 39 se aprecia el escalonamiento estructural arqueado horizontalmente con caída hacia el río Negro. El borde del escalonamiento es seguido por la vía Jordán Alto – Gualilo. Obsérvese la sucesión de anticlinales que en superficie dan lugar a salientes superficiales en forma de espinazos estructurales con caída hacia el río que se observa en el fondo de la imagen (río Quiratá), contexto de mesa muy partida y disectada. Del fondo de valle del río Negro se levanta hacia acá, macroestrato en dirección del domo del Peñón, con frente escarpado con caída hacia la quebrada Aguamiel.

**Figura 39.** Escalonamiento estructural arqueado horizontalmente con caída hacia el río Negro.



Fuente: Google Earth

**Escalonamiento estructural con caída hacia el Río Negro.** En el caso del borde entre Alto Jordán y El Gualilo, podemos diferenciar las vertientes del costado norte y las vertientes del costado sur. En las vertientes del costado norte, se pueden diferenciar o subdividir en las diferentes microcuencas que la vienen disectando (ya descrito a propósito del paisaje anterior), mientras que por su costado sur se tiene un alto (aproximadamente 300 metros) y longitudinal escarpe en el sentido horizontal, por cuyo pie pasa el río Negro y del que en sus casi verticales laderas emergen cortos y masivos escalones, algunos levantados perpendicularmente al escarpe, dispuestos sin un arreglo en particular identificable y que obran como superficies utilizables agrícolamente.

Su origen es el truncamiento de la estratificación por posible emersión o solevantamiento del territorio, teniéndose como más activos los terrenos más al sur que se han elevado en lo que acá se denomina el Domo del Peñón, donde emergen terrenos más antiguos (formación Girón) que los de la cobertura cretácica de la meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán, siendo de advertir la presencia de paquetes estructurales con caída hacia el suroccidente, en los bordes de esta macroforma, por ahora sin explicación posible.

**Emersión estructural Río Negro – Q. Aguamiel.** Es una emersión del pie del alto escarpe con caída hacia el río Negro, que obra como larga y ancha superficie estructural levantada hacia el suroccidente, a modo de espaldón estructural en el mismo sentido del levantamiento del domo del Peñón, cuya superficie plana y pareja ha sido objeto de meteorización profunda, dando lugar a un suelo residual espeso y a la disección a profundización de las redes hidrológicas que la drenan. Es de conformación masiva, con un alto escarpe que la delimita por su costado occidental, con caída hacia el río La Miel.

Su origen es también el truncamiento de la estratificación por posible emersión o solevantamiento del territorio, teniéndose como más activo el domo del Peñón, donde como ya se dijo anteriormente, emergen terrenos más antiguos (formación Girón) que los de la cobertura cretácica de la meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán y los más resistentes de este espaldón estructural.

En la figura 40 se observa la emersión estructural Río Negro – quebrada La Miel, estructura en espaldón estructural recorrida por el río Negro (a la izquierda de la foto) y el pie de su frente escarpado suroccidental por la quebrada Agua Miel (derecha de la foto, que presentan cortos valles de disección, mientras que la cobertura del espaldón muestra la pérdida del estrato superficial hacia su tercio superior por cuyo pie drenan aguas hacia drenajes bastante distanciados unos de otros, con caída hacia el río Negro.

**Figura 40.** Emersión estructural Río Negro – quebrada La Miel.



Fuente: Vista aérea

#### 6.5.4. SERRANÍA DE ARMAS

Dentro de la ya descrita serranía de Armas, se han diferenciado los tres paisajes que se describen a continuación.

**Cuerpo estructural oriental de San Ignacio del Opón.** Se compone de un ancho y masivo tren estructural que se dirige hacia el norte, fuertemente levantado hacia el occidente entre las quebradas Quiratá al oriente, la Quebrada Negra de Armas al occidente y el río Opón al norte. Es un largo y ancho cuerpo masivo levantado hacia el occidente a modo de gruesos paquetes estructurales (gruesos estratos masivos), hasta alcanzar altitudes entre los 1400 a 1500 metros sobre el nivel del mar. Posee largas y altas vertientes a tendencia rectilínea (posible espaldón estructural), con caída hacia el río Quiratá con algunos escalones cortos, angostos y horizontales escalones intermedios. Las vertientes que miran hacia el occidente son escarpes que muestran líneas de estratificación aproximadamente horizontales al oriente y muy onduladas en el sentido horizontal las que tienen caída hacia la quebrada Negra de Armas. Es una extensa e inclinada superficie estructural, meteorizada superficialmente y no muy profundamente disectada por las redes hidrográficas que la drenan.

Tanto la quebrada Quiratá como la negra de Armas poseen escarpes de disección en su proceso de profundización en el relieve, mientras que el río Opón muestra la presencia de terrazas aluviales por su costado izquierdo hacia las márgenes del área rural del municipio de Vélez.

**Cuerpo estructural occidental de la serranía de Armas.** Es un cuerpo más ancho localizado al occidente del anterior entre la quebrada Negra de Armas y el río Blanco. La primera procede del costado oriental del sinclinal colgado de Armas y el segundo, del cuerpo principal de este. Esta cuerpo tiene continuidad estructural hacia el norte pero está cortado de occidente a oriente por el río Opón. Está compuesto por una serie de alargados cuerpos estructurales de filos agudos de dirección general hacia el noreste, paralelos entre sí, dando lugar a vertientes rectilíneas hacia ambos costados, con caída hacia largas y rectilíneas líneas de drenaje que se dirigen hacia el suroccidente donde terminan siendo tributarios de la quebrada Larga, que finalmente tributa al río Blanco y cortos y también rectilíneas líneas de drenaje con caída en sentido contrario hacia el río Opón, en el primer caso configurando una red hidrográfica inversa por algún posible levantamiento tectónico paralela al río Opón y que permite esta contraposición de las líneas de drenaje pues al parecer este drenaje ancestral fluía paralelo entre el tren de laderas longitudinales directamente hacia el río Opón. Hacia el sur hay laderas escalonadas a partir de una estructura sinclinal, que parece ser el extremo norte del sinclinal colgado de Armas. En su parte más occidental posee un valle abandonado que sigue el alineamiento de la falla La Salina.

**Sinclinal Vereda Puerto Rico.** Corresponde a terrenos bajos entre los 300 a 400 metros de altitud, entre el río Blanco al oriente y el límite municipal al occidente, ya en el valle medio del Magdalena. Estructura en forma de batea longitudinal en el sentido sur – norte, levantada entre el río Blanco al oriente y arco estructural al occidente, levantamiento que implica la presencia de escarpes laterales de baja altura, lo que equivale a podersele considerar como un sinclinal colgado. Superficialmente es de terrenos de topografía ondulada por desmantelado superficial de la estratificación de la estructura original, conservando parte de su cobertura externa más dura a la altura de su tercio sur, considerada a nivel de la vereda Puerto Rico. Es una estructura originada en los plegamientos ocurridos en esta parte del territorio santandereano, que ha quedado levantada con respecto a sus terrenos inmediatos y que perdió la mayor parte de su cobertura superficial original por procesos erosivos. Parece ser la parte terminal del sinclinal del Opón (Geología del Cuadrángulo 1 -11 Cimitarra).



### 6.6. PROCESOS MORFODINAMICOS

Como procesos morfodinámicos se tuvieron en cuenta los relativos a la dinámica de las corrientes de agua que han venido destruyendo el relieve, así como a los procesos que actúan en los terrenos o interfluvios que separan los citados cuerpos hídricos, que por el hecho de tratarse de un contexto montañoso, las unidades de análisis al interior de tales espacios interfluviales lo son sus laderas o vertientes. También se consideraron los procesos morfodinámicos de carácter antrópico. Todos estos serán tenidos en cuenta a nivel de los paisajes geomorfológicos anteriormente analizados

#### 6.6.1. PROCESOS MORFODINÁMICOS DE CARÁCTER HIDROLÓGICO

Hacen referencia a los procesos de disección o de profundización de las redes de drenaje, es decir de los principales cursos de agua y tributarios.

##### 6.6.1.1. Valle de Vélez

En el Valle de Vélez, de oriente a occidente se tendrán en cuenta los tres paisajes citados anteriormente.

**Frente de cuesta de Peñas Blancas – Los Guayabos - Aco.** Este graderío estructural no muestra disección en el sentido vertical por parte de alguna corriente de agua en particular. Es objeto de profundización en su base o pie por parte de las quebradas El Ropero y Cenizas.

**Valle Loma Alta – Los Guayabos – Aco.** Este fondo de valle viene siendo profundizado en su costado suroriental o parte más baja del valle por las quebradas El Ropero y Cenizas y en el sentido agua arriba por los quebradas que descienden de la parte alta de la serranía Vélez – La Paz (Las Flores, Palenque, Laureles), que se vienen profundizando linealmente, mostrando cortos y bajos escarpes de disección encajonándose ligeramente en el relieve. Dan lugar a puntos objetos de movimientos de remoción en masa, cuando se sitúan en el borde de algunas de las plaquetas estructurales que emergen de la base de la escalinata estructural Peñas blancas – Los Guayabos – Aco.

**Frente estructural oriental de Vélez.** En el caso de las redes de drenaje de las quebradas que drena este costado de la Serranía Vélez – La Paz, las quebradas Palenque – La Lajita y Miraflores están en proceso de erosión remontante, destruyendo los macroescalones de su parte alta de la Serranía, mediante anchas y amplias concavidades perimetralmente redondeadas, en tanto que la Quebrada Las Flores y sus tributarios han dado lugar a la presencia de un sector de angostos y cortos entrantes y salientes del relieve en la parte de Vélez, con características de escarpes de erosión.

La quebrada Palenque también es responsable de los superficiales valles en U y entrantes de erosión que atacan la meseta de la parte principal del casco urbano, por antiguos procesos de erosión regresiva, mientras que hacia el sur, en los bajos del escalón del barrio Santa Teresita, el graderío estructural intervenido presenta destrucción del relieve, con alta influencia de aguas subsuperficiales (aljibes).

#### 6.6.1.2. Extremo sur de la Serranía Vélez – La Paz

Este graderío estructural no muestra disección en el sentido vertical de alguna corriente de agua en particular. Es objeto de profundización en su base o pié por parte de la quebrada Honda, que parece estar destruyendo el entrante localizado antes de Palo Blanco viniendo de Vélez. Las corrientes que drenan este frente escarpado no lo han profundizado y tienen a fluir siguiendo la posición inclinada de los macroescalones hacia el suroccidente.

#### 6.6.1.3. Laderas noroccidentales de la Serranía Vélez – La Paz

Se tendrán en cuenta los paisajes citados anteriormente.

**Meseta inclinada y escalonada Palo Blanco - La Héliida.** Las principales corrientes de agua que drenan esta meseta, son semiparalelas entre sí, siguiendo los pies de los escarpes que separan las amplias gradas estructurales de la meseta, sin profundización apreciable de sus cauces ni visibles procesos de erosión remontante.

**Meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán.** Las redes hidrográficas se vienen ajustando a las rupturas afrontadas por la cobertura geológica de esta meseta. Los levantamientos aparecen a expensas de los plegamientos con elevaciones en las posiciones anticlinales mientras que las corrientes de agua siguen las concavidades entre estos, dirigiéndose hacia el norte hasta desembocar en el río Quiratá. Hay procesos de erosión regresiva o remontante con presencia de cortos y angostos valles de disección hacia las cabeceras de las microcuencas. Pueden evidenciar levantamientos tectónicos recientes.

**Escalones estructurales con caída hacia el Río Negro.** La base del escalonamiento viene siendo profundizado por el río Negro. El escarpe está siendo disectado por corriente de agua que siguen las juntas de los anticlinales contiguos, con caída perpendicularmente hacia este río. Están en proceso de erosión remontante, afectando las partes más altas del escarpe.

**Emersiones estructurales Río Negro – Q. Aguamiel.** Esta estructura está recorrida por el pie del espaldón nororiental por el río Negro y el pie de su frente escarpado suroccidental por la quebrada Agua Miel, que presentan cortos valles de disección, mientras que la cobertura del espaldón muestra la pérdida del estrato superficial hacia su tercio superior, por cuyo pie drenan aguas hacia drenajes principales bastante distanciados unos de otros, con caída hacia el río Negro.

#### 6.6.1.4. Serranía de Armas

Se tendrán en cuenta los paisajes citados anteriormente.

**Cuerpo estructural oriental de San Ignacio del Opón.** Este cuerpo está drenado por corrientes de agua que poco se han profundizado en el relieve, que fluyen paralelamente y bastante distanciados uno de otro, hacia el oriente en alta caída hacia el río Quiratá y hacia el occidente hacia la quebrada Negra de Armas. Tanto el río como la quebrada, muestran altos escarpes de disección, indicio de proceso de profundización en el relieve.

**Cuerpo estructural occidental de la serranía de Armas.** Presenta penetración por corrientes de agua paralelas entre sí, siguiendo longitudinales valles triangulares en sentido sur norte, con caída hacia el sur de largas y rectilíneas líneas de drenaje que confluyen a corriente principal (quebrada Larga), que impedida de proseguir hacia el norte, por posible levantamiento tectónico paralelo al río Opón, la ha obligado a meandrear por este costado, para finalmente confluir en el río Blanco, existiendo otros cortos y también rectilíneos cursos de agua en sentido contrario afluentes del río Opón. No se les observa procesos de erosión regresiva remontante capaces de hacer cambios importantes en el relieve, pero siendo de destacar, que río Opón, a consecuencia del evento tectónico mencionado, cortó transversalmente el tren estructural que prosigue hacia el norte, configurando una larga garganta estructural, cuyas paredes o escarpes de disección se encuentran en terrenos del municipio de Vélez.

**Sinclinal Vereda Puerto Rico.** Esta batea sinclinal no muestra la presencia de líneas de drenaje de importancia. Por su costado oriental desciende el río Blanco, el cual tiene angosto interfluvio con el río Opón, terrenos de características aluviales, sin procesos importantes de profundización en el relieve.

#### 6.6.2. DINÁMICA DE VERTIENTES

En los interfluvios no intervenidos directamente por el accionar erosivo de las corrientes de agua, son a considerar los procesos de erosión, sea superficial o laminar, sea en forma de movimientos de remoción en masa.

##### 6.6.2.1. Valle de Vélez

En el Valle de Vélez, de oriente a occidente se diferencian tres paisajes.

**Frente de cuesta de Peñas Blancas – Los Guayabos - Aco.** Los escarpes de esta geoforma muestran estar finamente festoneados en el sentido vertical, por posibles caídas de materiales (pequeños movimientos de remoción en masa) hacia el fondo del escalón que parece contener derrubios gravitacionales en su plataforma. Esta situación aparece ser más evidente en el escalón más ancho ubicado en la parte más alta del escalonamiento. Por sus condiciones de topografía muy pendiente, sus suelos superficiales son objeto de erosión severa.

**Valle Loma Alta – Los Guayabos – Aco.** Las amplias superficies inclinadas (espaldones estructurales) están sujeta a erosión laminar ligera. Son suelos estables pero requiere tener cuidados con la composición del suelo en profundidad (malas propiedades geotécnicas del suelo residual) en lo referente a las cimentaciones requeridas de las edificaciones que se construyan. Hay riesgos de procesos de remoción en masa en los taludes o escarpes que los delimitan lateralmente y en especial los escarpes verticales, hasta una distancia de 20 metros de retiro.

**Frente escalonado oriental de Vélez.** Son a considerar diferentes escenarios para las distintas condiciones geomorfológicas allí presentes. Los salientes masivos del relieve son longitudinales cerros de cimas redondeadas modeladas convexamente, dispuestos inclinada y verticalmente en el sentido del relieve, de occidente a oriente a modo de masivas digitaciones. En ellos dominan los procesos erosivos superficiales (erosión laminar ligera).

En el caso de los escalones, los hay angostos y anchos. En los primeros hay buen desarrollo del suelo residual encima del impermeable sustrato lutítico y horizontes orgánicos superficiales, de modo que dada la alta pluviosidad de la zona, los materiales ubicados por encima del sustrato rocoso se comportan como suelos arcillosos, de mal drenaje interno, con malas propiedades geomecánicas y erosión superficial laminar ligera. Desarrolla suelos residuales y horizontes pedológicos arcillosos, de mal drenaje interno, cuyo retiro de hace indispensable para la correcta ubicación de las fundaciones de las construcción que allí se levanten.

Las Laderas de modelado rectilíneo, están bajo la influencia generalizadas de la erosión superficial en forma de microdeslizamientos superficiales y cuando se trata de terrenos aledaños a los cauces, de planares movimientos de remoción en masa. Entran en esta categoría, el sector de angostos y cortos entrantes y salientes del relieve que hemos denominado escarpes de erosión, localizados en la parte alta de la cabecera municipal.

### 6.2.2 Extremo sur de la Serranía Vélez – La Paz

Es un sector donde ha tenido ocurrencia un severo proceso de destrucción del relieve por efectos del levantamiento tectónico de la serranía y actualmente por los procesos de disección de la red hidrológica que la drena. En particular los terrenos de la parte alta están expuestos a procesos de remoción en masa, en el tramo ubicado en el amplio entrante del relieve antes de Palo blanco, viniendo desde Vélez. En los planos inclinados de los escalones se tienen suelos arcillosos susceptibles a procesos de erosión laminar moderada y a movimientos de remoción en masa bajo los escarpes que les sirven de cabeceras.

### 6.6.2.2. Laderas noroccidentales de la Serranía Vélez – La Paz

Se tendrán en cuenta los paisajes citados anteriormente.

**Meseta inclinada y escalonada Palo Blanco - La Héliida.** Las amplias superficies inclinadas (espaldones estructurales) están sujeta a erosión laminar ligera y reptación del suelo residual. Son suelos estables desde el punto de vista de la erosión superficial pero requiere tener cuidados con la composición del suelo en profundidad por sus características de arcillosos, mal drenaje interno y presencia de la roca impermeable a poca profundidad. Son suelos muy propensos a movimientos de masa como se aprecia en la figura 41, en donde se observa el espaldón estructural meteorizado debajo de Palo Blanco, que a pesar de su baja pendiente, al ser objeto de corte para explanación antrópica, ocasionó proceso de remoción en masa.

De acuerdo a lo anterior estos suelos son susceptibles a procesos de remoción en masa en los taludes o escarpes que los delimitan lateralmente, en especial los escarpes verticales y en los taludes de corte de vías y explanaciones antrópicas.

**Figura 41.** Espaldón estructural meteorizado abajo Palo Blanco, que a pesar de su baja pendiente, al ser objeto de corte para explanación antrópica, ocasionó proceso de remoción en masa (MM12, véase sección 6.11).



Fuente: Registro fotográfico de campo

**Meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán.** En cuanto a procesos morfodinámicos en vertientes, los más importantes resultan de la estratificación geológica levantada y su respuesta a los procesos de meteorización superficial y erosión diferencial por disimilitud en materia de resistencia a los procesos erosivos de los estratos que las componen. Las más críticas son las vertientes del costado noroccidental de las digitaciones o ramales montañosos, que muestran más claramente lineamientos inclinados (inclinadamente aristadas) y que en el caso de los estratos más débiles o de rocas blandas están sujetos a movimientos de remoción en masa intercalados entre los lineamientos más duros de dicha disposición estratigráfica. La construcción de edificaciones demanda estudiar su ubicación, evitando los estratos más blandos sea en laderas, sea en las cimas de estas. En algunos casos hay bateas de fondo de comportamiento estable aunque de espesos suelos residuales de malas propiedades geotécnicas.

**Escalonamiento estructural con caída hacia el Río Negro.** Es un sector muy disectado, en proceso acelerado de destrucción, con procesos combinados de erosión superficial y movimiento de remoción en masa en el sinnúmero de escarpes que les sirven de cabeceras, incluido el proceso de erosión remontante que afecta las partes más altas del escarpe, donde se tiene una estratificación más afectada por procesos de destrucción del relieve atribuible a las malas propiedades geotécnicas con respecto a las capas subyacentes.

**Emersión estructural Río Negro – Q. Aguamiel.** Este espaldón muestra muy pocas líneas de disección y sí procesos de erosión superficial de tipo laminar de carácter leve, gracias a la protección que le ofrece la exuberante vegetación que allí puede crecer dadas las condiciones bastante húmedas desde el punto de vista climático. Ha perdido parte de su cobertura geológica en la parte más alta del espaldón, posiblemente por erosión laminar bajo diferentes condiciones climáticas que las actuales.

### 6.6.2.3. Serranía de Armas

Se tendrán en cuenta, los tres paisajes que se describen a continuación.

**Cuerpo estructural oriental de San Ignacio del Opón.** Este cuerpo de características masivas, a pesar de ser de muy alta pendiente, es de condiciones estables y solo muestra muy localizadamente movimientos de remoción en masa. Es objeto de procesos de erosión superficial de tipo laminar moderada, gracias a la protección de la exuberante vegetación natural o plantada que allí puede crecer, por tratarse de una región climáticamente húmeda (bosque muy húmedo Premontano).

**Cuerpo estructural occidental de la serranía de Armas.** En este paisaje dominan los valles triangulares entre largas y rectilíneas vertientes sin mostrar indicios de remoción en masa. Están expuestas a proceso de erosión superficial ligera.

**Sinclinal Vereda Puerto Rico.** Esta batea sinclinal de terrenos superficialmente ondulados no muestra la presencia de líneas de drenaje de importancia, ni procesos de remoción en masa. Estos pueden presentarse en los bordes escarpados que lo delimitan lateralmente.

### 6.6.3. PROCESOS MORFODINÁMICOS DE CARÁCTER ANTRÓPICO

En el municipio de Vélez, a nivel rural intervienen los usos del suelo en los que en su casi totalidad hay participación antrópica. Con propósitos agrícolas y pecuarios se ocupa el 50,2% del territorio, y en forma de vegetación natural altamente intervenida (bosques fragmentados y rastrojos) el 49,4% del mismo y apenas el 0,4% con áreas urbanas y suburbanas.

El uso mayor está representado en pastos que ocupan el 40,6% del territorio, que implica procesos de compactación y erosión superficial acelerada de los suelos pero que en el caso del municipio de Vélez, dadas sus altos niveles de pluviosidad y consecuente rápido crecimiento de la vegetación, se torna de leve a moderada. Mejores condiciones de protección de los suelos contra la vegetación la ofrecen bosques y vegetación secundaria, en general ocupando las posiciones topográficas más difíciles del relieve (escarpes).

La mayor agresividad de los procesos antrópicos responsables de cambios drásticos se concentra en las áreas urbanas donde los más relevantes son las explanaciones antrópicas con propósitos urbanísticos, los botaderos de tierras sobrantes en los bordes viales, los encauzamientos de quebradas y las construcciones a borde de escalones y escalinatas, puntos débiles del relieve. Son acciones antrópicas que fueron analizadas en detalle en los apartes geomorfológicos de las áreas urbanas de Vélez y Alto Jordán.

### 6.7. GEOFORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL

La geomorfología estructural prioriza la influencia de las estructuras geológicas en el desarrollo y evolución del relieve. En los relieves a dominancia estructural, hay predominio de las geoformas dominadas por las estructuras geológicas y sus arreglos de origen tectónico sobre las que también son a considerar las acciones modificatorias debidas al clima. Esa influencia estructural es muy patente en las geoformas dominantes en esta parte del territorio santandereano.

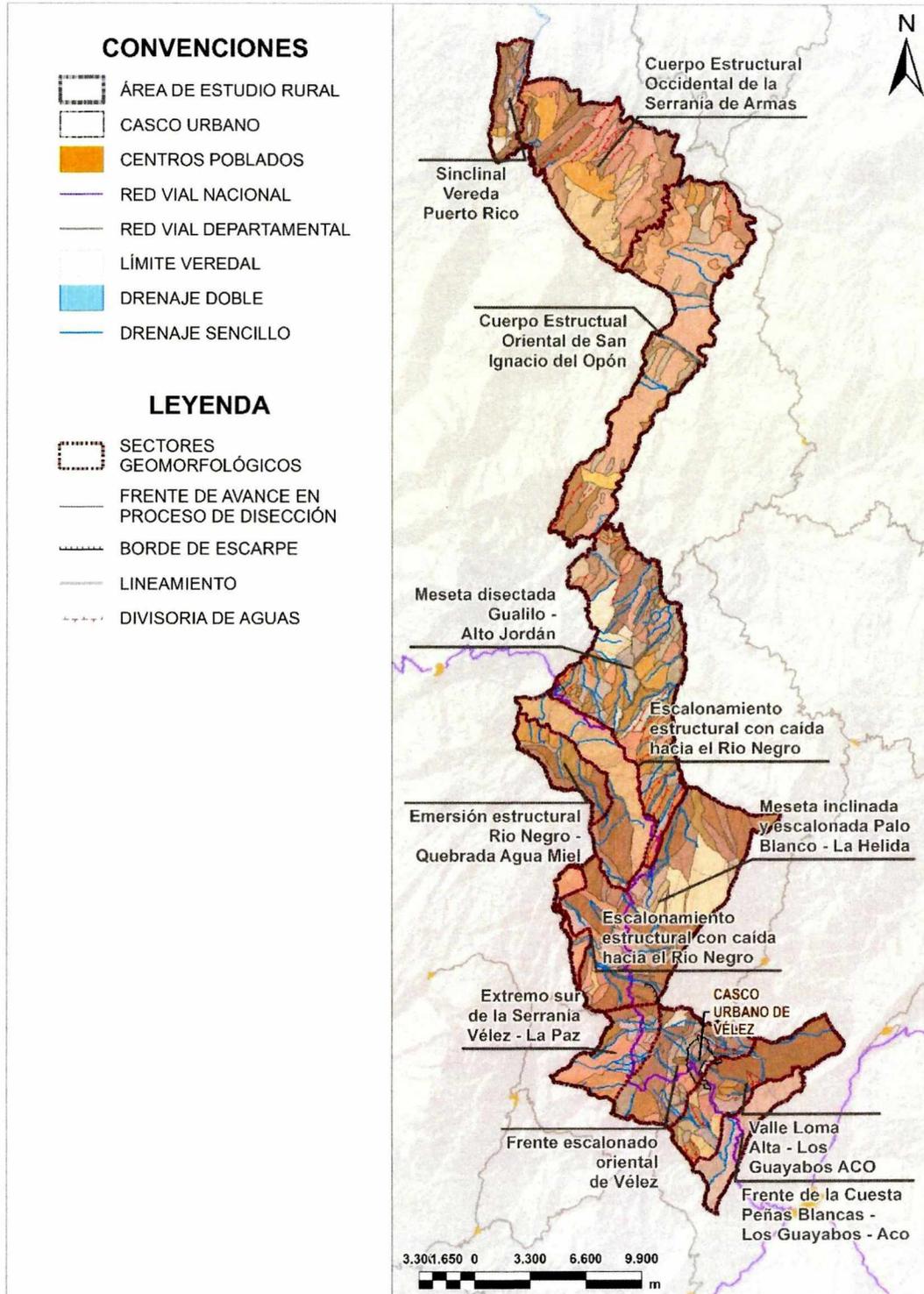
En todos los paisajes analizados aparece como dominante, el componente estructural con la disposición escalonada de varios de ellos, como son el Frente de cuesta de Peñas Blancas – los Guayabos – Aco, el Frente escalonado oriental de Vélez, el macroescalonamiento del extremo sur de la Serranía Vélez – La Paz, la meseta inclinada y disectada Palo Blanco - La Hélida, y el escarpe con escalones estructurales con caída hacia el Río Negro, por razones litológicas y tectónicas.

Las emersiones del valle Loma Alta – Los Guayabos – Aco y Río Negro – Q. Aguamiel, también son paisajes enmarcados en geoformas de origen estructural. La disposición plegada y disectada de la Meseta disectada El Gualilo – Alto Jordán y geoformas de la serranía de Armas, son básicamente estructurales.

No obstante lo anterior, también es de destacar, que estos paisajes geomorfológicos expuestos a la influencia destructiva del clima con su principales mecanismos de meteorización y erosión superficial del substrato geológico, se manifiestan con la formación de un suelo residual en sus primeros 1 a 2 metros de profundidad en todos estos contextos, este accionar destructor no ha alcanzado a borrar la influencia de las estructuras geológicas en el cuerpo de las formas del relieve.

Por lo anterior, puede afirmarse que la mayor parte de las geoformas identificadas tienen una alta influencia estructural que las define con ligera influencia climática o denudacional.

**Figura 42.** Mapa geomorfológico para el área rural del municipio de Vélez (R-07).



Fuente: Elaboración Propia

## 6.8. CALIFICACIÓN PARA LA SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLOGICA

Con el fin de establecer la susceptibilidad a movimientos en masa para las diferentes unidades geomorfológicas identificadas en el área rural del municipio Vélez, se consideraron las formas elementales que las componen y sus características con enfoque en la presencia de suelo residual, horizontes orgánicos superficiales, topografía y amenaza, obteniendo los resultados que aparecen en la tabla 6.

Para la calificación, se utilizaron indicadores de 1 a 5, siendo el valor 5, para los componentes en proceso de desplazamiento o corrimiento; 4 para los sectores potencialmente inestabilizables en caso de intervenir con edificaciones urbanas o rurales; 3 para las áreas estables pero con algunas limitaciones a corto plazo; 2 para las ubicaciones estables con amenazas de largo plazo (sismicidad por ejemplo) y 1 para las locaciones sin restricción alguna, prácticamente inexistentes en el caso de la Vélez urbana y suburbana.

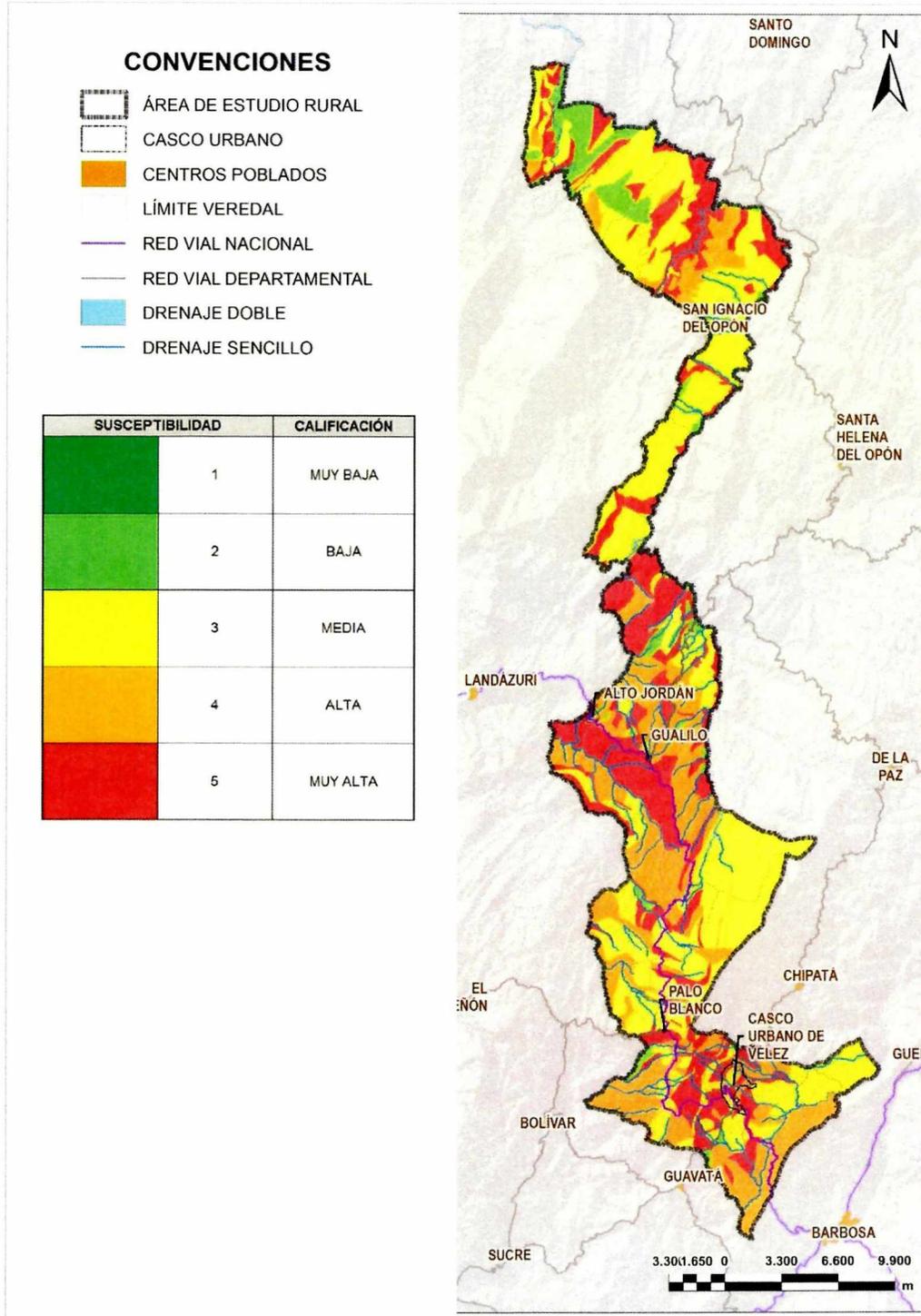
En la figura 43 se reporta del mapa de susceptibilidad geomorfológica a movimientos en masa elaborado para el área rural de Vélez.

**Tabla 6.** Clasificación de los suelos según su susceptibilidad geomorfológica.

SUSCEPTIBILIDAD	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	SUSCEPTIBILIDAD	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA		
2	BAJA	4	ALTA		
				Callejon	Espinazo estructural ascendente
				Domo sinclinal	Espinazo estructural descendente
				Fondo de valle	Estratificación superpuesta
				Laderas rectilíneas poco inclinadas	Frente de cuesta escalonado
				Loma baja	Frente escalonado
				Terraza aluvial	Ladera rectilínea muy inclinada
				Tope plano	Ladera rectilínea superficialmente disectada
3	MEDIA	5	MUY ALTA		
				Valle	Laderas escalonadas
				Batea longitudinal	Laderas inclinadas disectadas
				Cerro Residual	Laderas rectilíneas con lineamientos horizontales
				Concauidad	Laderas rectilíneas fuertemente inclinadas
				Digitación residual del frente de cuesta	Microcuenca
				Escalón horizontal	Microcuenca escalonada
				Escarpe ligeramente escalonado	Caballote disectado
				Espaldón estructural	Pie de escarpe
				Interfluvio	Coluvión
				Ladera rectilínea inclinada	Concauidad de proceso de remoción en masa
				Laderas de caras rectilíneas inclinadas	Digitación residual muy disectada
				Laderas disectadas bajamente inclinadas	Disección
				Laderas muy suavemente escalonadas	Entrante de disección
				Laderas rectilíneas	Escarpe
				Laderas semiescalonadas poco pendientes	Escarpe con lineamientos horizontales
Meseta	Escarpe irregularmente escalonado				
4	ALTA	5	MUY ALTA		
				Tope anticlinal	Escarpe lateral
				Andén estructural	Escarpe vertical
				Caballote	Escarpes en proceso de erosión regresiva
				Cabecera de microcuenca	Faceta rectilínea
				Digitación estructural	Faceta triangular disectada
				Escalón disectado	Frente de avance en proceso de disección
				Escalón estructural horizontal angosto	Frente estructural
				Escalón inclinado	Garganta
				Escalonamiento	Laderas disectadas muy inclinadas
				Escarpe bajamente inclinado	Laderas estriadas muy pendientes
				Escarpe escalonado	Laderas pendientes disectadas
				Espaldón estructural disectado	Microcuenca en proceso de disección
				Espaldón estructural muy disectado medianamente inclinado	Cicatriz antigua de movimientos de remoción en masa
Espaldón muy inclinado finamente disectado	Talud de derrubios				
Espinazo estructural	Terraplén antrópico				

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 43.** Mapa de susceptibilidad geomorfológica a movimientos en masa para el área rural del municipio de Vélez (R-08).



Fuente: Elaboración Propia

## 6.9. INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS

Se presenta el inventario rural de deslizamientos (en lo sucesivo y para simplificar, a sabiendas que constituye solo una tipología dentro de la clasificación de los movimientos en masa o fenómenos de remoción en masa), el cual fue elaborado por el geólogo esp. MSc Germán Alfonso Reyes Mendoza, que busca complementar las obligaciones del Convenio, pues éste tópic no era requerido dentro de sus alcances.

La sección aquí descrita integra resultados de las visitas de campo realizadas entre abril y septiembre de 2014, junto a las reuniones de capacitación brindadas a la comunidad, principalmente rural, y las últimas visitas a sitios inestables del municipio de Vélez acentuadas por el invierno de los meses de octubre a noviembre de 2014, con posteriores labores de oficina (complementación de bases de datos, cartografía y edición de informes) hasta el mes de julio de 2015.

El documento contiene los siguientes ítems: 1) Metodología; 2) Talleres con la comunidad y visitas rurales, con algunos registros fotográficos; 3) Inventario de deslizamientos rurales.

La bibliografía específica, la cual fue recopilada, revisada y/o citada para este informe, se anexa al final de este volumen.

Además, se incluyen los respectivos listados de asistencia a los talleres.

### 6.9.1. Metodología

A continuación se describe la metodología detallada implementada para el inventario de deslizamientos, con los autores y trabajos de referencia, el formato de captura y los criterios de inventario, con las categorías de fenómenos y/o procesos inventariados.

Para obtener un inventario real de los fenómenos de remoción en masa presentes dentro del municipio de Vélez se propone adoptar la metodología aquí planteada, articulando información secundaria y propuestas institucionales (municipio de Vélez, Servicio Geológico Colombiano, IGAC, IDEAM, INVIAS, etc.) y la obtenida directamente con la comunidad rural, con reuniones y visitas de campo.

Se observa que el municipio de Vélez no contaba con un catálogo (informal o no técnico) o un inventario (basado ya en criterios técnicos, en este caso geológico-geomorfológicos, ya que no hubo visitas geotécnicas) de movimientos en masa, rurales o urbanos.

El inventario rural de las inestabilidades constituye el punto de partida, no solo para diagnosticar los pasivos ambientales del territorio veredal, sino la gestión local del riesgo, esto es, su mitigación o recuperación, y en ella debe contarse con el apoyo de las instituciones a nivel tripartita, que propugnan por la preservación de la vida, bienes y el medio ambiente.

Igualmente, se elaboró un catálogo de deslizamientos, articulando los saberes e información de la comunidad veleña, mediante reuniones y talleres que enseguida se describen, los cuales son muy básicos y cualitativos, pero que dan información sobre todo espacial de su distribución y severidad, sobre todo para sitios de difícil acceso, no visitados por el personal de profesionales de la UIS. No obstante los dos, el inventario y el catálogo de deslizamientos, produjeron mapas que permiten calibrar la zonificación de amenazas por movimientos en masa a nivel rural.

El inventario rural de las inestabilidades (o procesos morfodinámicos) constituye el punto de partida, no solo para diagnosticar los pasivos ambientales del territorio veredal, sino la gestión local del riesgo, esto es, su mitigación o recuperación, y en ella debe contarse con el apoyo de las instituciones a nivel tripartita, que propugnan por la preservación de la vida, bienes y el medio ambiente.

Como ocurre en Vélez, y en muchas partes del país, los deslizamientos se pueden manifestar como pequeñas emergencias en épocas invernales que pueden pasar desapercibidas, por no cobrar vidas humanas pero que si afectan drásticamente las economías de los campesinos, por ser de carácter puntual aunque pueden llegar a tener una amplitud veredal. Atender estos “campanazos de alerta” es rentable, pues puede significar prevenir desastres de mayor magnitud.

### 6.9.2. Esquema metodológico y actividades desarrolladas

Se exponen la metodología de las labores de geología y también las de geomorfología, las cuales valga decir fueron adelantadas específicamente por el ingeniero MSc Dario Villamizar, experto en geografía física.

Estos inventarios tienen aplicación directa en la cartografía de procesos geomorfológicos (morfodinámicos o eventos degradacionales) y en la zonificación de amenazas por deslizamientos, es decir por fenómenos de remoción en masa o movimientos en masa, exceptuando los procesos erosivos (de erosión hídrica y fluvial) y los de torrentes (avenidas torrenciales o “avalanchas”, del lenguaje castizo colombiano).

Las actividades (véase recuadros amarillos) geológico-geomorfológicas adelantadas en el presente estudio se muestran organizadas metodológicamente en la figura 44.

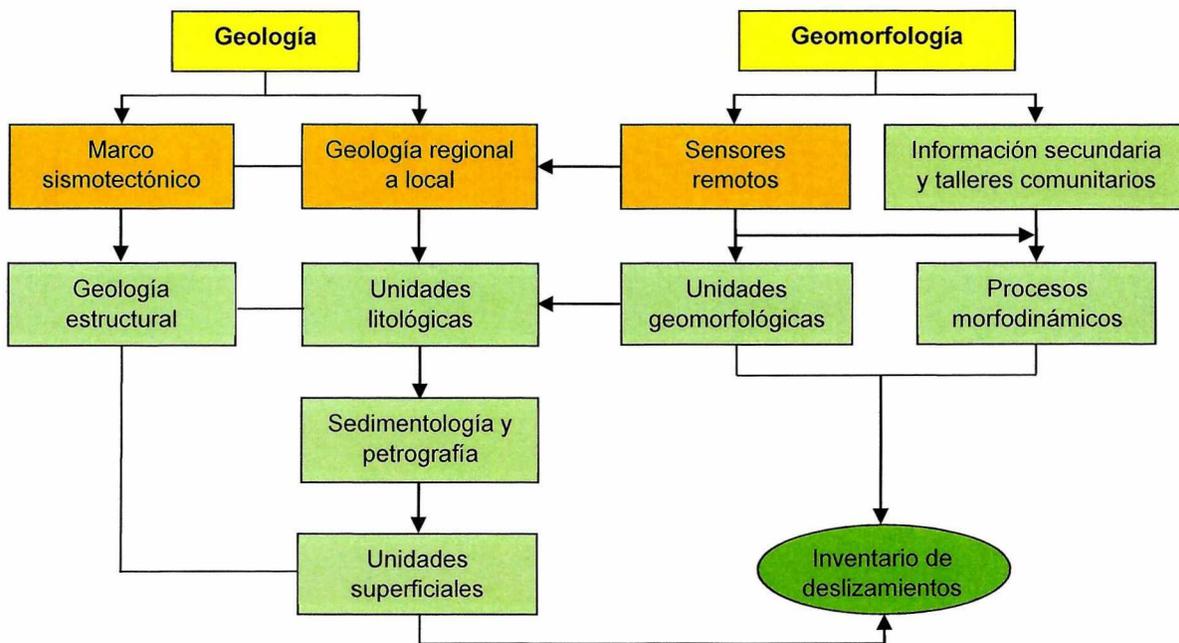
En los recuadros anaranjados se representan las actividades de alcance regional y en tono verde las del nivel subregional.

Este algoritmo metodológico considera cuatro fases importantes: preliminares (definición de alcances, recopilación de información secundaria, labores de campo (reconocimientos y captura de información primaria, reuniones con instituciones y comunidades) y de oficina (análisis de información e integración de datos, cartografía, edición de informe) y socialización de resultados (dentro del municipio de estudio y otras ciudades).

La geología considera la metodología general para la presentación de estudios ambientales (MAVDT, 2010). Abarcó la recopilación y análisis de estudios previos (regionales a locales), el ajuste con información primaria de sensores remotos y controles de campo (fotografías aéreas, imágenes de satélites, UAV y de Google Earth) y controles de campo.

Las unidades estratigráficas y rasgos estructurales se reconocieron y definieron mediante geología de superficie, a partir de la observación directa en afloramientos en laderas, cauces, caminos, cortes viales, con descripciones, muestreos de campo y el levantamiento de columnas litológicas a escala detallada (1:10 a 1:50).

**Figura 44.** Metodología empleada para los estudios geológico – geomorfológicos aplicados al inventario de deslizamientos.



Fuente: Modificado de Reyes, 2011

Las unidades geomorfológicas, observadas en la figura 44, con sus aspectos de morfometría, morfogénesis y la respectiva cartografía, ya fueron objeto del capítulo de “caracterización geomorfológica” del casco urbano de Vélez (Volumen IIA).

Los datos primarios de campo se procesaron, verificaron y ajustaron en oficina para generar el inventario en su primera versión en septiembre de 2014, y la segunda versión en julio de 2015. La cartografía temática fue estructurada en geodatabase y digitalizada mediante ArcGIS, editada a nivel rural a escala 1:25.000.

### 6.9.3. Autores y trabajos de referencia

El formato de inventario geológico-geomorfológico general de fenómenos de remoción en masa, usado en las labores de campo para capturar su ubicación, caracterización y jerarquización, fue adaptado y actualizado del original elaborado por Reyes y Ramírez (1996), con fines de geología aplicada para rehabilitación de corredores viales, para el cual se consideraron los trabajos pioneros de MOPT-SCG (*sin fecha*), así como los de Lizarralde (1995) y más recientemente de la tesis de máster de Reyes (2011, 2012 y 2013).

Para las evaluaciones geológico-geomorfológicas, en cuanto a la identificación, tipologías, análisis de factores contribuyentes y detonantes de fenómenos de remoción en masa, se retoman las conceptualizaciones, estudios de casos, manejo de emergencias y modelos de gestión publicados por Varnes (1978), Hansen (1984), García (1986), Montero (1991), Hauser (1993), Selby (1993), Suárez (1994 y 1992), MT-INVIAS (1998), Flageollet (1999), Reyes-Mendoza (1998, 2001), Reyes (2002), SNGM (2007), Guardado y Carrión (2008), Turner y Schuster (2010), y Cuanalo y Oliva (2012).

Para la zonificación de procesos morfodinámicos, análisis de susceptibilidad, peligrosidad y amenazas se revisaron las referencias de Eisbacher y Clague (1984), Cruden y Varnes (1996), Soeters y Westen (1996), Reyes-Mendoza (1998), Vargas (1999), Altimir et al. (2001), INGEOMINAS (2001, 2008), Gonzales et al. (2002), Corominas et al. (2003), Can et al. (2005), Guinau et al. (2005 y 2007), Lan et al. (2009) y PREDECAN (2009).

### 6.9.4. Formato y criterios de inventario

En la tabla 7 se adjunta el formato para el inventario geológico general de fenómenos de remoción en masa, que se abrevia en lo sucesivo como “inventario de deslizamientos”, el cual fue usado en las labores de campo para capturar la ubicación, coordenadas, atributos morfométricos, litológicos, geomorfológicos, caracterización y jerarquización de procesos, modificado de Reyes (2011). Dicho formato consta de una fila general (con 5 celdas: jurisdicción territorial, municipio, vereda, autor, fecha y No. de hoja) y con doce columnas para los parámetros técnicos distintos:

- (1). No. y/o identificador (ID) consecutivo.
- (2). Ubicación específica (de acceso, abscisado, coordenadas planas o geográficas, finca y propietario).
- (3). Área/magnitud del sitio crítico.
- (4). Profundidad/volumen: importante para estimar los caudales sólidos acarreados a las corrientes.
- (5). Actividad del fenómeno o evento.
- (6). Material(es) comprometido(s).
- (7). Mecanismo de ruptura (en la zona de disparo, cabecera o fuente).
- (8). Indicador geomorfológico.
- (9). Amenaza/vulnerabilidad.

**Tabla 7.** Formato limpio, con nota explicativa, empleado para inventariar en campo los deslizamientos (movimientos en masa).

INVENTARIO GEOLOGICO-GEOMORFOLÓGICO GENERAL DE FENOMENOS DE DESLIZAMIENTOS										
Municipio— Departamento: Vélez-Santander		Vereda:			Elaboró: Geól. Esp. MSc Germán Alfonso Reyes Mendoza			Fecha:		Hoja No. :
1 No.	2 UBICACIÓN	3 AREA MAGNITUD	4 PROFUNDIDAD VOLUMEN	5 ACTIVIDAD	6 MATERIAL	7 MECANISMO	8 INDICADOR GEOMORFOLOG.	9 AMENAZA/ VULNERABILIDAD	10 CALIFICACION (1) a (5)	11 OBSERVACIONES

**NOTAS:**

1. PONER LA **ENUMERACION** (No.) CONSECUTIVA, O EL IDENTIFICADOR (ID) DE GEOREFERENCIACIÓN (CON GPS), DEL SITIO O ZONA AFECTADA POR FENOMENOS MORFODINAMICOS, DEGRADACIONALES O AGRADACIONALES, A USAR EN LA CARTOGRAFIA; MOVIMIENTO EN MASA (MM); EROSION HIDRICA (EH) O FLUVIAL (EF), TORRENCIAL (FT).
2. **UBICACIÓN** DEL FENOMENO: NOMBRE DEL PREDIO (FINCA) Y PROPIETARIO (BIO); ABSOLUTA (EN KM); M = MARGEN DERECHA; MD = MARGEN IZQUIERDA; DISTANCIA ESTIMADA (EN M) U ORIENTACION RESPECTO A PUNTOS GEOGRAFICOS: NE, NW, SE, SW, N, Y, E, ETC. GEOREFERENCIAR (CON GPS) LA PARTE ALTA Y/O CENTRAL DE LA CORONA O ESCARPE PRINCIPAL DEL SITIO.
3. **AREA** DEL FENOMENO: MEDICIÓN (EN m<sup>2</sup>) DEL ANCHO (A) POR EL LARGO (L) PROMEDIOS DEL AREA FUENTE, DE RUPTURA O SALIDA DEL FENOMENO, CON ELLO ESTIMAR LA **MAGNITUD** O EXTENSION DEL PROCESO: P = PEQUEÑO (≤500m<sup>2</sup>); M = MEDIANO (≤2500m<sup>2</sup>); G = GRANDE (>1/4Ha a Km<sup>2</sup>).
4. **PROFUNDIDAD** (P) PROMEDIO (MEDIDA EN m): SUPERFICIAL (S) = ≤1m; MEDIO (M) = 1-3m; PROFUNDO (P) = >3m. CALCULAR CON EL AREA Y ESTA PROFUNDIDAD EL **VOLUMEN** DE LA MASA REMOVIDA (MEDIDA EN m<sup>3</sup>).
5. **ACTIVIDAD** DEL FENOMENO: A = ACTIVO; P = POTENCIALMENTE ACTIVO O LATENTE; I = INACTIVO O EN ACUIESCENCIA; R = REACTIVO O RECURRENTE.
6. EVALUAR EL **MATERIAL** GEOLOGICO U OTROS COMPROMETIDOS: R = ROCA; SR = SUELO RESIDUAL; D = DETRITOS COLUVIO-ALUVIALES; SEDIMENTOS RECIENTES (S) O ANTIGUOS (Sa); L = LODO; V = VEGETACION; OTROS (ESPECIFICAR).
7. INDICAR EL **MECANISMO** Y TIPOLOGIA DEL MM, EH, EF, SD. D = DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL; Dc = DESLIZAMIENTO ROTACIONAL; Ed = FLUJO DE DETRITOS; E1 = FLUJO DE LODOS; Dp = DESPRENDIMIENTOS; CD = CONO DEVECCION; EHC = EROSION HIDRICA CONCENTRADA (SURCOS= s; CARCAVAS= c; ZANJONES= z; HONDONADAS= n); EHL = EROSION HIDRICA LAMINAR O DIFUSA (CALVAS INCIPIENTE= i; TIERRAS MALAS= t); EHI = EROSION HIDRICA INTERNA (SOFUSION O TUBIFICACION= sb); EROSION FLUVIAL (SL=SOCAVACION LATERAL; SF=SOCAVACION DE FONDO); SD = SEDIMENTACION.
8. **MORFOINDICADOR**: VISUALES (COLOR, GRIETAS=G, ESCARPES=E, PELDAÑOS=P, LOBULOS=L, HUNDIMIENTOS=H, DRENAJES OBTURADOS O DESVIADOS=D, CHARCOS O LAGOS=C, FLUJOS, VEGETACION); OBRAS (COLAPSO, FISURA O INCLINACION DE REDES, MUROS, VIAS, etc.).

Fuente: Adaptado de Reyes, 2011



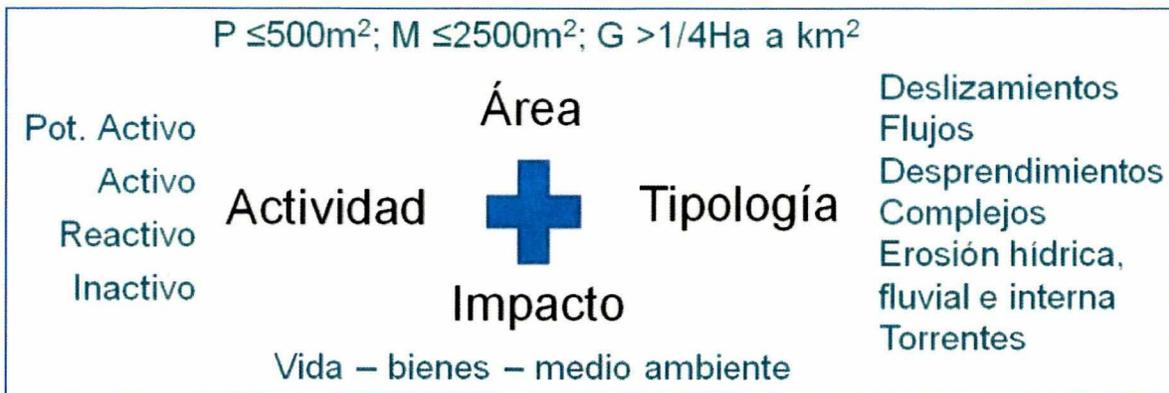
En el presente trabajo rural las columnas 4, 8 y 9 fueron omitidas (no evaluadas); y en la columna 3 solo se consideró la magnitud del evento.

En la columna 11, van las observaciones del caso: rasgos morfométricos (pendiente, longitudes, alturas); morfología de taludes y ladera (forma, orientación); y otras características bióticas y humanas, como detalle de afectaciones, estudios o visitas técnicas (con conceptos o informes) realizadas, fechas de ocurrencia o reactivación del fenómeno, o de obras de control o mitigación implementadas.

A partir de estas consideraciones, y con las variables analizadas, se procedió a obtener su correspondiente calificación (de 1 a 5, según la columna 10 y la nota explicativa inferior).

En la figura 45 se presentan los cuatro factores considerados para ponderar o jerarquizar cada proceso de inestabilidad.

**Figura 45.** Cuatro criterios para la calificación de los movimientos en masa inventariados (Modificado de: Reyes, 2013).



### 6.9.5. Jerarquización de fenómenos o procesos inventariados

Con base en ellos se procedió, en la columna 10 del formato de captura, a determinar la categorización del movimiento en masa (MM) de 1 a 5, basados su actividad, área (y/o volumen) removido, tipología y elementos impactados-amenazados, siendo uno el más sencillo (manejable, que no ofrece peligrosidad) y cinco el más crítico (de mayor actividad, pudiendo ser reactivo y de carácter retrogresivo; arealmente extenso; complejo; y con grado importante de amenaza), que son calificados y tienen las medidas de manejo señaladas como sigue:

Categoría 1 - MM muy pequeño: Sin amenaza aparente (o nula) y no requiere obras, puede autogenerar vegetación.

Categoría 2 - MM pequeño: Con amenaza baja, para el cual se especifican o recomiendan algunas medidas de manejo: enramados, hojarascas, regado de semillas, incluso aislamientos y zanjas de coronación.

Categoría 3 - MM pequeño a mediano: Amenaza baja a media, requiere evaluaciones básicas (planimetría, estudios de suelos preliminares, manejo de aguas, etc.) y estabilizaciones rápidas o de bajo costo.

Categoría 4 - MM mediano: Puede generar amenaza media y requerir levantamientos topográficos (con cortes y curvas de nivel), estudios hidroclimáticos, geológicos y geotécnicos preliminares, con diseño de algunas obras hidráulicas, geotécnicas/biotécnicas convencionales de mediana magnitud, según el caso.

Categoría 5 - MM grande: Activo o reactivo, con pérdidas y daños asociados, o que posee amenaza geomorfológica alta a muy alta. Se recomiendan trabajos de topografía detallada, estudios geológicos, geomorfológicos, geofísicos (SEV, GPR, TEM, REMI), hidrológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e hidráulicos (con exploraciones, muestreos, monitoreos, ensayos y modelamientos); localización, diseños, detalles, cantidades y presupuestos de obras de mitigación y/o estabilización específicas o especiales; plan de monitoreo visual e instrumental; mantenimiento y seguimiento de obras de control.

Como se entiende, los procesos geomorfológicos caracterizados con un mayor número arábigo (categorías 4 o 5) son los que tienen la mayor prioridad para la gestión y mitigación del riesgo, sobre todo a nivel rural, como se expone más adelante.

## 6.10. REUNIONES CON LA COMUNIDAD Y VISITAS RURALES

Especialmente se efectuaron reuniones con la comunidad para brindarles una sensibilización en torno al tema, con capacitación específica sobre causas, efectos y manejo de los deslizamientos; al final un taller para su identificación o localización rural, mediante mapas “parlantes” o descriptivos que fueron elaborados por los residentes o líderes de las veredas convocadas.

Los oficios para las convocatorias fueron elaborados por el autor, siempre en forma coordinada con la secretaria de planeación de Vélez, con la definición de sitios, fechas y comunidades a invitar, aglutinando veredas cercanas.

La primera reunión se celebró a mediados de septiembre de 2014 (figura 46), mientras que el segundo grupo de reuniones ocurrió a finales de octubre del 2015 (figuras 47 y 48), como se observa en los listados de asistencia (Anexo III-9).

En la tabla 8 se indica el lugar y fecha de las reuniones realizadas (entre paréntesis si la jornada fue en la mañana o en la tarde), las comunidades participantes y los temas abordados.

Las reuniones tenían una duración máxima de cuatro horas, aproximadamente, e incluían un saludo y agradecimientos, la presentación de los representantes de las veredas anfitrionas o líderes comunitarios, del conferencista y técnicos de la UIS, así como de todos los participantes de cada encuentro.

**Tabla 8.** Reuniones de sensibilización y capacitación sobre deslizamientos, y talleres para su inventario a nivel rural de Vélez.

Fecha	Lugar	Convocados	Temas tratados
13-9-2014 (mañana)	Colegio Isabel Valbuena	Líderes y comunidad urbana de Vélez	Impacto de los fenómenos de remoción en masa o movimientos en masa; las laderas como sistemas naturales; factores intrínsecos y extrínsecos; qué es la erosión y sus tipos; definición de movimientos en masa y su clasificación
17-10-2014 (mañana)	Escuela vda. el Gualilo	Veredas Alto Jordán, el Gualilo, el Recreo, Campo Hermoso, San Benito, Río Negro-Casajero, Quebrada Larga, Caño Bonito (Sector Tienda Nueva), la Tablona	
17-10-2014 (tarde)	Escuela vda. Gaital	Veredas Gaital, Paloblanco, Tebaida, Llanadas, Hato de Santa Bárbara, Peña Chiquita, Peña Grande, Lagunetas, Monte Oscuro, el Amarillo	
18-10-2014 (mañana)	Colegio Universitario de Vélez	Líderes y comunidad urbana de Vélez, consultores municipales y secretario de planeación	Identificación de llenos antrópicos (o rellenos) dentro del suelo urbano y posterior realización de un recorrido para su georeferenciación y caracterización
19-10-2014 (mañana)	Escuela vda. Guayabos	Veredas Guayabos, San Vicente (Sector III – el Porvenir), San Vicente Alto, San Vicente (Sector San Rafael-el Picacho), Peña de San Vicente (Sector Centro), la Doctrina-Portachuelo, el Limón	Impacto de los fenómenos de remoción en masa o movimientos en masa; las laderas como sistemas naturales; factores intrínsecos y extrínsecos; qué es la erosión y sus tipos; definición de movimientos en masa y su clasificación; obras biotécnicas y experiencias en otras regiones del país
19-10-2014 (tarde)	Escuela vda. Lomalta	Veredas Lomalta, El Roperero, Tubavita, la Palmera, Los Ejidos, San Pablo	

Fuente: Elaboración Propia

También se expusieron los alcances y objetivos del Convenio, seguidos por los temas específicos indicados en la tabla 8.

A continuación se efectuó un taller para dibujar los deslizamientos presentes a nivel rural, iniciando con la organización de grupos de entre tres a seis personas, en lo posible uno por cada vereda convocada; se les entregó pliegos de papel bond y marcadores de colores.

Sobre mesas se continuó la actividad pidiendo que dibujaran las carreteras, ríos y quebradas, caseríos, escuelas, etc., y los puntos o sectores con “derrumbes” más importantes. El taller terminó con la exposición de lo dibujado por parte de las comunidades (un expositor y dos personas acompañantes, que sostenían el mapa elaborado por cada grupo, como se observa en las figuras 49 y 50), enfatizando lo gravedad, fechas y daños de los deslizamientos representados. Esta información fue guardada por el personal de la UIS.

Se continuó la reunión con las respectivas conclusiones, proposiciones-varios y al final la programación de fechas e itinerarios de visitas técnicas a las veredas de Vélez, más afectadas o con amenazas de por los deslizamientos manifestados por ellos.

**Figura 46.** Reunión de capacitación sobre deslizamientos del 13-9-2014 en el Colegio Isabel Valbuena.



Fuente: Registro fotográfico

**Figura 47.** Inicio de la sensibilización en el Colegio Universitario de Vélez del 18-10-2014.



Fuente: Registro fotográfico

**Figura 48.** Reunión de capacitación sobre deslizamientos del 17-10-2014 en la escuela de la vereda el Gualilo.



Fuente: Registro fotográfico

**Figura 49.** Aspecto del taller del 17-10-2014 en la vereda Gaital: dibujo de rasgos geográficos y ambientales, incluyendo sitios inestables.



Fuente: Registro fotográfico

**Figura 50.** Aspecto del taller del 17-10-2014 en la vereda Gaital: ejemplo de exposición de mapa “parlante” sobre deslizamientos-



Fuente: Registro fotográfico

En el Anexo III-9 aparecen los listados de asistencia debidamente firmados.

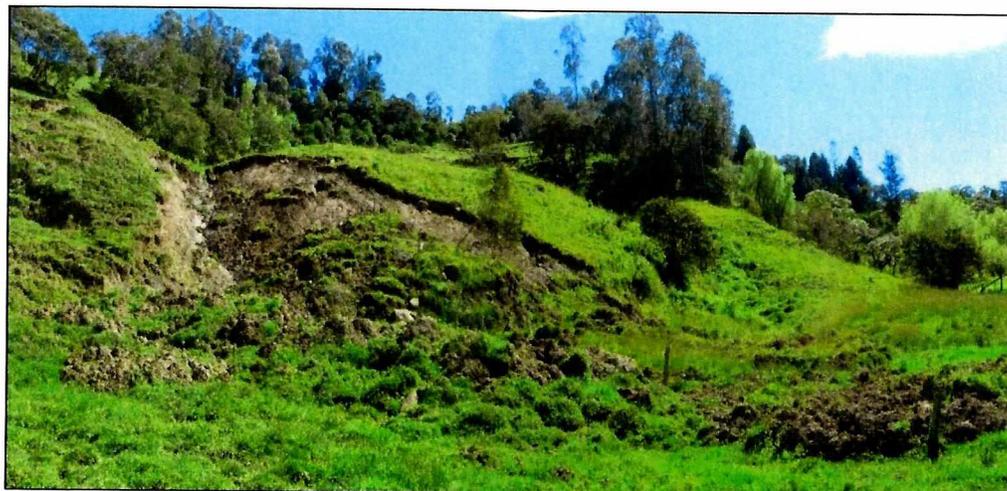
Todo este trabajo condujo al conocimiento de la problemática rural, a la programación y ejecución de visitas de campo y al procesamiento-almacenamiento en oficina (Geomática – UIS) de información con herramientas técnicas y construida en forma participativa.

**Figura 51.** Escarpe de deslizamiento en visita urbana del 19-10-2014.



Fuente: Registro fotográfico

**Figura 52.** Traslación y flujo en la vereda El Amarillo (MM18), el día 28-7-2014.



Fuente: Registro fotográfico

**Figura 53.** Deslizamiento en talud de corte en Peña Grande (KM45+570).



Fuente: Registro fotográfico



## 6.11. CATALOGO E INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA

En esta sección se abordan los dos mapas obtenidos del catálogo rural (no técnico, editado a partir de los mapas descriptivos o “parlantes” en las reuniones y talleres con las comunidades, antes señalados) y el inventario de deslizamientos (ya técnico, con la metodología ya descrita) de la zona rural del municipio de Vélez (Santander).

Se reitera que para el presente trabajo involucra exclusivamente a los movimientos o fenómenos de remoción en masa: deslizamientos, flujos, desprendimientos, etc), que son procesos y eventos geomorfológicos o morfodinámicos de gran impacto en Vélez.

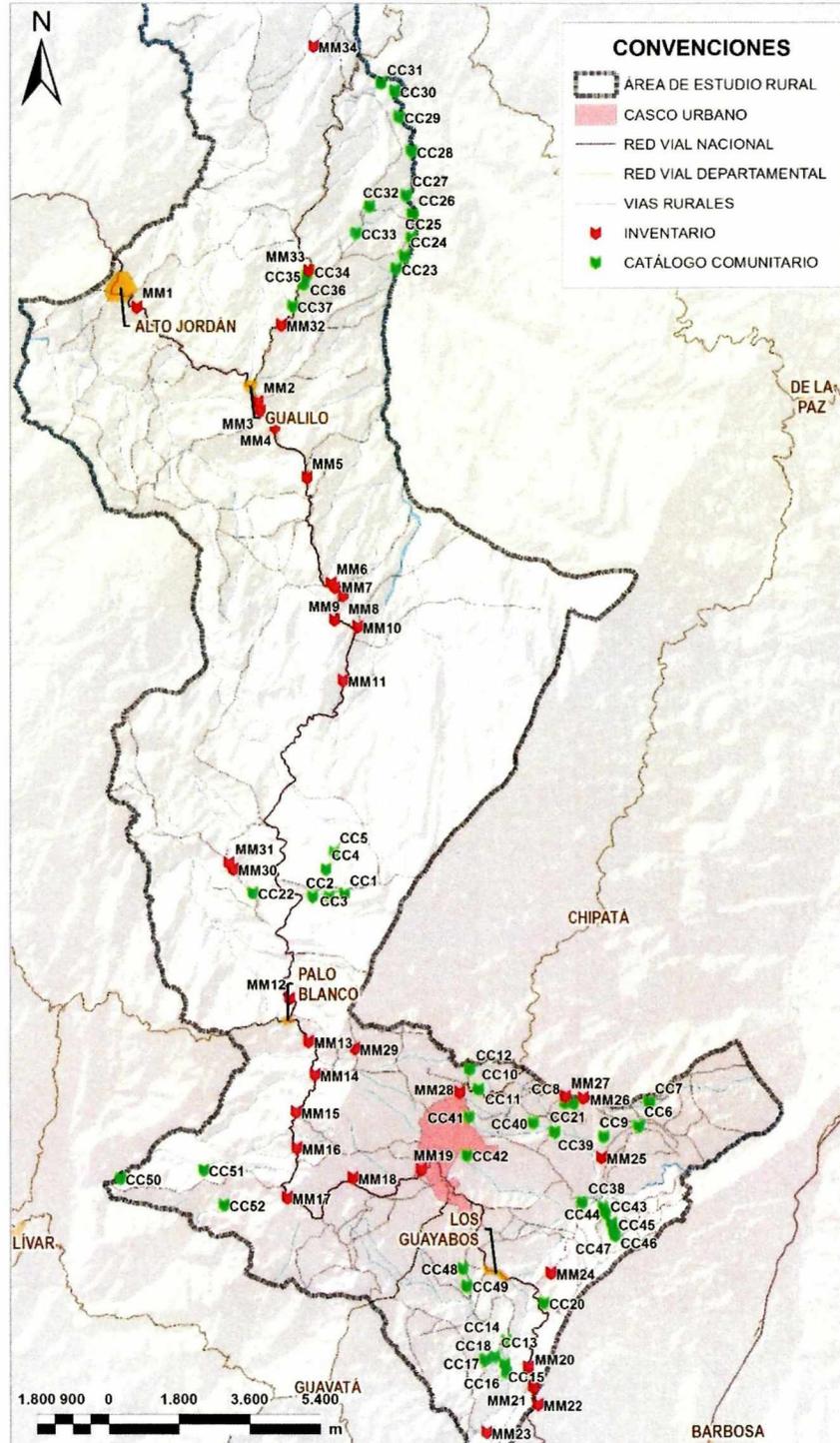
La figura 54 muestra el mapa del catálogo comunitario, editado a escala 1:25.000, en donde cada deslizamiento tiene un símbolo verde, acompañado de las letras “CC” y de un número arábigo consecutivo.

En dicho mapa se da la ubicación de los movimientos en masa (georeferenciada y aproximada; es decir, conforme no solo a la ubicación y acceso dibujada sino a la mencionada verbalmente) reportados por ellos. A estas inestabilidades no se les pudo corroborar variables técnicas como magnitud, actividad, material, mecanismo, entre otros aspectos técnicos.

En general, se observa que se totalizan 85 deslizamientos; ocurren en gran número en los sectores sur y centro del municipio de Vélez, en coincidencia al número y distribución de las veredas que asistieron (de las que no participaron no se obtuvieron “mapas parlantes” y por ende no tienen deslizamiento en este catálogo).

Llaman también la atención cerca de diez movimientos en masa reportados en las veredas San Benito, Río Negro-Cascajero, Quebrada Larga, Caño Bonito, siguiendo las vías o en límites hacia/con los municipios de La Paz y Santa Helena del Opón. Su verificación en campo estuvo fuera del alcance del presente trabajo.

**Figura 54.** Catálogo obtenido con participación de la comunidad de Vélez (flechas verdes, símbolo CC) e inventario de movimientos en masa (flechas rojas, símbolo MM).



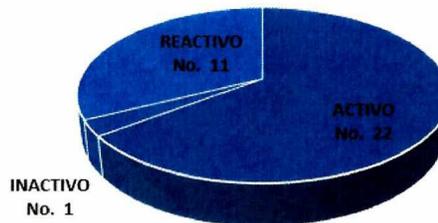
Fuente: Elaboración Propia

También en la figura 54 se plasmó el mapa del inventario de deslizamientos en la jurisdicción rural del municipio de Vélez, los cuales que fueron identificados directamente en campo, caracterizados, estructurados en base de datos y generados en shapefiles en ArcGIS, gracias a la información de la comunidad (obtenida en los talleres antes descritos) o consecuencia de las labores de campo directas del equipo ejecutor del presente Convenio.

Son en total 34 movimientos en masa: mayormente activos y pequeños, clasificados según su actividad (figura 55) y magnitud (figura 56), aspecto importante que es el que se muestra en el Mapa de Inventario (Mapa R-13, editado a escala 1:25.000), con flecha roja y símbolo del identificador (ID), integrado por las letras MM y el respectivo número consecutivo.

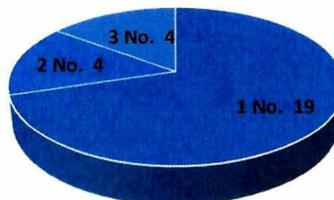
Además, en las figuras 57 y 58 se muestra otros análisis estadísticos del inventario, con gráficos circulares, considerando el mecanismo y el tipo de material involucrado, en donde predominan los deslizamientos (41% de tipo traslacional, en taludes y laderas; 18% corresponden a microdesprendimientos, evidentes en taludes viales) y material removido (rocoso 38% y suelo 38%), respectivamente.

**Figura 55.** Análisis de la variable actividad obtenida del inventario de movimientos en masa del área rural de Vélez.



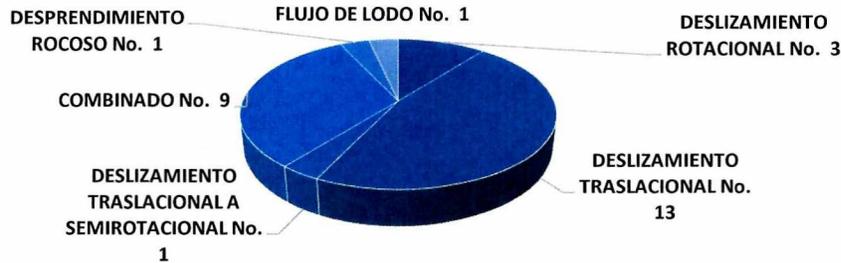
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 56.** Distribución de la variable magnitud, esto es la extensión (en grande, mediano y pequeño, según los rangos en m<sup>2</sup> indicados en la figura 45, de los movimientos en masa inventariados en área rural de Vélez.



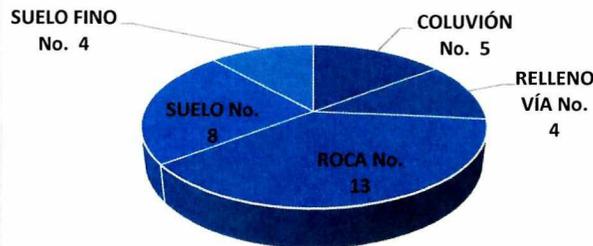
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 57.** Estadísticas de mecanismos o tipologías de ruptura (o de falla, en la zona fuente) inventario de movimientos en masa, en el área rural de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 58.** Relación de los materiales comprometidos en las remociones en masa evaluadas (inventariadas) a nivel rural.



Fuente: Elaboración propia

También fueron calificados o jerarquizados de 1 a 5 según su amenaza y manejo (1 es muy pequeño y sin importancia; hasta 5, grande, que requiere estudios detallados y obras de mitigación), según la metodología empleada ya explicada anteriormente, así:

- Categoría 1 – MM muy pequeño: 16
- Categoría 2 – MM pequeño: 5
- Categoría 3 – MM pequeño a mediano: 5
- Categoría 4 – MM mediano: 2
- Categoría 5 – MM grande: 6

El Mapa R-13 editado a escala 1:25.000 plasma espacialmente la distribución de los movimientos en masa de inventariados ruralmente en Vélez, según la calificación 1 a 5 y con los niveles y alcances de estudios detallados, las debidas recomendaciones de manejo ambiental y de control (mitigación estructural).

Son importantes los catalogados con número 4 y 5, los cuales deben ser priorizados para las gestiones de reducción del riesgo: es decir, para su monitoreo y estudio detallado, con los diseños y ejecución de obras de estabilización, control y estabilización (con medidas geotécnicas, hidráulicas, biotécnicas, etc.), contemplando además reforestación, compra de predios amenazados o la reubicación de viviendas en riesgo, entre otras acciones.

En las tablas tabla 9 y 10 están los datos principales del inventario de deslizamientos elaborado para el nivel rural del municipio de Vélez, y en el Anexo III-10 el registro fotográfico.

De los movimientos en masa relacionados en el inventario rural se hace mención a dos importantes, calificados en grado 5, debido no solo a su magnitud (gran extensión), la actividad (activos) y tipología (involucran dos o más tipologías, siendo por ello complejos), sino también por la amenaza que generan (uno está poniendo en peligro a tres viviendas y otro afecta a cultivos en una ladera más extensa), descritos e ilustrados como sigue:

**MM24: Vereda San Vicente, Sector III – El Porvenir.** Se trata de un movimiento complejo (figuras 59 y 60): deslizamiento traslacional (movimiento principal) y de bloques rocosos (movimiento asociado), que en la zona distal es un flujo de lodos. Ocurre sobre una ladera recta, de pendiente media y longitud moderada, con cultivos miscelaneos, potreros y viviendas.

**Figura 59.** Aspecto del movimiento en masa complejo, inventariado como MM24: escarpe principal, con el predio El Naranjito Bajo.



Fuente: Registro fotográfico

**Tabla 9.** Inventario de movimientos en masa rurales, los cuales fueron visitados y evaluados por el equipo de expertos de geomática UIS.

ID	UBICACIÓN Y ACCESO		MATERIAL	MECANISMO	ACTIVIDAD	MAGNITUD	CALIFICACIÓN
MM1	CAMPO HERMOSO	PASANDO ALTO JORDAN, MARGEN IZQ. KM17+800	Roca	Deslizamiento Traslacional y de Bloques Rocosos	Activo	Pequeño	1
MM2	GUALILO	KM18+330, MARGEN IZQ.	Relleno Vía	Deslizamiento Traslacional a Semirrotacional	Reactivo	Pequeño	4
MM3	GUALILO	KM18+330 a 19+050 M. DER.	Relleno Vía	Deslizamiento Rotacional	Activo	Pequeño	2
MM4	GUALILO	KM20+740, MARGEN DER.	Roca	Deslizamiento Traslacional y de Bloques Rocosos	Reactivo	Grande	5
MM5	CUBA	KM24+600 MARGEN IZQ.	Roca	Microdesprendimientos de Lutitas	Reactivo	Pequeño	2
MM6	CUBA	KM24+400 MARGEN DER.	Coluvión	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM7	CUBA	KM25 MARGEN DER.	Relleno Vía	Deslizamiento Rotacional	Activo	Pequeño	2
MM8	SALANDAS	KM25+200 MARGEN DER.	Roca	Microdesprendimientos de Lutitas	Activo	Pequeño	2
MM9	SALANDAS	FINCA PRIMAVERA Y LOTE CEDROS	Roca	Microdesprendimientos de Lutitas	Activo	Pequeño	1
MM10	LIMONCITO	KM27+429 VIA-MURO DESPLAZADOS	Coluvión	Deslizamiento Traslacional	Activo	Grande	4
MM11	SALANDAS	EDS TERPEL	Suelo Fino	Flujo de Lodo y Reptación	Reactivo	Grande	5
MM12	PALO BLANCO	KM42 MARGEN IZQ.	Suelo	Deslizamiento Traslacional y Flujo	Reactivo	Grande	5
MM13	MONTE OSCURO	KM43+070	Roca	Microdesprendimientos de Lutitas	Reactivo	Mediano	3
MM14	MONTE OSCURO	KM44+238 a 367, LA HERRADURA	Roca	Microdesprendimientos de Lutitas	Reactivo	Pequeño	1
MM15	MONTE OSCURO		Coluvión	Flujo Detritico y Reptación	Reactivo	Grande	5

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 10.** Inventario de movimientos en masa rurales, los cuales fueron visitados y evaluados por el equipo de expertos de geomática UIS.

ID	UBICACIÓN Y ACCESO		MATERIAL	MECANISMO	ACTIVIDAD	MAGNITUD	CALIFICACIÓN
MM16	PEÑA GRANDE	KM45+570	Roca	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	2
MM17	EL UVITO	KM47+080 MI	Roca	Desprendimiento Rocoso	Reactivo	Mediano	3
MM18	EL AMARILLO	KM 46 POTRERO, MARGEN IZQ.	Suelo Fino	Deslizamiento Traslacional y Flujo	Activo	Mediano	3
MM19	LAURELES	SALIDA VELEZ, MARGEN IZQ.	Roca	Microdesprendimientos de Lutitas	Activo	Pequeño	1
MM20	ACO PEÑA BLANCA	KM61+300 M. DCHA.	Relleno Vía	Deslizamiento Rotacional	Inactivo	Pequeño	1
MM21	ACO PEÑA BLANCA	KM62+025 M.D.-FINCA PILAS	Suelo Fino	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM22	ACO PEÑA BLANCA LIMITE BARBOSA	KM62+625 MARG. IZQ.	Roca	Deslizamiento Traslacional	Reactivo	Mediano	3
MM23	ACO PEÑA BLANCA	VIA DESTAP., POTRERO M.IZQ.	Suelo Fino	Flujo de Lodo	Inactivo	Mediano	3
MM24	SAN VINCENTE, SECTOR III – EL PORVENIR	A 760 M DE VIA NACIONAL	Roca	Deslizamiento Traslacional y de Bloques Rocosos	Activo	Grande	5
MM25	GUAYABAL	GUAYABAL	Suelo	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM26	LOMA ALTA	MURO	Suelo	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM27	LOMA ALTA	ESCUELA	Suelo	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM28	TUBAVITA	VIA LA PAZ	Suelo	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM29	PEÑA TAMBOR	VIA A TUBAVITA	Suelo	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM30	TEBAIDA		Suelo	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM31	TEBAIDA		Suelo	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM32	SANTA ROSA	ACCESO VIVIENDA	Coluvión	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM33	RECREO	VIA GUALILO AL QUIRATA, MD	Roca	Deslizamiento Traslacional	Activo	Pequeño	1
MM34	LIMONCITO	FINCAS BARCELONA Y BALSITA	Coluvión	Deslizamiento Traslacional y Flujo	Activo	Grande	5

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 60.** Aspecto del movimiento en masa complejo, inventariado como MM24: Detalle del comportamiento como flujo, con inclinación de los árboles, parte distal de la zona.



Fuente: Registro fotográfico

El área de toda la ladera inestable, contorneada mediante GPS Trimble (figura 61), es de 6.375 m<sup>2</sup>, con una diferencia altitudinal entre 1887 y 1853 msnm (véase GPS finca el Naranjito y carretera#1, respectivamente). Está delimitada por el costado inferior y occidental por la carretera destapada (la cual capta y concentra aguas luvias, desde la zona más alta de toda la ladera, muy desfavorablemente), mientras que al oriente discurre un drenaje permanente, con abundantes zonas húmedas y nacimientos en sus costados.

**Figura 61.** Ubicación del área de influencia del MM24, con puntos levantados con GPS, con etiquetas de los elementos destacados. En líneas roja el escarpe del deslizamiento principal; en morado los escarpes secundarios y a trazos el agrietamiento más superior, que indican un movimiento en masa retrogresivo, que amenaza las viviendas.



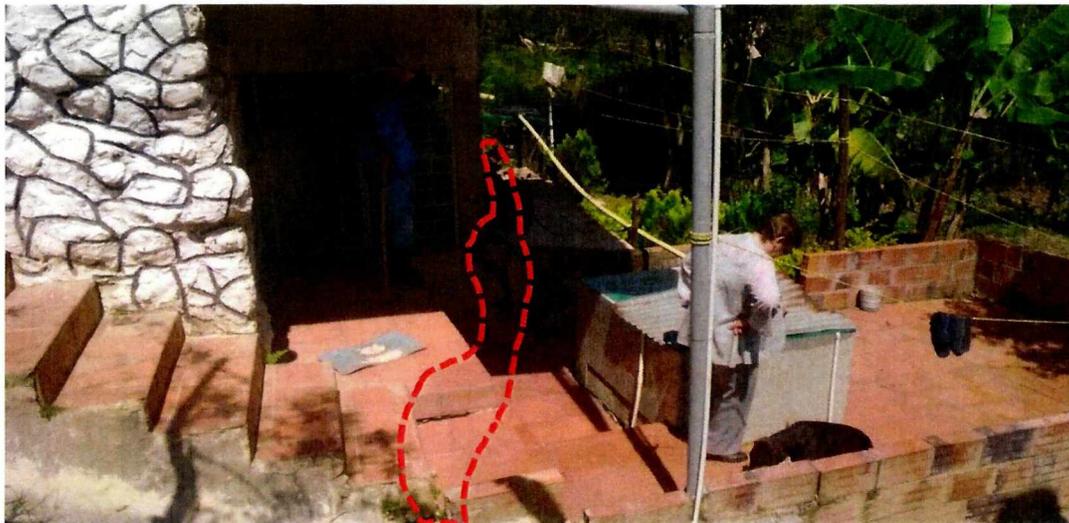
Fuente: Elaboración Propia

Se afectan la vía veredal (deformada en dos oportunidades: octubre de 2014 y junio de 2015) y directamente tres predios, con las respectivas casas (una de ellas ya agrietada, figura 23):

- Finca El Naranjito, propiedad de Néstor Fidel Ardila González, cuyo predio y vivienda está encima de los otros dos predios, sin grietas en la vivienda (su frente da hacia la carretera).
- Finca Bellaluz, propiedad de Lucy Valencia Antolinez, contigua a la anterior por el NNE. Ya presenta rupturas de pisos y hundimientos en la parte posterior de la vivienda (su frente da hacia la carretera).
- Finca El Naranjito Bajo, propiedad de Gertrudiz Atuesta (difunta). Es la casa más contigua al escarpe rocoso, con mayor riesgo.

Involucra rocas lodosas y estratiformes de la Formación Paja (K1p o Kip), la cual controla totalmente la cinemática de la inestabilidad, dada la estratificación desfavorable N17E/8E. En la parte media-baja de la aldera hay un escarpe rocoso, marcado y reciente, de entre 2.7 m y 4.6 de altura, estriado y que se comporta como una cara libre y origina un peldaño en la ladera: es producido por un sistema de diaclasas principal que posee orientación E-W/81N (figura 62).

**Figura 62.** Daños en la vivienda del predio Bellaluz por el MM24.



Fuente: Registro fotográfico

**Figura 63.** Detalle de escarpe rocoso en arcillolitas consolidadas, grises y con laminación plano-paralela, que buzan en el sentido de la pendiente. Notar los árboles que han sido cortado en su borde.



Fuente: Registro fotográfico

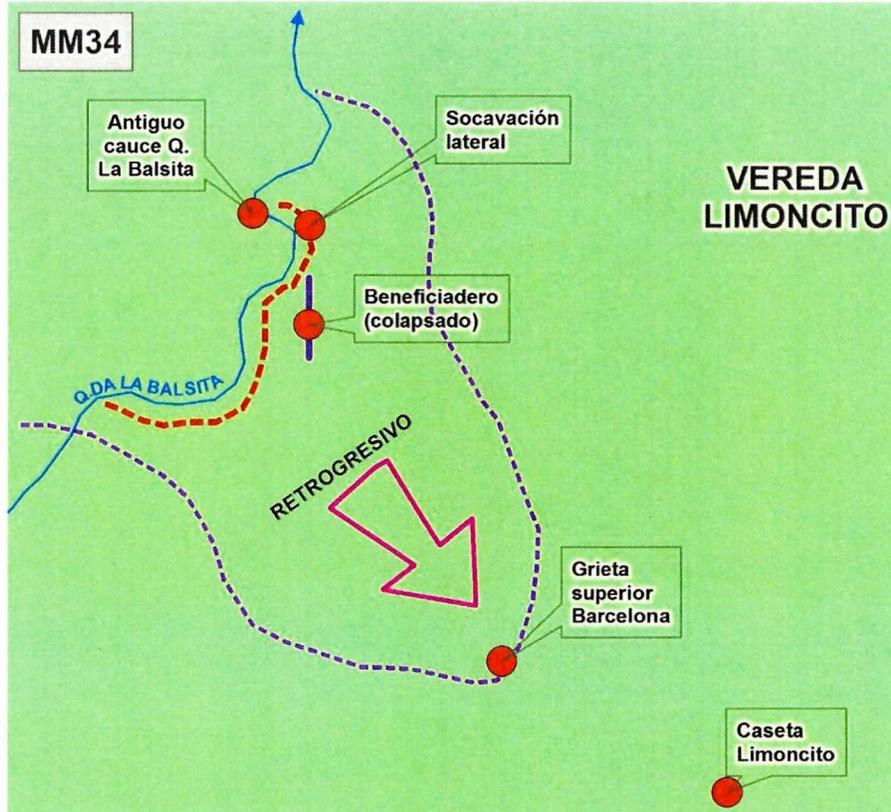
Encima del escarpe hay un sistema de grietas recientes, de hasta 10 cm de abertura, que pasan cerca de un galpón pequeño. A partir de él, y sobre la parte más baja (llegando hasta la carretera) se evidencian lobulaciones del terreno, caída e inclinación de árboles, indicando que las masas deslizadas se transitado y comportado en la zona inestable más baja como un flujo de lodos.

Se deduce que el todo el movimiento en masa es de carácter retrogresivo, debido a lo antes enunciado. Igualmente, se presentan tres familias subparalelas de agrietamientos del terreno, unos de ellos con orientación norte-sur (ladera arriba) y otros en sentido NE-SW (pegados a las dos últimas casas, abajo relacionadas), que deben de sellados mediante herramientas manuales.

**MM34. Vereda el Limoncito.** Es también un fenómeno de remoción en masa complejo (figura 64), involucrando las tipologías de deslizamiento traslacional y flujo, con socavación lateral.

Se presenta sobre la parte baja de una vertiente de longitud moderada, con pendiente promedio de 46°, afectando la margen derecha de la quebrada la Balsita, con cauce local abandonado y sujeta a socavación lateral (hacia el flanco oriental, según la figura 65); nace en el Filo La Mantellina, con cauce permanente y es de carácter torrencial.

**Figura 64.** Puntos de control con GPS y línea roja de escarpe de la zona inventariada como MM34, relacionado a la quebrada la Balsita, que fluye hacia arriba (al Norte).



Fuente: Elaboración Propia

No compromete a viviendas, pero si a cultivos manejados de cacao (figura 65) y banano, a la vía de acceso detapada y ha dañado un beneficiadero, amenazando directamente los siguientes predios:

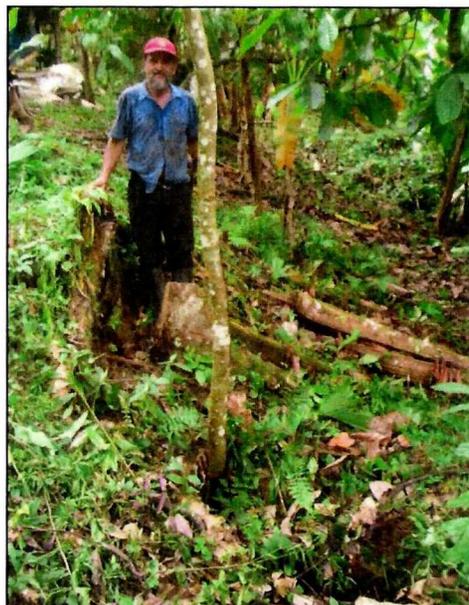
- Finca Barcelona, propiedad de José Vicente Quintero Mateus, cuyo predio es el más afectado.
- Finca la Balsita, propiedad de Medardo Alfonso Sierra Useche, contigua a la anterior por el NE.

**Figura 65.** Panorámica de la quebrada La Balsita, que socava y genera el deslizamiento traslacional y flujo extensos sobre la ladera de la margen derecha. Nótese los escombros vegetales que caen al cauce.



Fuente: Registro fotográfico

**Figura 66.** Vista de los suelos con vegetación de alta humedad y dedicados al cultivo tecnificado de cacao. La persona se ubica sobre un resto de tronco partido por la mitad debido a un agrietamiento severo del terreno.



Fuente: Registro fotográfico

La inestabilidad involucra materiales coluviales (figura 67), con fragmentos rocosos angulares (hasta tamaño guijarro) y en una matriz lodosa amarillenta, meteorizada, con alta humedad natural.

Ocurren diversos escarpes y múltiples agrietamientos, algunos de más de 50 m de longitud. Es un movimiento en masa retrogresivo y de gran magnitud, calificado en categoría 5, como el anterior, pero de mayor pendiente, severidad y evolución, que descarga no solo materiales detríticos sino coberturas vegetales de gran porte, aumentando el poder del fenómeno torrencial que socava la ladera.

**Figura 67.** Socavación de la quebrada La Balsita (vista hacia aguas arriba), que genera orillales, de hasta 11.5 m de altura, e inestabilidad de calificación 5 al extremo izquierdo.



Fuente: Registro fotográfico.

La vertiente (o ladera) inestable se distribuye altitudinalmente entre las cotas 723 msnm (medidos en la caseta del caserío el Limoncito, arriba) y el cauce de la quebrada la Balsita (623 msnm), según la figura 64. Se estima que la remoción abarca 5 hectáreas.

## 7. HUMEDAD DEL SUELO

Para el presente estudio la “humedad del suelo” se involucra, analiza y califica como variable intrínseca para el cálculo de la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa, entendiéndose que para dos escenarios diferentes de humedad del suelo, en los cuales se conservan iguales características y magnitudes para las demás variables que intervienen en el cálculo de dicha susceptibilidad, el contenido de humedad marcará la diferencia entre los dos escenarios.

A diferencia de la metodología propuesta para la determinación de la susceptibilidad hidrogeológica a movimientos en masa para el área Urbana municipal, en que se consideraba una componente determinística (conformada ésta por datos de laboratorio, mediciones y registros tomados directamente de campo) para la zona rural, las variables que participan deben estimarse por métodos indirectos.

La variable “humedad del suelo” objeto del presente capítulo, se puede estimar indirectamente por métodos heurísticos, mediante el análisis detallado del régimen de lluvias de la zona de estudio.

La precipitación media (o acumulada) caída en un área específica, proporciona información importante sobre el estado de saturación del suelo sobre el cual se precipita, en particular si se asume que la contribución de las demás variables a este fenómeno es prescindible.

De acuerdo a lo anterior, es posible estimar de manera adecuada la humedad y saturación del suelo, tanto espacial como temporalmente, mediante el análisis de la precipitación.

En concordancia con la metodología propuesta por Mora y Vahrson (1991), para la determinación del parámetro humedad del suelo, se realizó un balance hídrico simplificado con base en los promedios mensuales de precipitación registrados por estación.

Los promedios mensuales se clasificaron según los rangos específicos establecidos por la metodología, con el fin de obtener un índice de precipitación por cada mes analizado.

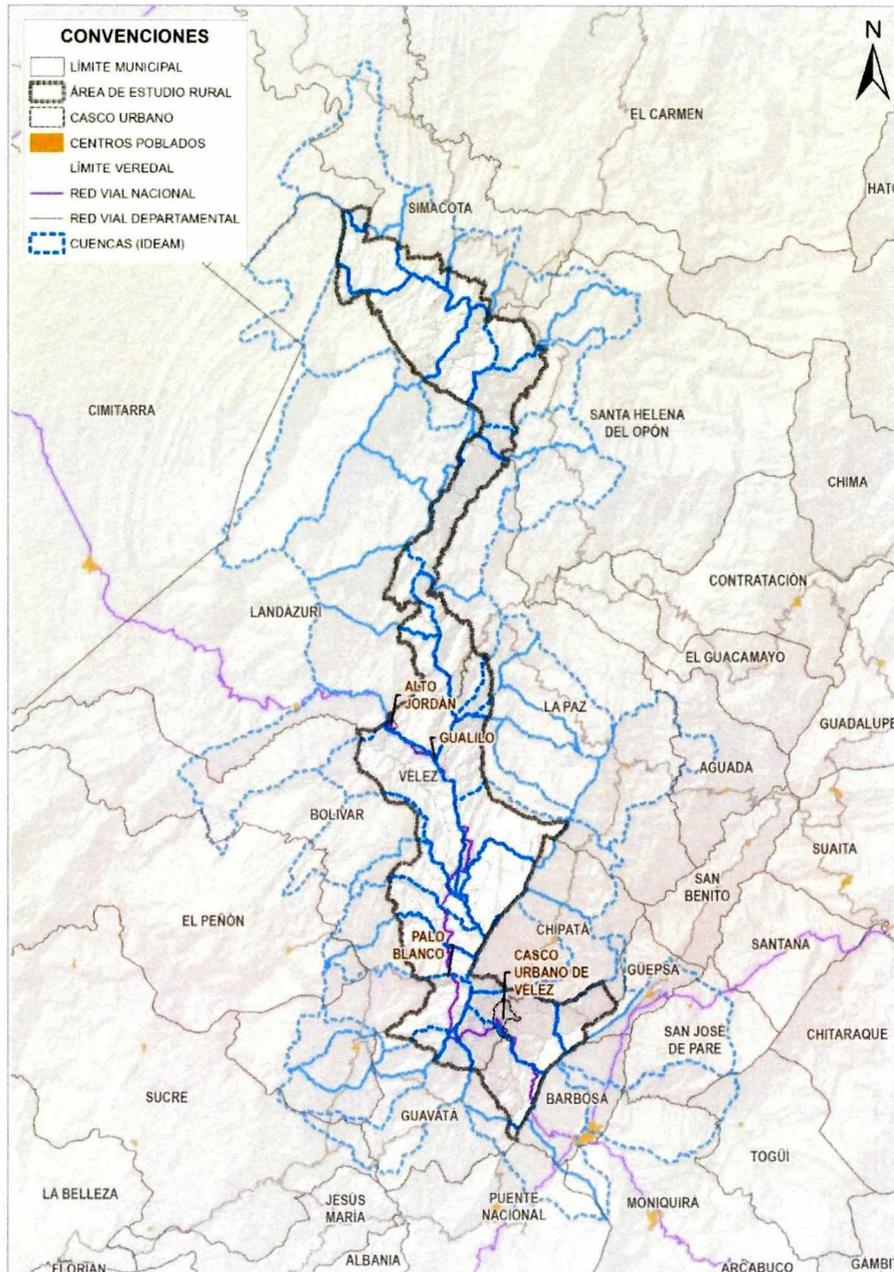
Finalmente, la humedad del suelo se obtuvo del valor acumulado de índices de precipitación, el cual se clasificó en cinco rangos, cuya calificación varía de 1 a 5.

### 7.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

De acuerdo a la delimitación de las cuencas realizada por el IDEAM en los territorios del Municipio de Vélez y retomada en el presente estudio, el área de interés incluye 29 cuencas hidrográficas de las 45 aledañas, las cuales abarcan a más del doble de la superficie municipal si se considera su extensión total, debido a la forma particularmente alargada del municipio (figura 68).

De acuerdo a lo anterior, para el análisis de humedad del suelo presentando en el presente capítulo, se han tomado en cuenta los datos de las variables climáticas registrados por las estaciones meteorológicas que se encuentran ubicadas en correspondencia del área total ocupada por las cuencas hidrológicas aferentes al territorio municipal.

**Figura 68.** Delimitación de cuencas hidrográficas para la jurisdicción del municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia con base en información cartográfica del IDEAM

## 7.2. ANALISIS DE LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL

El municipio de Vélez, posee una distribución de su territorio muy especial y en general de forma alargada hacia el norte, por lo que muchas de las estaciones meteorológicas de municipios vecinos y de algunos alejados de su casco urbano, participan directamente en el registro de la precipitación media mensual y se tuvieron en cuenta para realizar el análisis espacio temporal de la lluvia.

En la siguiente figura, se observan las estaciones incluidas en el análisis y de las cuales se obtuvo la información directamente del IDEAM, para diferentes series de años de registro.

En la tabla a continuación, se reportan las veintiún (21) estaciones meteorológicas existentes en correspondencia y/o en proximidad del área de interés, de las cuales casi la mitad (9) registran los parámetros que se utilizaron para el presente estudio, de acuerdo a su distribución espacial con respecto al territorio municipal.

En la figura 70 se aprecia la ubicación de las estaciones meteorológicas tomadas en cuenta para el análisis, con los respectivos polígonos de Thiessen.

Con el fin de establecer escenarios válidos para el análisis, se tomaron las medias mensuales multianuales de precipitación para cada una de las estaciones involucradas en el registro de la lluvia dentro de la zona de estudio, utilizando las series de datos de todos los años disponibles para cada una de ellas. Como se reporta en la tabla 11, solo en cuatro de ellas se registran precipitaciones menores a dos mil (2000) mm anuales.

**Tabla 11.** Estaciones meteorológicas próximas e intervinientes en el análisis de la precipitación para el área rural del Municipio de Vélez.

NOMBRE	CODIGO	ALTURA	LONGITUD	LATITUD	TIPO	SUSPENDIDA
Miravalles *	2401075.0	1730.0	73.609167	5.925833	PO	
Guavata *	2401082.0	2018.0	73.702500	5.961389	PO	
Vélez granja *	2401527.0	2170.0	73.672778	5.997222	CO	
Bolívar *	2401064.0	2260.0	73.770833	5.986111	PO	
Landázuri *	2312513.0	1085.0	73.808889	6.221389	CO	
Cimitarra	2312512.0	300.0	73.952222	6.308611	CO	
La verde *	2312001.0	305.0	73.899722	6.412500	PO	
Pto. Araujo Alertas	2312020.0	159.0	74.082500	6.533889	PO	
Campo Capote*	2312504.0	180.0	73.920556	6.616111	CO	
El Carmen *	2314502.0	815.0	73.510000	6.696389	CO	
La fuente	2405010.0	815.0	73.279889	6.707250	PO	
Sta. Isabel	2404005.0	1300.0	73.206111	6.637500	PO	
El palmar	2405504.0	940.0	73.292000	6.549722	CO	
Simacota	2401066.0	1050.0	73.333889	6.443611	PO	
El rodeo	2401074.0	1200.0	73.366667	6.366667	PO	x

\*Estaciones que tienen influencia en el área rural de Vélez.

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 12.** Estaciones meteorológicas próximas e intervinientes en el análisis de la precipitación para el área rural del Municipio de Vélez (continuación).

NOMBRE	CODIGO	ALTURA	LONGITUD	LATITUD	TIPO	SUSPENDIDA
Chima	2401022.0	1090.0	73.368333	6.355000	PO	x
El santuario *	2401107.0	1800.0	73.467222	6.323611	PO	
La laja	2401525.0	1400.0	73.415389	6.237167	CO	
San pedro	2401077.0	1400.0	73.450000	6.116667	PO	x
Suaita	2401076.0	1617.0	73.441389	6.102500	PO	
La Cómoda	2401011.0	1242.0	73.469167	6.076944	PO	

\*Estaciones que tienen influencia en el área rural de Vélez.

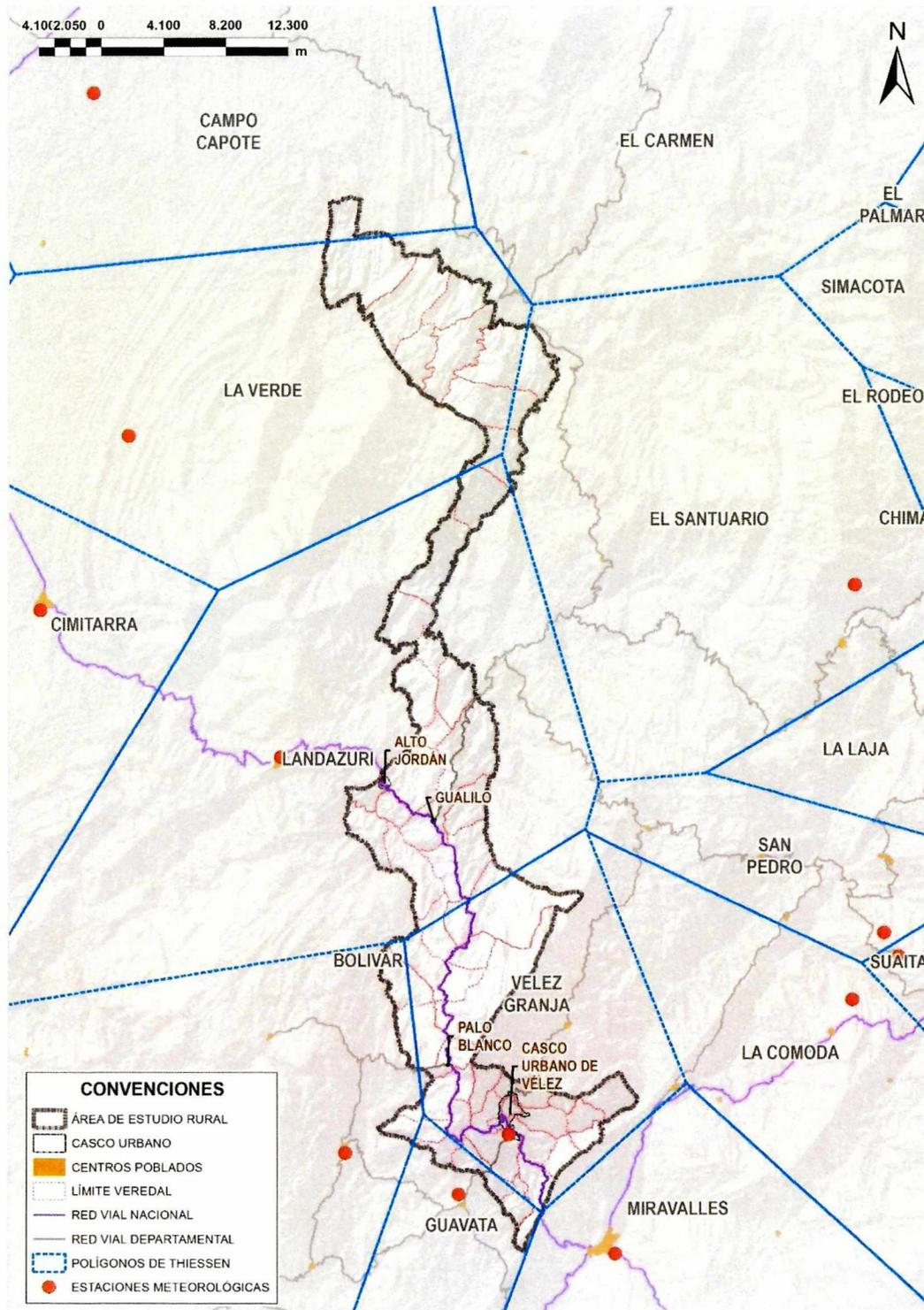
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 69.** Estaciones meteorológicas ubicadas en proximidad del municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 70.** Distribución espacial de las estaciones influyentes por polígonos de Thiessen.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13. PMM = Precipitación Media Mensual en mm/mes. Para las estaciones aledañas al municipio de Vélez Sder.

Estación	PMM Ene	PMM Feb	PMM Mar	PMM Abr	PMM May	PMM Jun	PMM Jul	PMM Ago	PMM Sep	PMM Oct	PMM Nov	PMM Dic
Miravalles *	42.42	65.23	132.61	235.25	240.99	196.92	162.65	165.05	221.46	267.73	167.22	72.89
Guavatá *	64.56	97.43	151.26	271.01	291.96	169.02	138.48	156.78	226.18	275.86	209.73	98.22
Vélez Granja*	49.58	82.93	110.50	232.95	258.71	178.85	173.73	158.00	210.89	259.54	169.21	78.22
Bolívar*	60.11	96.36	152.72	266.29	326.37	210.03	189.26	213.59	255.71	291.89	200.69	95.59
Landázuri *	110.76	158.54	202.52	295.56	355.18	322.24	254.86	256.70	310.61	347.21	297.13	181.06
Cimitarra	125.83	168.56	268.31	322.60	273.92	193.32	153.57	194.10	270.80	360.07	326.29	201.52
La verde*	141.06	201.97	305.33	389.78	368.28	261.56	226.88	237.83	359.80	471.84	447.14	213.98
Pto. Araujo Alertas	71.39	117.78	170.01	262.38	311.51	183.03	201.98	227.55	338.42	390.53	314.56	119.32
Campo Capote*	74.60	103.90	182.95	251.90	294.10	187.44	173.28	201.26	301.98	359.67	310.19	149.62
El Carmen*	81.03	101.89	158.92	238.51	289.43	212.58	188.59	226.69	251.87	283.95	239.47	135.92
La fuente	37.92	55.67	72.35	156.74	197.36	115.12	120.85	121.69	192.12	236.23	145.00	50.85
Sta. Isabel	24.73	56.77	69.77	134.19	147.88	95.44	101.31	107.38	122.81	155.81	80.01	45.29
El palmar	60.21	96.09	106.46	208.08	225.37	111.66	140.21	159.78	236.36	261.29	186.09	74.57
Simacota	97.60	164.60	210.65	343.08	384.49	224.60	234.36	273.48	331.68	421.16	286.15	141.97
El rodeo	90.48	161.22	167.03	289.51	291.22	189.61	199.58	234.97	338.78	344.25	291.62	145.49
Chima	156.46	150.24	321.99	514.30	490.64	344.33	332.31	365.93	399.28	555.46	518.76	216.80
El santuario*	152.41	170.20	287.31	419.56	534.26	372.53	338.07	424.26	454.78	482.81	393.18	236.08
La laja	113.86	160.11	230.84	355.18	384.33	260.37	264.97	272.30	323.32	409.18	344.16	200.66
San pedro	87.04	147.85	155.14	246.41	266.95	256.78	225.69	195.94	233.32	303.84	263.74	173.46
Suaita	100.90	97.64	153.68	254.83	306.78	224.13	193.03	208.46	223.70	300.78	227.89	135.47
La Cómoda	82.80	102.33	163.98	260.22	322.98	224.42	213.49	206.23	257.33	288.05	221.87	112.41

Fuente: IDEAM

En concordancia con la metodología propuesta por Mora y Vahrson (1991) se adoptaron los rangos de precipitación reportados en la tabla a continuación.

**Tabla 14.** Rangos de precipitación adoptados para el análisis de precipitación media mensual multianual.

Precipitación media mensual [mm/mes]
< 125
125-250
>250

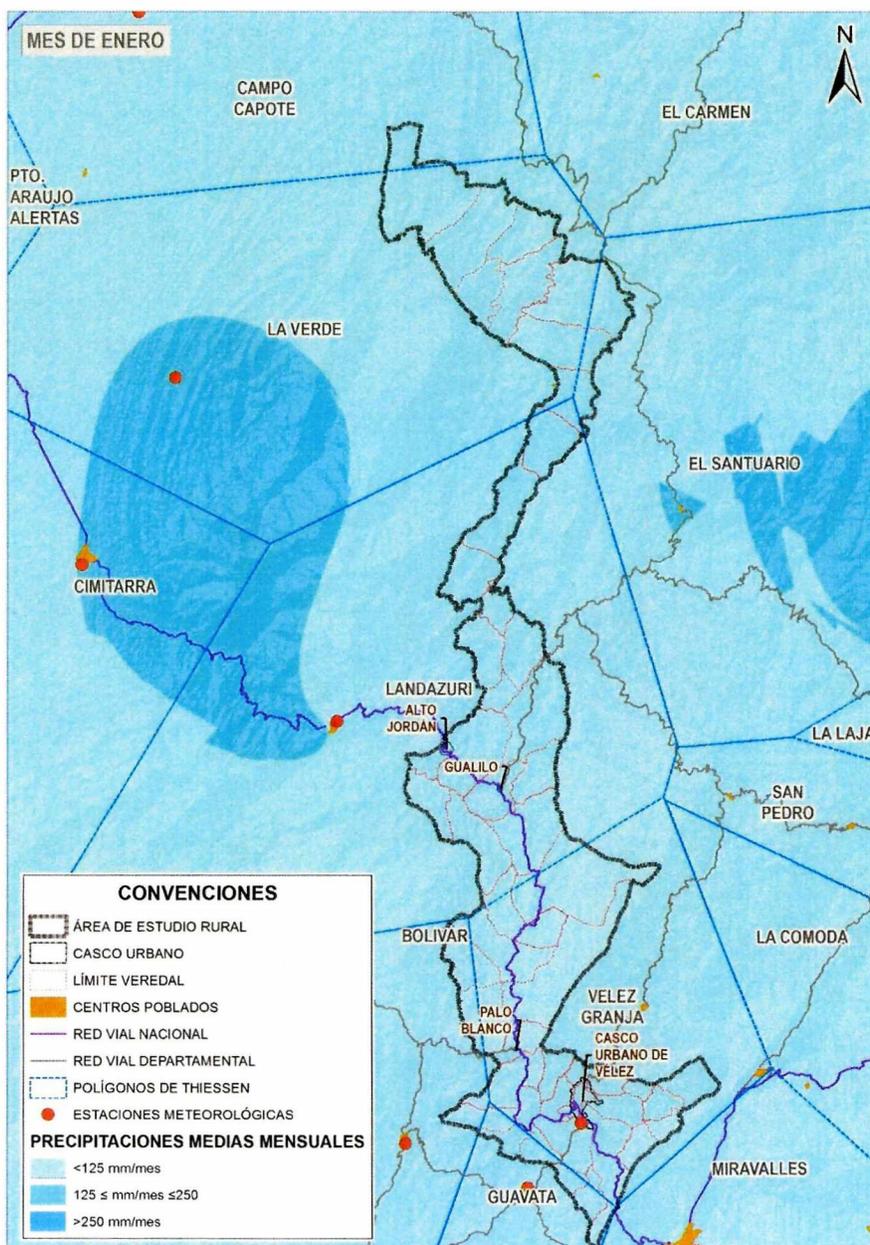
Fuente: Adaptado de Mora y Vahrson (1991)

El rango >250 mm/mes, corresponde a zonas con precipitación mayor a los 3000 mm/año, que de acuerdo a la clasificación de las Zonas de Vida según Holdridge, corresponde a Bosque Húmedos Tropicales y Bosques muy Húmedos Subtropicales.

Con el fin de obtener los mapas de precipitación media mensual multianual, que constituyen el insumo principal para la estimación de la humedad del suelo para la zona de estudio, se realizó la interpolación de los datos de precipitación media mensual (PMMM) multianual registrados por estación, expresada en mm/mes.

El mes de Enero, es el más seco para todas las estaciones, registrándose menos de 125 mm en toda la jurisdicción municipal. Este valor es aún muy alto considerando que se registra en el periodo de máxima sequía. Aún en tiempo seco la humedad del suelo se verá entonces garantizada por la precipitación, evento que para nada favorece a la estabilidad de los taludes, aún en tiempo seco (figura 71).

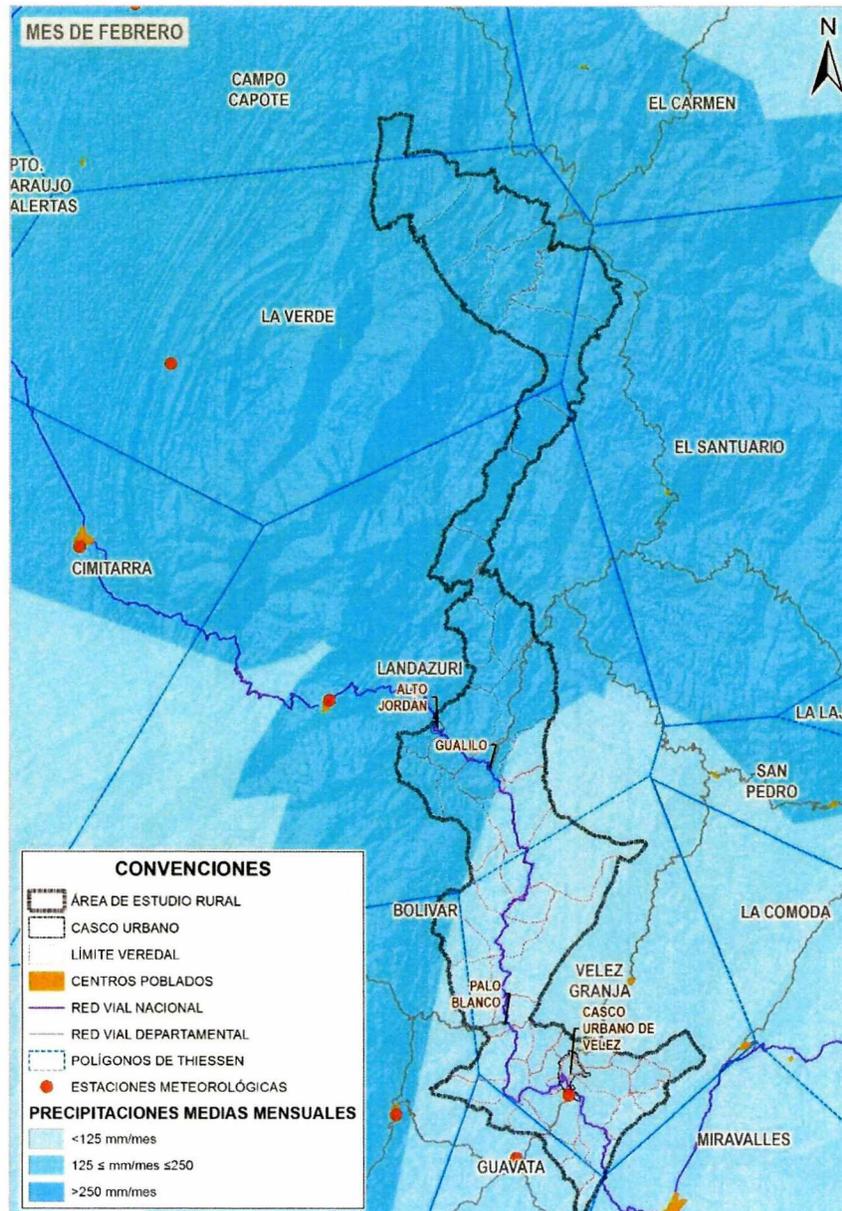
**Figura 71.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Enero.



Fuente: Elaboración Propia

Para el mes de Febrero, se observan dos grandes zonas: las partes bajas del Municipio (hacia el centro y centro-norte) desde las veredas Rionegro cascajero, Gualilo y Santa Rosa hacia el Norte, con un rango de precipitaciones correspondiente a la zona de vida del bosque húmedo tropical; las áreas que se extienden hacia el sur a partir de éstas mismas veredas y hasta los límites municipales, muestran precipitaciones relativamente más bajas.

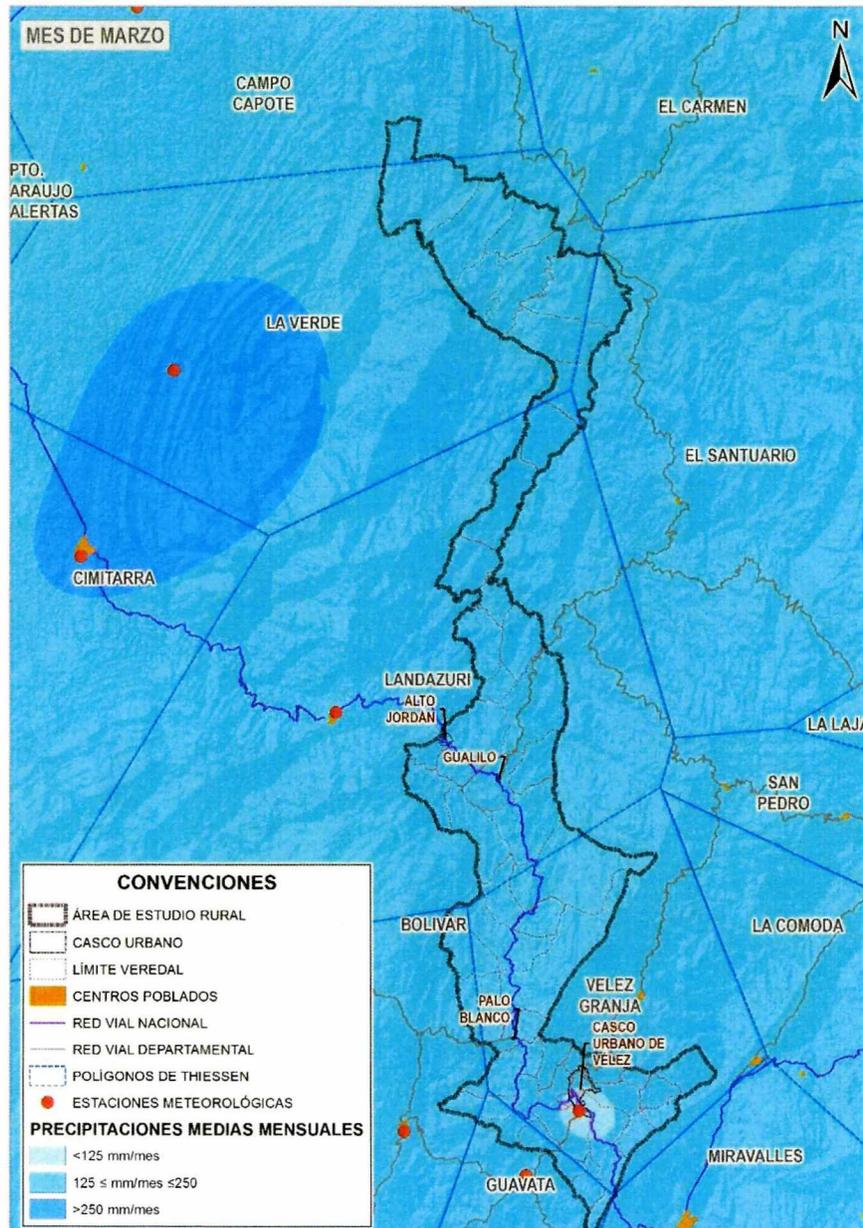
**Figura 72.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Febrero.



Fuente: Elaboración Propia

Para el mes de Marzo, solo en la zona Urbana municipal y sus alrededores (las veredas circunvecinas de Laureles, Tubavita, El Amarillo, El Limón y La Capilla), muestra una precipitación contenida en el rango más bajo (<125 mm/mes), mientras que de forma generalizada, la tendencia de las zonas de vida del bosques húmedo y muy húmedo se conserva para toda la jurisdicción municipal (figura 73).

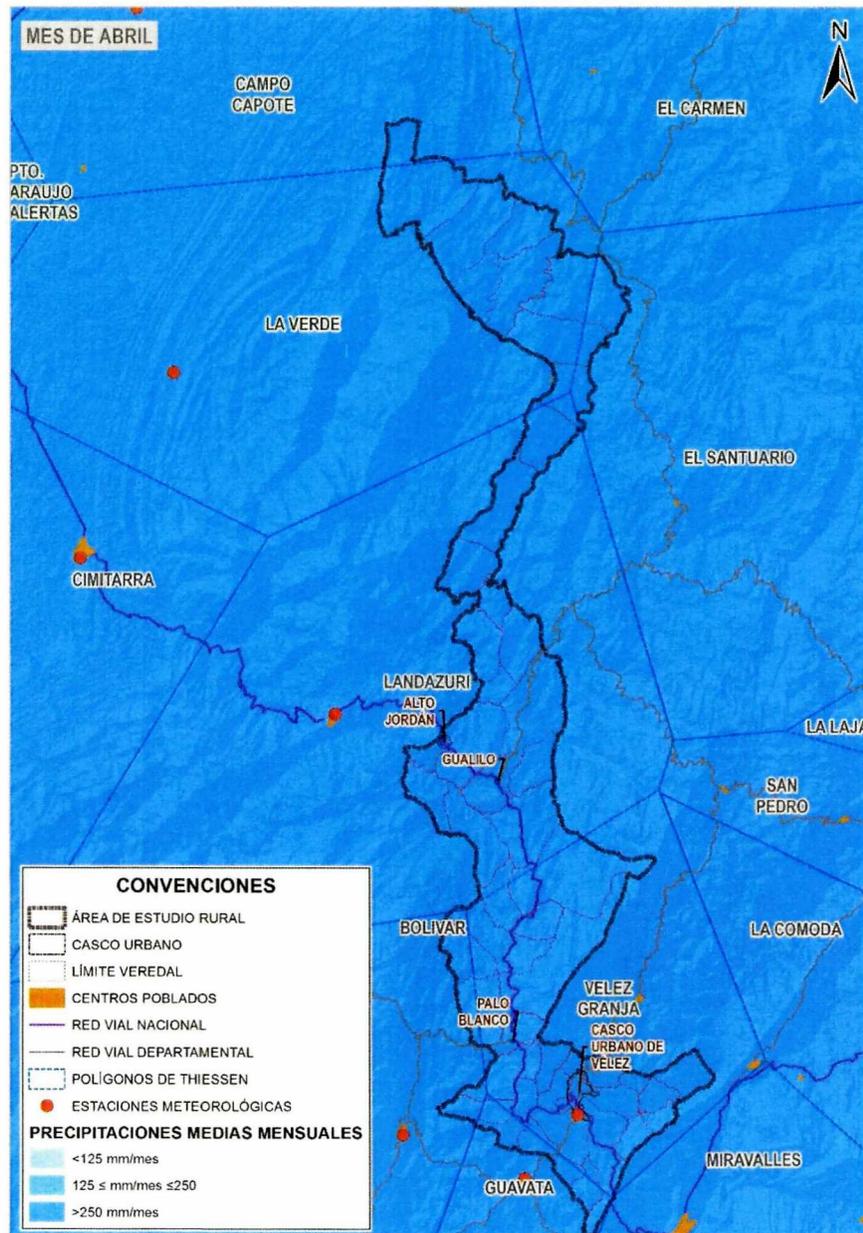
**Figura 73.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Marzo.



Fuente: Elaboración Propia

El mes de Abril, corresponde a uno de los más lluviosos y al inicio de la primera época de lluvias (de acuerdo al régimen bimodal registrado para todo el municipio). La precipitación supera en todas las estaciones los 250 mm/mes, como se observa en la siguiente figura, por lo que se espera la evolución de un escenario desfavorable en el tiempo para la estabilidad de los taludes por exceso de humedad en sus suelos, debido a la lluvia.

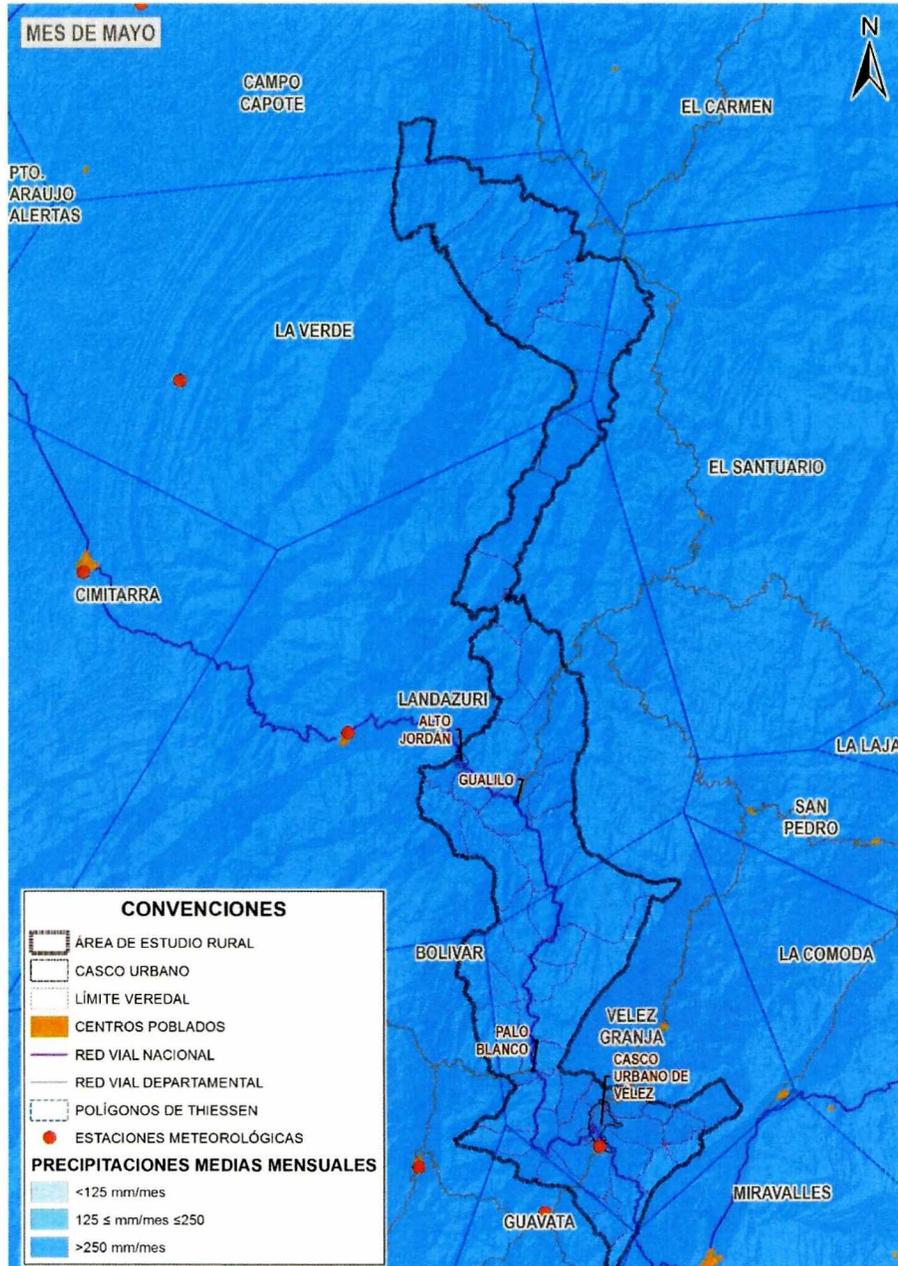
**Figura 74.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Abril.



Fuente: Elaboración Propia

Durante el mes de Mayo, de manera exactamente igual al mes de Abril, la precipitación supera los 250 mm/mes agravando los escenarios de humedad del suelo para toda el área rural del municipio de Vélez.

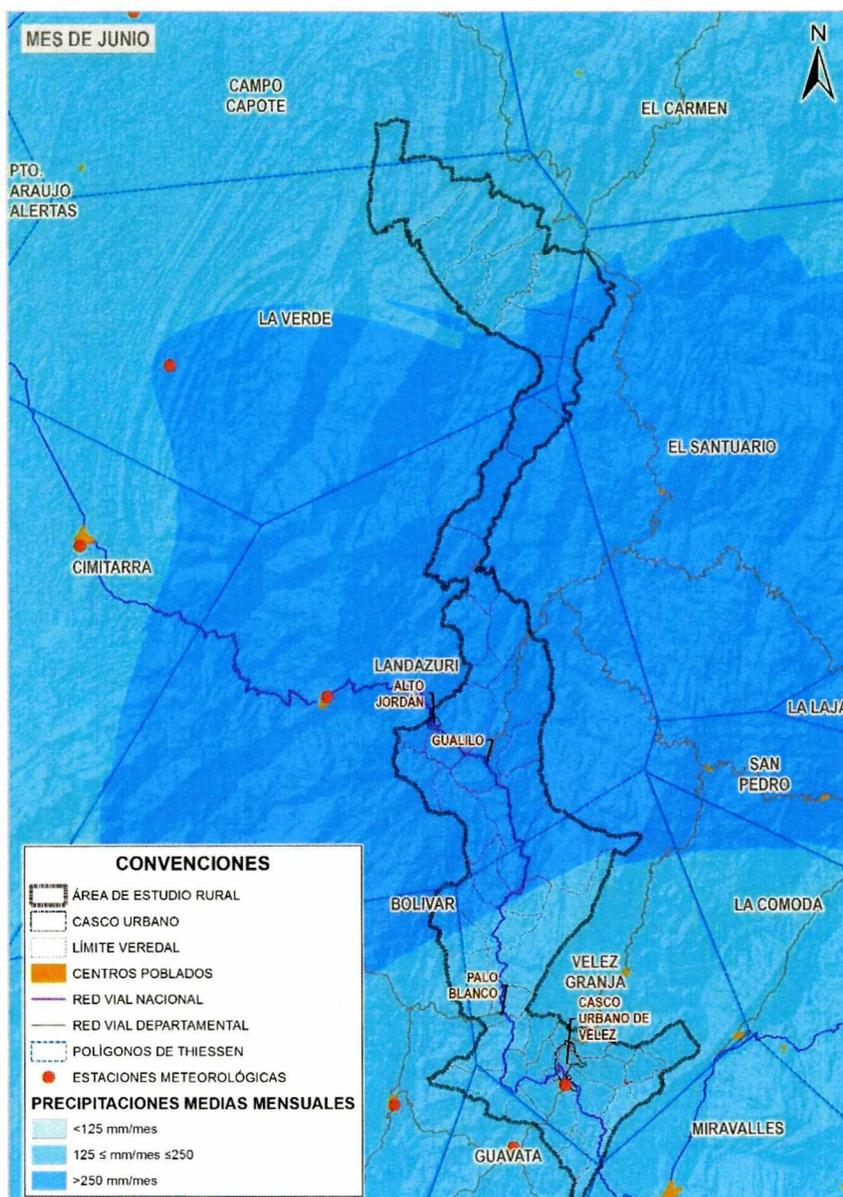
**Figura 75.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Mayo.



Fuente: Elaboración Propia

En Junio, el régimen de precipitaciones divide el área de estudio en dos áreas distintas: la zonas sur y norte con precipitaciones entre 125 y 250 mm/mes, y el área central del municipio (al norte de las veredas de llanadas, la Visinia, la Héliida y Salandas y al sur de las veredas La Tablona y Quebrada Larga) donde la lluvia supera los 250 mm/mes. Esta condición presenta un escenario desfavorable para la zona central del municipio, ya que la lluvia acumulada supera los 750 mm/mes en los últimos tres meses del análisis (ver figura 76).

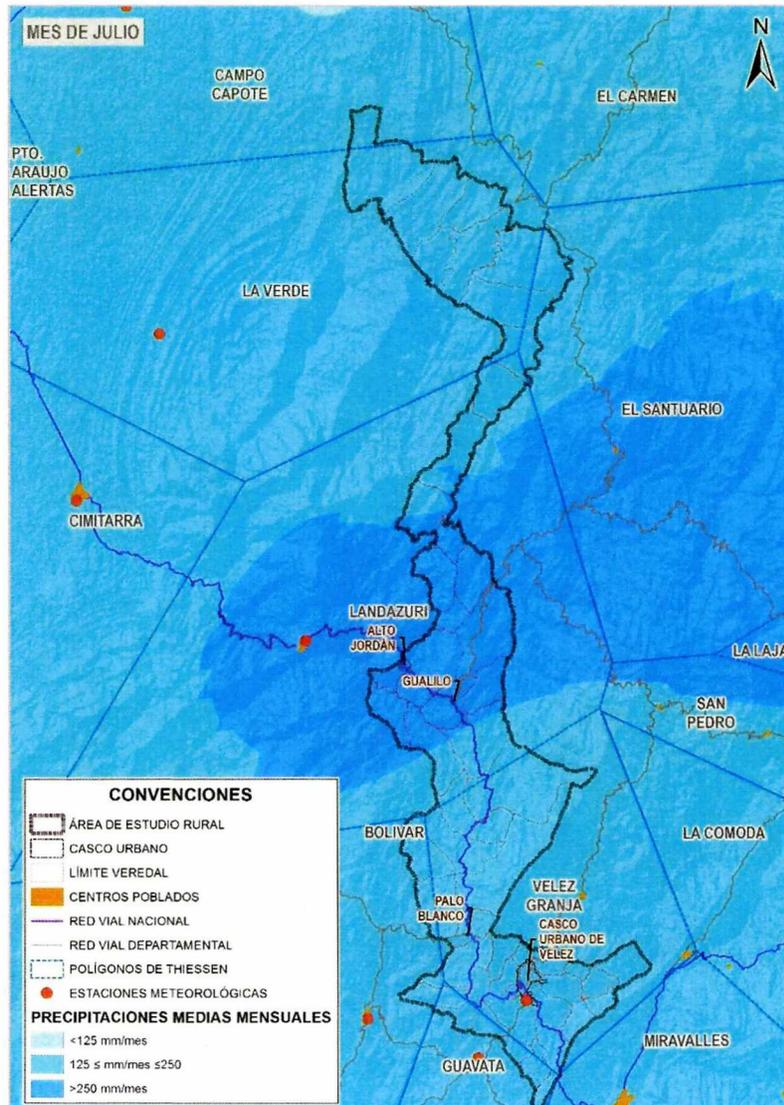
**Figura 76.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Junio.



Fuente: Elaboración Propia

En el mes de Julio, la precipitación en la zona entre las veredas de la Soledad y al sur las de Cuba y Rio Negro casajero, ha superado una acumulación de más de 1000 mm para un periodo de cuatro meses, sobrepasando el límite que algunos métodos hidrológicos establecen para considerar la lluvia antecedente a un evento mayor, y que en forma general observan precipitaciones antecedentes a dicho evento, superiores a 12,5 cm precipitados en los cinco días anteriores y aquí en éste escenario, se alcanzan precipitaciones promedio de 8,33 cm/día, muy superiores a acumulaciones antecedentes a las estimadas por métodos hidrológicos. Este evento, supera toda expectativa respecto a la humedad antecedente y presente en el suelo en el momento de ocurrencia de un evento detonante también causado por una lluvia mayor (figura 77).

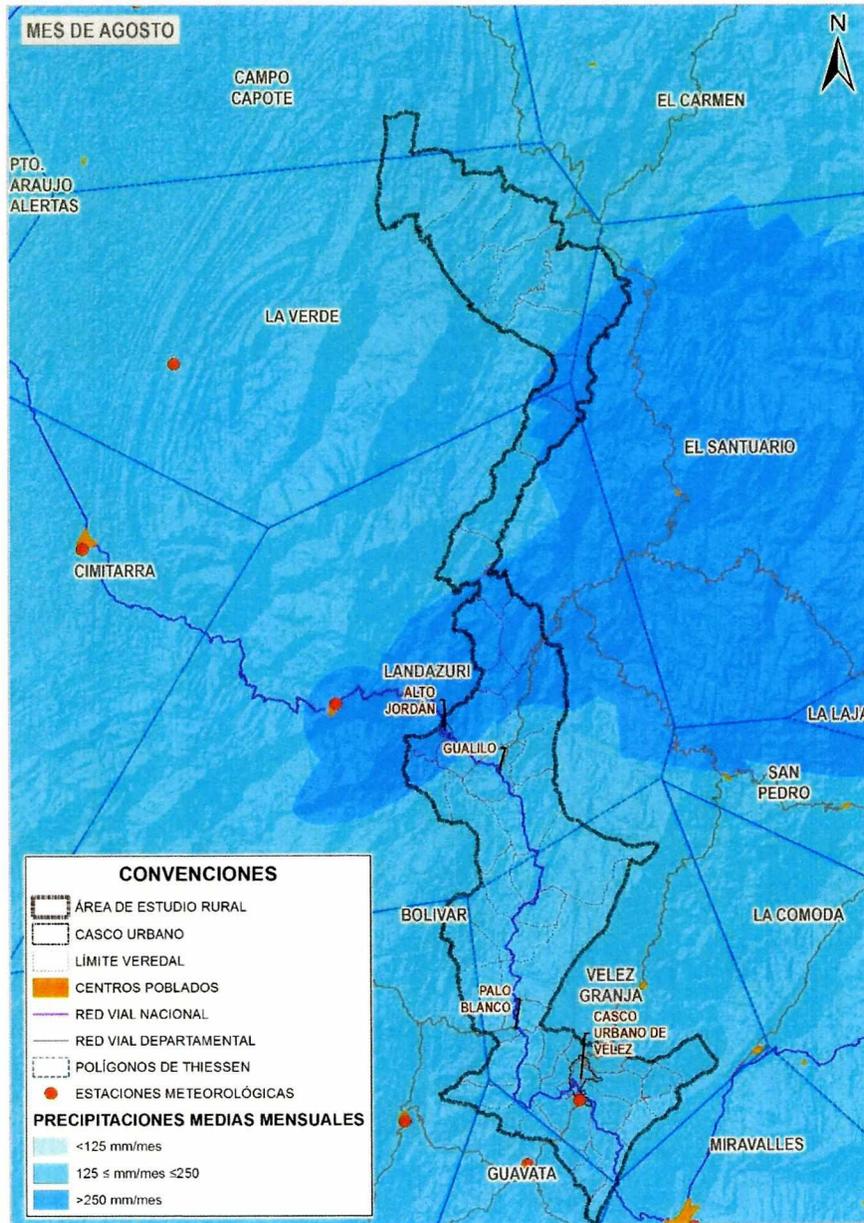
**Figura 77.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Julio.



Fuente: Elaboración Propia

Para Agosto, un área más reducida (entre las veredas de la soledad al norte; y al sur las de San Benito, campo hermoso, la Palma y el Recreo), continua mostrando acordes a la lluvia acumulada, niveles de humedad del suelo extremadamente altos (ver figura 78), en donde se superan los 1500 mm precipitados continuamente durante seis meses, al igual que las veredas San Pedro, Vista Hermosa, y la Tablona.

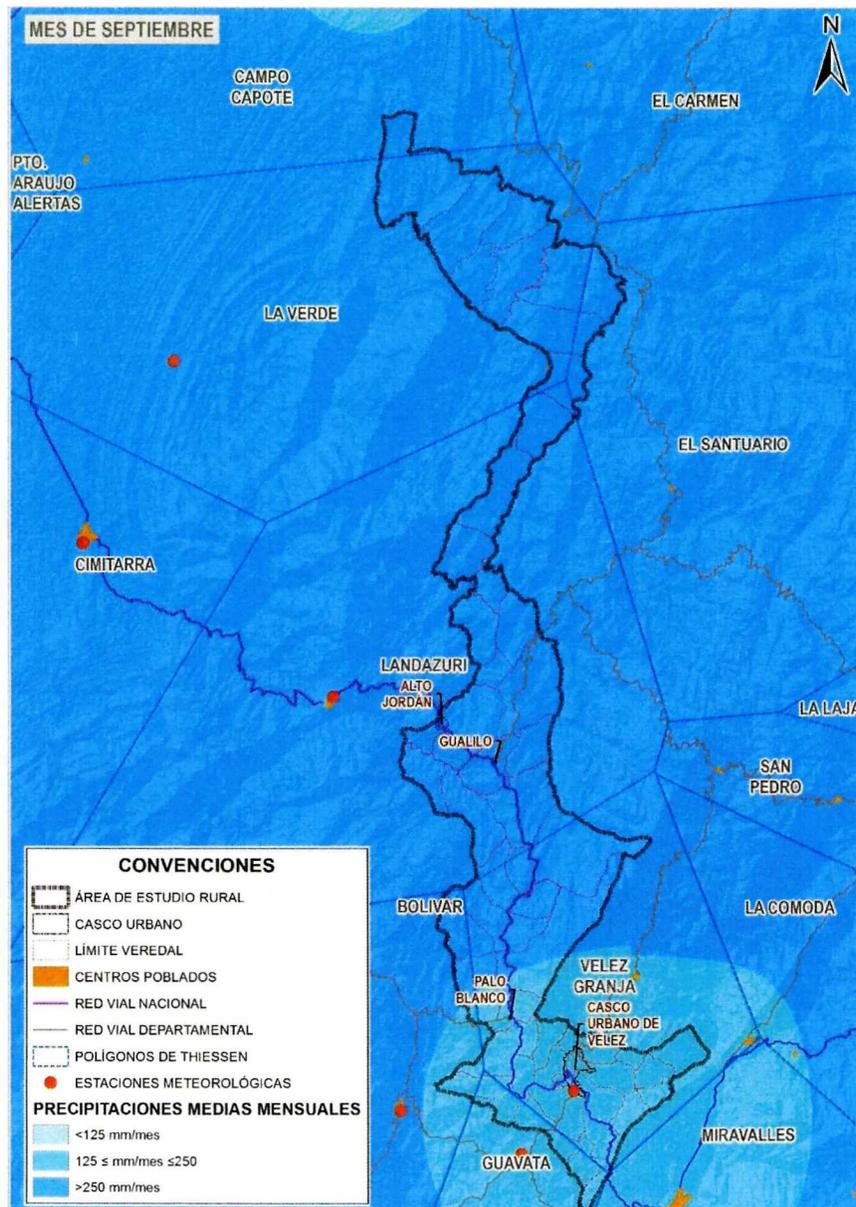
**Figura 78.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Agosto.



Fuente: Elaboración Propia

Para el mes de Septiembre, el clima de la región muestra el inicio de una segunda ola invernal para casi todo el municipio (ver figura 79). Solamente la zona sur de Vélez (hacia el sur de las veredas La Tebaida y el Gaital), registra precipitaciones entre 125 y 250 mm/mes, mientras que la restante zona rural municipal (hacia el norte de dichas veredas), supera los 250 mm/mes.

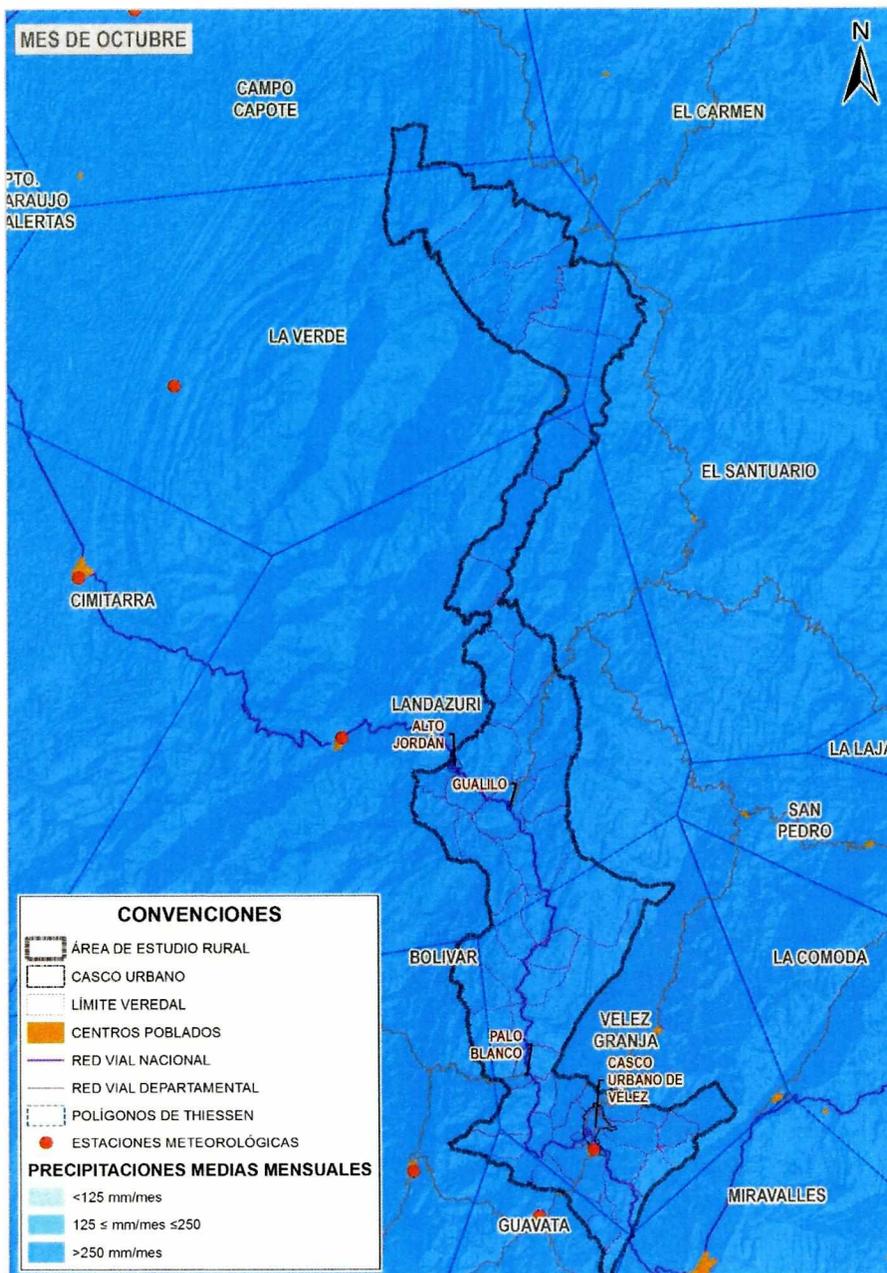
**Figura 79.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Septiembre.



Fuente: Elaboración Propia

Para el mes de Octubre, la precipitación supera en toda la jurisdicción municipal el rango más alto (> 250 mm/mes), mostrando un recrudecimiento del invierno, en el segundo período de lluvias del ciclo hidrológico.

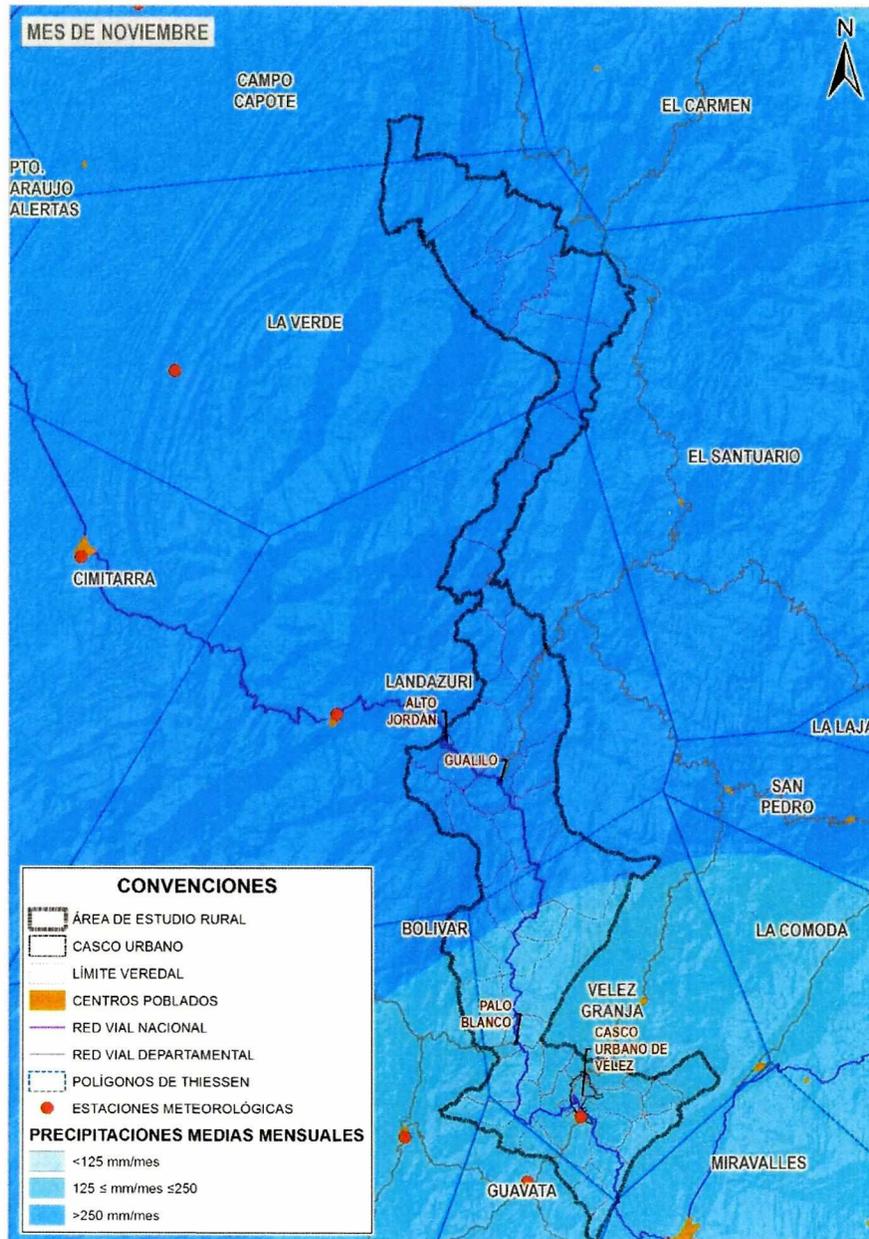
**Figura 80.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Octubre.



Fuente: Elaboración Propia

Para el mes de Noviembre, la zona de menor pluviosidad que se presentó en el mes de Septiembre, se extiende desde el sur hacia el norte hasta las veredas de Llanadas, La Visinia, La Héliida y Salandas, mientras que se mantiene desde allí y hacia el norte; en valores superiores a los 250 mm/mes, hasta los límites municipales

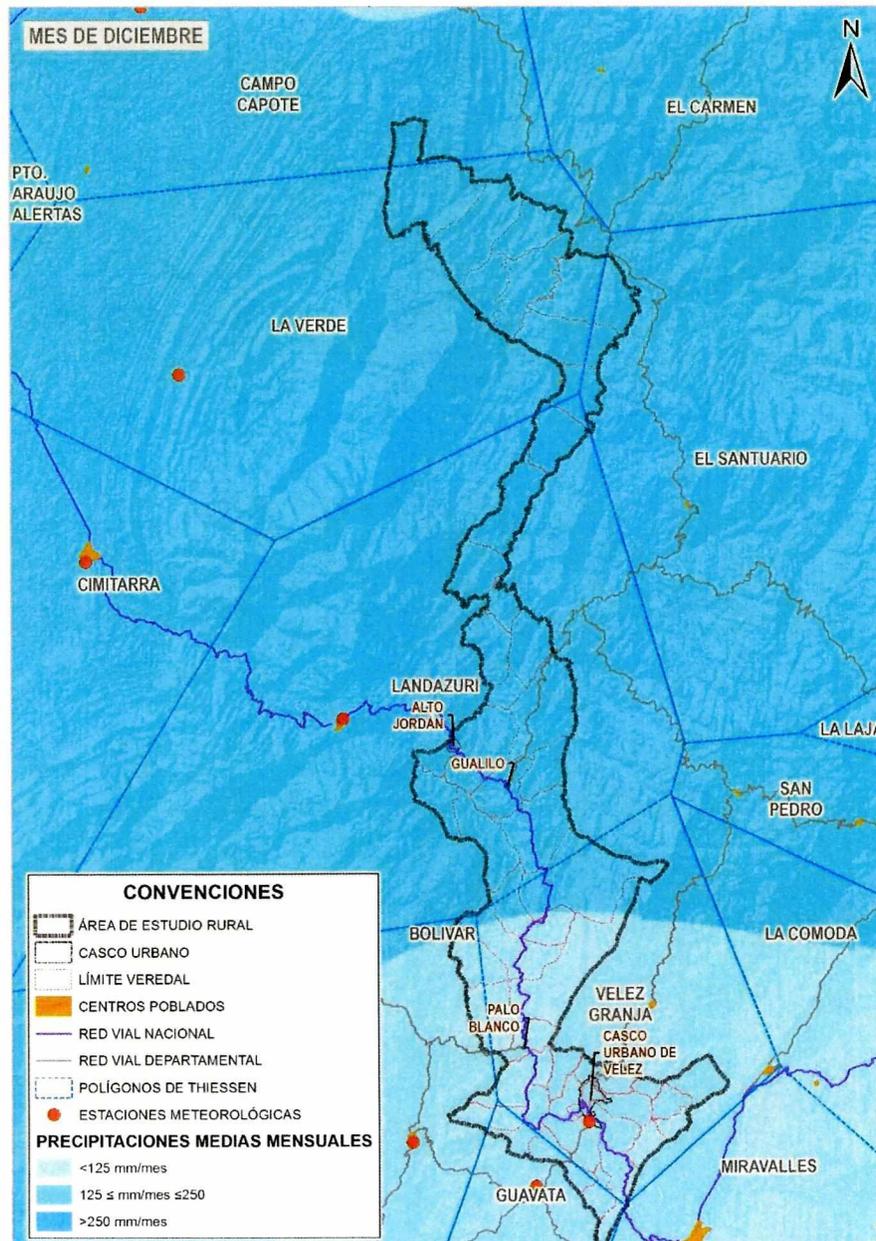
**Figura 81.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Noviembre.



Fuente: Elaboración Propia

En el mes de Diciembre inicia la época seca en el municipio y la precipitación desciende a valores medios hacia el norte de las veredas de Llanadas, La Visinia, La Hélida y Salandas (entre 125 y 250 mm/mes), mientras que al sur de éstas veredas hasta el límite municipal, se registra una precipitación menor a 125 mm/mes (ver figura 82).

**Figura 82.** Precipitación media para la zona rural del Municipio de Vélez durante el mes de Diciembre.



Fuente: Elaboración Propia

### 7.3. ASIGNACION DE INDICES DE PRECIPITACIÓN

De acuerdo a la metodología propuesta por Mora y Varhson (1991), para cada zona delimitada en los meses anteriormente analizados, se asignó un valor de índice correspondiente al rango de precipitaciones medias mensuales registradas, cuyo valor oscila entre 0 y 2 (ver tabla 15).

**Tabla 15.** Valores del índice de precipitación asignados a los promedios mensuales de precipitación.

Precipitación media mensual [mm/mes]	Valor asignado
< 125	0
125-250	1
>250	2

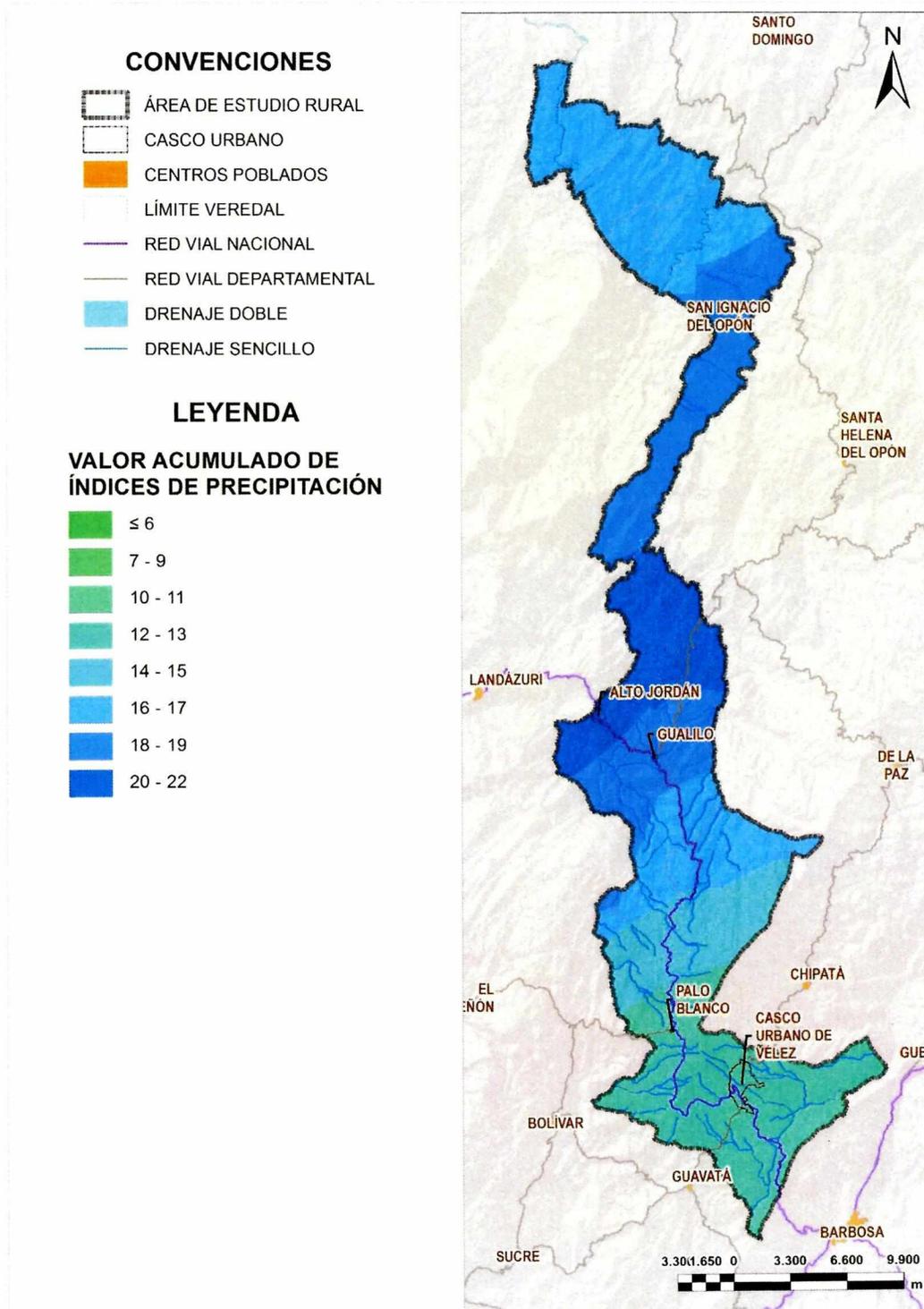
Fuente: Adaptado de Mora y Vahrson (1991)

Con el fin de integrar la información de precipitación media mensual en una sola variable, se realizó la suma de los valores de los índices de precipitación para los doce meses del año, obteniendo un valor acumulado comprendido entre 0 y 24.

Como resultado de este proceso se obtiene un mapa de humedad del suelo (ver figura 83), en donde es posible observar zonas homogéneas y su respectivo rango de precipitaciones medias mensuales acumuladas, al cual corresponde un específico valor de los índices acumulados de precipitación.

De acuerdo a los resultados obtenidos, en las zonas que se extienden del centro Norte de las veredas de San Benito, Campo Hermoso, La Palma y el Recreo, hasta la totalidad de la vereda Altamira, se registran la más alta calificación producto de la lluvia acumulada durante todo el año, mientras que a partir del centro sur de las veredas La Tebaida y El Gaital, hasta el límite meridional del municipio, se obtienen las calificaciones menores, debido a la menor precipitación acumulada durante todo el año.

**Figura 83.** Valor acumulado de índices de precipitación (Plano R-09).



Fuente: Elaboración Propia

#### 7.4. CALIFICACIÓN PARA LA SUSCEPTIBILIDAD POR HÚMEDAD DEL SUELO

De acuerdo a la metodología propuesta por Mora y Vahrson (1991), los valores acumulados en los índices de precipitación, se utilizaron como base para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa por humedad del suelo para el área rural del municipio de Vélez, mediante su agrupación y calificación según una escala de 1 a 5, según se reporta en la tabla a continuación.

**Tabla 16.** Calificación de la humedad del suelo para la susceptibilidad a movimientos en masa.

SUSCEPTIBILIDAD (FACTOR Sh)	CALIFICACIÓN	VALOR ACUMULADO DE ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN
1	MUY BAJA	0 - 4
2	BAJA	5 - 9
3	MEDIA	10 - 14
4	ALTA	15 - 19
5	MUY ALTA	20 - 24

Fuente: Adaptado de Mora y Vahrson (1991)

De acuerdo a los resultados obtenidos (ver figura 84), en el territorio del municipio de Vélez se registra la presencia de tres zonas de susceptibilidad a movimientos en masa por humedad del suelo:

**Susceptibilidad Media (3):** corresponde a los territorios municipales con precipitaciones anuales entre 1250 mm y 1750 mm, que se extienden desde el límite sur del municipio, en dirección Norte, hasta las zonas centro meridionales de las veredas Llanadas, La Visinia, la Héliada, y la porción sur de la vereda Salandas, ocupando el 31.64% de la extensión total del municipio.

Esta zona incluye el casco urbano de Vélez, para el cual se realizó un estudio detallado de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo (AVR) a escala 1:2000 (volúmenes II-A, B y C), y que por pertenecer al territorio municipal se contempla en este capítulo, aunque a una escala menor (1:25.000). De igual forma, los centros poblados de Los Guayabos y Palo Blanco, que también se encuentran dentro del área de estudio rural, se ubican dentro de ésta calificación.

**Susceptibilidad Alta (4):** incluye la mayor parte del territorio municipal (50,06%) y corresponde a áreas con precipitaciones anuales entre 1875 mm y 2375 mm.

Esta zona ocupa dos grandes sectores dentro del área de estudio: el primero se extiende desde el límite norte de la zona de susceptibilidad media, hasta el centro sur de las veredas de San Benito, Campo hermoso, la Palma y el Recreo; el segundo, desde los límites entre las veredas de Altamira y la Soledad, y hacia el Norte, cubriendo toda la extensión de la zona rural municipal en esa dirección, donde se ubica el centro poblado de San Ignacio del Opón.

Dentro de esta zona, se ubica el centro poblado El Gualilo.

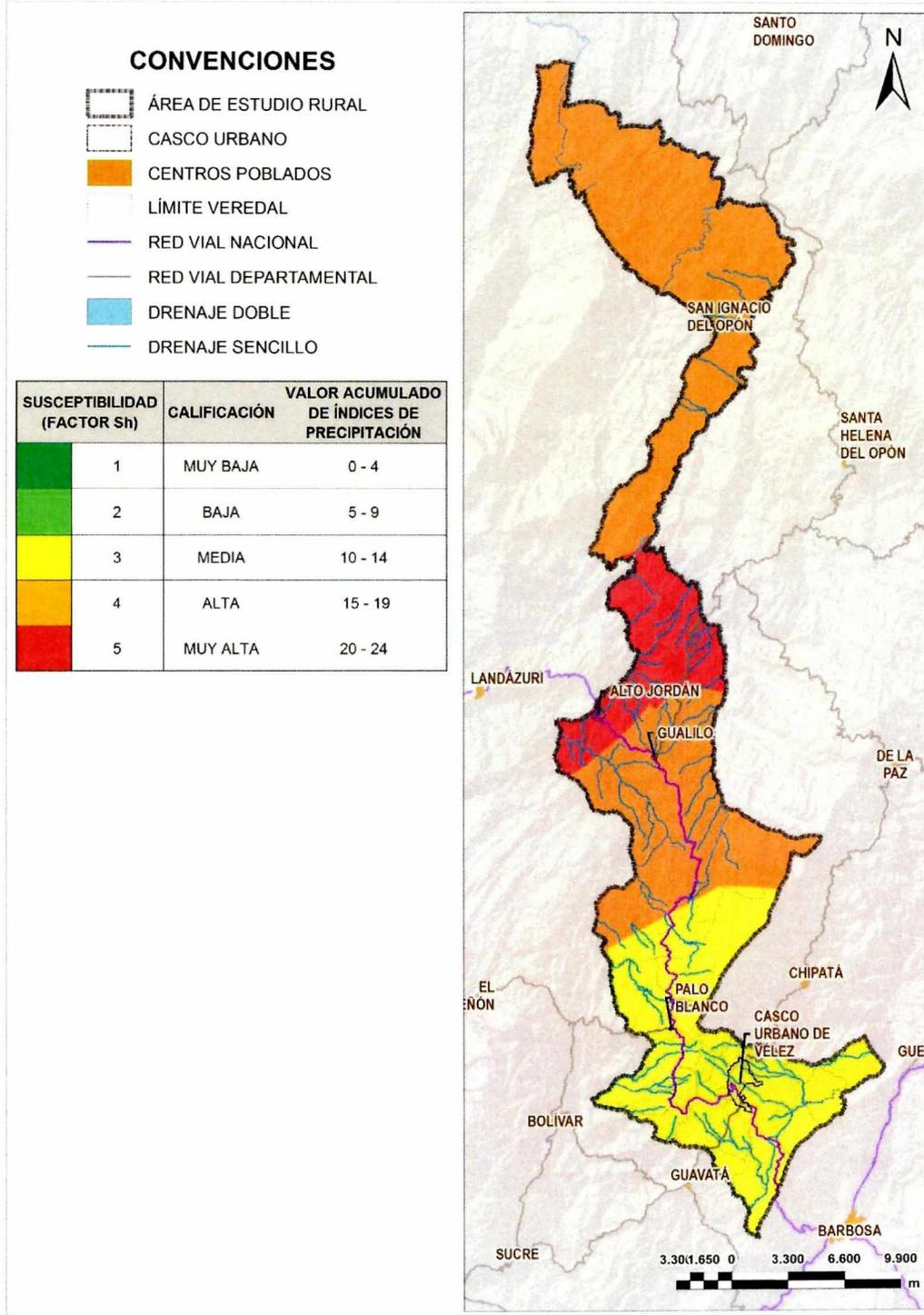
**Susceptibilidad muy Alta (5):** representa la zona de mayor susceptibilidad por humedad del suelo y se ubica en correspondencia de los sectores centrales del territorio municipal, entre el centro norte de las veredas de San Benito, Campo Hermoso, La Palma y el Recreo, Hasta la totalidad de la vereda Altamira, ocupando el 12.34% de la extensión total del municipio.

En esta zona se encuentra ubicado el centro poblado de Alto Jordán, para el cual se realizó un estudio detallado de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo (AVR) a escala 1:2000 (volumen III), y que por pertenecer al territorio municipal se contempla en este estudio, aunque a una escala menor (1:25.000).

Cabe resaltar que en el área de estudio no se registra la presencia de zonas de Susceptibilidad Baja (2) y Muy Baja (1), debido a que ninguna de las estaciones registra precipitaciones menores a los 1125 mm acumulados en un año.

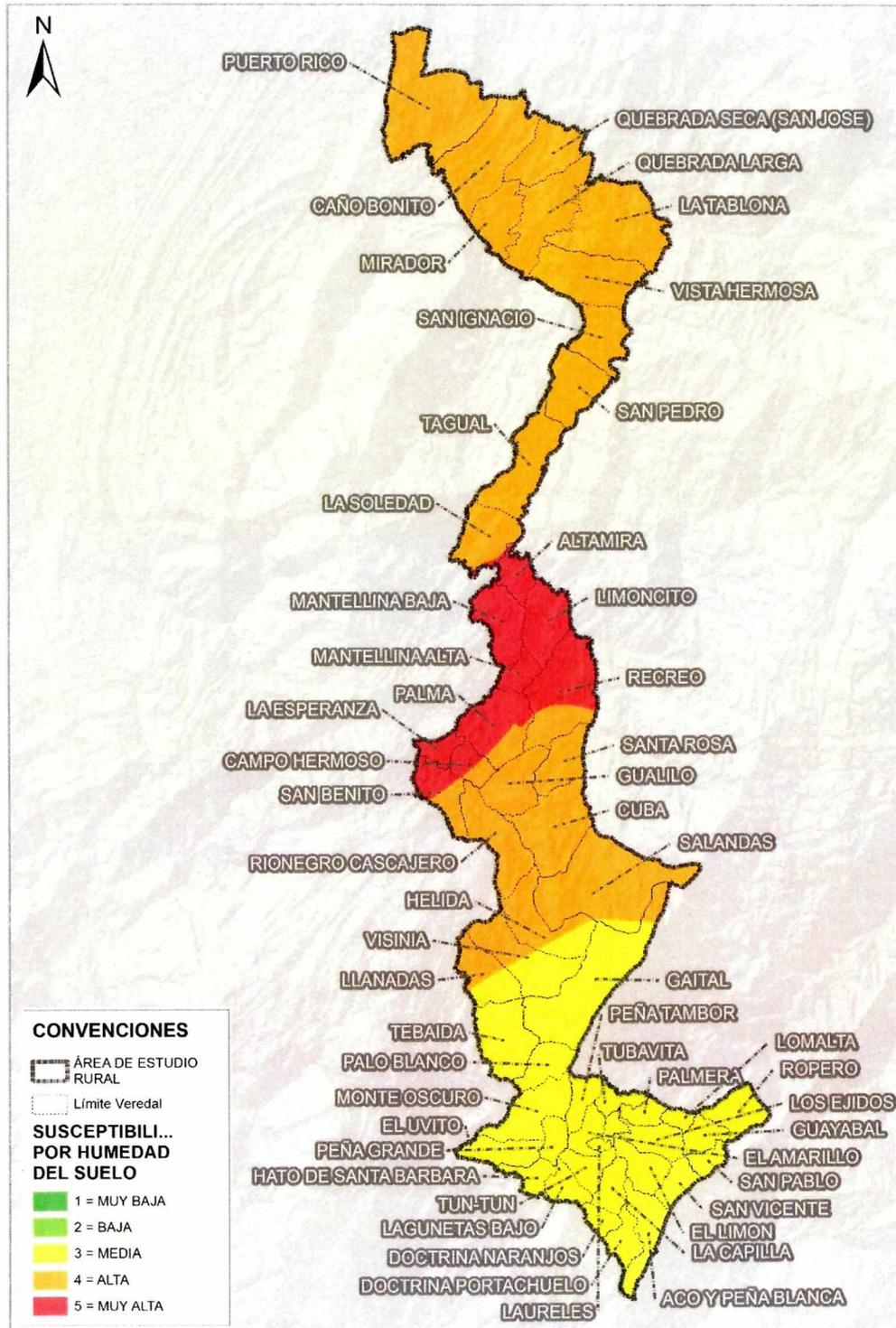
En la figura 85 se aprecia la distribución de las zonas de susceptibilidad anteriormente descritas por veredas.

**Figura 84.** Susceptibilidad a movimientos en masa por humedad del suelo del área rural del municipio de Vélez (Plano R-10).



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 85.** Distribución por vereda de la susceptibilidad a movimientos en masa por humedad de suelo.



Fuente: Elaboración Propia

## **8. USO Y COBERTURA DEL SUELO DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ**

### **8.1. INTRODUCCION**

Como parte de los estudios necesarios para la evaluación y zonificación de la amenaza por movimientos en masa, se ha realizado el estudio del uso y de la cobertura del suelo de los territorios comprendidos en la jurisdicción del Municipio de Vélez, el cual tiene como alcances la identificación del uso y cobertura vegetal existentes en la jurisdicción de este municipio, incluida la descripción de sus características, enfocándose al tipo de vegetación presente en el territorio, su distribución espacial, así como su densidad y altura en términos relativos. Esta información sirve de insumo en la evaluación de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

En el presente capítulo se describe el estudio de uso y cobertura vegetal realizado para el área rural del Municipio de Vélez (escala 1:25:000), incluyendo la descripción de la metodología empleada, las unidades de uso y cobertura del suelo encontradas, así como su extensión relativa con respecto al área de interés y su calificación como parte de la susceptibilidad por movimientos de remoción en masa.

### **8.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA**

#### **8.2.1. Unidades de cobertura y uso del suelo empleadas para el estudio**

Para la elaboración de los mapas de uso y cobertura del área rural del municipio de Vélez, se tomaron como base las unidades de cobertura adoptadas por la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra, Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000, elaborada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Solo se incluyeron las unidades de cobertura que se consideraron relevantes para el análisis de amenaza por remoción en masa a nivel rural, ajustando la definición de cada unidad de acuerdo con el nivel de detalle utilizado y las características particulares del territorio.

En la tabla 17 se reportan las categorías adoptadas por la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra que fueron tenidas en cuenta para la elaboración del presente estudio, hasta el nivel 3. La descripción detallada de las unidades de cobertura encontradas en el área de estudio, se presenta en el numeral 8.3.

**Tabla 17.** Unidades de uso y cobertura del suelo empleadas para el estudio. Área rural.

NIVEL JERÁRQUICO	UNIDADES ADOPTADAS POR LA LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA	UNIDADES EMPLEADAS EN ESTUDIO DE USO Y COBERTURA DEL SUELO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ
1	<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>
2	1.1. Zonas urbanizadas	1.1. Zonas urbanizadas
3	1.1.1. Tejido urbano continuo	1.1.1. Tejido urbano continuo
3	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	1.1.2. Tejido urbano discontinuo
3	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación
3	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	No incluida
3	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2. Red vial y terrenos asociados
3	1.2.3. Zonas portuarias	Unidad ausente en el área de estudio
3	1.2.4. Aeropuertos	Unidad ausente en el área de estudio
3	1.2.5. Obras hidráulicas	No incluida
2	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	No incluida
3	1.3.1. Zonas de extracción minera	No incluida
3	1.3.2. Zonas de disposición de residuos	No incluida
2	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas
3	1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.1. Zonas verdes urbanas
3	1.4.2. Instalaciones recreativa	No incluida
1	<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>
2	2.1. Cultivos transitorios	2.1. Cultivos transitorios
3	2.1.1. Otros cultivos transitorios	No incluida
3	2.1.2. Cereales	No incluida
3	2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	No incluida
3	2.1.4. Hortalizas	No incluida
3	2.1.5. Tubérculos	No incluida
2	2.2. Cultivos permanentes	No incluida
3	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	No incluida
3	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	No incluida
3	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	No incluida
3	2.2.4. Cultivos agroforestales	Unidad de difícil delimitación en el área de estudio
3	2.2.5. Cultivos confinados	Unidad ausente en el área de estudio
2	2.3. Pastos	2.3. Pastos
3	2.3.1. Pastos limpios	2.3.1. Pastos limpios
3	2.3.2. Pastos arbolados	No incluida
3	2.3.3. Pastos enmalezados	No incluida
2	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	No incluida
3	2.4.1. Mosaico de cultivos	Unidad ausente en el área de estudio
3	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	No incluida
3	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
3	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
3	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	No incluida
1	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
2	3.1. Bosques	3.1. Bosques
3	3.1.1. Bosque denso	Unidad ausente en el área de estudio
3	3.1.2. Bosque abierto	Unidad ausente en el área de estudio
3	3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.3. Bosque fragmentado
3	3.1.4. Bosque de galería y ripario	No incluida
3	3.1.5. Plantación forestal	Unidad ausente en el área de estudio
2	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
3	3.2.1. Herbazal	Unidad ausente en el área de estudio
3	3.2.2. Arbustal	Unidad ausente en el área de estudio
3	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2	3.3. ÁREAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	3.3. ÁREAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN
3	3.3.1. Áreas arenosas naturales	Unidad ausente en el área de estudio
3	3.3.2. Afloramientos rocosos	No incluida
3	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	No incluida
3	3.3.4. Zonas quemadas	No incluida
3	3.3.5. Zonas glaciares y nivales	Unidad ausente en el área de estudio

Fuente: Equipo Técnico - UIS.

**Tabla 18.** Unidades de uso y cobertura del suelo empleadas para el estudio (continuación).

NIVEL JERÁRQUICO	UNIDADES ADOPTADAS POR LA LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA	UNIDADES EMPLEADAS EN ESTUDIO DE USO Y COBERTURA DEL SUELO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ
1	<b>4. ÁREAS HÚMEDAS</b>	<b>4. ÁREAS HÚMEDAS</b>
2	4.1. ÁREAS HÚMEDAS CONTINENTALES	No incluida
3	4.1.1 Zonas pantanosas	No incluida
3	4.1.2. Turberas	No incluida
3	4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	No incluida
2	4.2 ÁREAS HÚMEDAS COSTERAS	No incluida
3	4.2.1. Pantanos costeros	No incluida
3	4.2.2. Salitral	No incluida
3	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar	No incluida
1	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2	5.1 AGUAS CONTINENTALES	5.1 AGUAS CONTINENTALES
3	5.1.1 Ríos	Unidad excluida; ver estudio hidrológico
3	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Unidad ausente en el área de estudio
3	5.1.3. Canales	Unidad ausente en el área de estudio
3	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2	5.2. AGUAS MARITIMAS	Unidad ausente en el área de estudio
3	5.2.1. Lagunas costeras	Unidad ausente en el área de estudio
3	5.2.2. Mares y océanos	Unidad ausente en el área de estudio
3	5.2.3. Estanques para acuicultura marina	Unidad ausente en el área de estudio

Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Para adaptar las unidades de cobertura de la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra escala 1:100.000, se ajustó la unidad mínima cartografiada de manera proporcional a la escala empleada en el presente estudio (1:25.000), de la siguiente forma:

- Para territorios artificializados (categoría 1), la unidad mínima cartografiada corresponde a 0.3 hectáreas, lo cual permitió discriminar la presencia de pequeños centros poblados.
- Para las demás coberturas, la unidad mínima cartografiada es de 1.5 hectáreas, lo cual permitió representar cartográficamente la presencia de pequeñas extensiones pertenecientes a unidades de cobertura que se encuentran inmersas dentro de otras.

### 8.2.2. Insumos cartográficos

Para la realización de los mapas de uso y cobertura del suelo del área rural, se tuvieron en cuenta las Imágenes satelitales sensor RAPIDEYE adquiridas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y las imágenes satelitales del sensor LANDSAT 5 y 8 del año 2000 al 2015, disponibles gratuitamente en la página web del U.S. Geological Survey (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

Con el fin de excluir los productos satelitales cuya calidad resultase insuficiente o inadecuada para la delimitación de las unidades de uso y cobertura del suelo, se ha realizado una selección de las imágenes satelitales adquiridas, con base en los siguientes criterios:

- Mayor cobertura o distribución espacial sobre el área de estudio.
- Fecha de adquisición más reciente.
- Mayor resolución espacial.
- Número y tipo de bandas espectrales disponibles para el análisis.
- Menor presencia de nubes y sombras que puedan cubrir el área de estudio o interferir en el proceso de clasificación de imágenes.

En la tabla 19 se relacionan las imágenes seleccionadas para la elaboración del mapa de uso y cobertura del suelo finales del área rural del Municipio de Vélez.

**Tabla 19.** Insumos cartográficos utilizados para la elaboración de los mapas de uso y cobertura del suelo del área rural del Municipio de Vélez.

CÓDIGO ESCENA	SENSOR	FECHA ADQUISICIÓN	BANDAS	RESOL. ESPACIAL	FUENTE
040301200000 0046	RAPIDEYE	2009/12/31	0.440-0.510 $\mu\text{m}$ (azul) 0.520-0.590 $\mu\text{m}$ (verde)	7 m	IGAC
040301200000 0189	RAPIDEYE	2010/01/16	0.630-0.685 $\mu\text{m}$ (rojo) 0.690-0.730 $\mu\text{m}$ (Borde del rojo) 0.760-0.850 $\mu\text{m}$ (Infrarrojo cercano)		
LT5008056200 7270CHM00	LANDSAT 5 TM*	2007/09/27	0.45-0.52 $\mu\text{m}$ (azul) 0.52-0.60 $\mu\text{m}$ (verde) 0.63-0.69 $\mu\text{m}$ (rojo) 0.76-0.90 $\mu\text{m}$ (Infrarrojo cercano) 1.55-1.75 $\mu\text{m}$ (Infrarrojo cercano) 2.08-2.35 $\mu\text{m}$ (Infrarrojo medio)	30 m	U.S.G.S.
			6. 10.40-12.50 $\mu\text{m}$ (Infrarrojo térmico)	120 m	
LC8008056201 5004LGN00	LANDSAT 8 OLI-TIRS*	2015/01/04	0.43-0.45 $\mu\text{m}$ (costero/aerosol) 0.45-0.51 $\mu\text{m}$ (azul) 0.53-0.59 $\mu\text{m}$ (verde) 0.64-0.67 $\mu\text{m}$ (rojo) 0.85-0.88 $\mu\text{m}$ (Infrarrojo cercano) 1.57-1.65 $\mu\text{m}$ (Infrarrojo de onda corta) 2.11-2.29 $\mu\text{m}$ (Infrarrojo de onda corta) 1.36-1.38 $\mu\text{m}$ (cirrus)	OLI 30 m 15 m pancromático	U.S.G.S.
			0.50-0.68 $\mu\text{m}$ (pancromática)	15 m	
			10.60-11.19 $\mu\text{m}$ (infrarrojo termal o de onda larga) 50-12.51 $\mu\text{m}$ (infrarrojo termal o de onda larga)	100 * (30) m	

TM: Thematic Mapper; OLI: Operational Land Imager; TIRS: Thermal Infrared Sensor.

Fuente: Equipo Técnico - UIS.

### 8.2.3. Identificación preliminar de las unidades de uso y cobertura del suelo

La identificación de las unidades de uso y cobertura del suelo se llevó a cabo recurriendo a la metodología de clasificación supervisada de imágenes descrita en el Manual del software ArcGis, consultable en la página <http://resources.arcgis.com/es/help>.

En términos estrictamente técnicos, la clasificación de imágenes consiste en la extracción de clases de información a partir de una imagen ráster multibanda. Como producto de este proceso, se obtiene un ráster que se puede utilizar para la creación de mapas temáticos.

En el caso del presente estudio, se ha utilizado este procedimiento para la identificación de unidades de uso y cobertura del suelo a través de herramientas especializadas del software ArcMap versión 10.2.2., las cuales permiten llevar a cabo la clasificación de manera semiautomatizada y/o manual, según las características de la información disponible y del área de estudio considerada, a partir de imágenes satelitales y/o aéreas.

Dependiendo de la interacción entre el analista y el equipo que lleve a cabo el proceso de clasificación, se distinguen dos tipos de clasificación: supervisada y no supervisada.

La clasificación supervisada utiliza firmas espectrales obtenidas de muestras de capacitación seleccionadas por el analista para clasificar una imagen, mientras que la clasificación no supervisada, es un proceso totalmente automatizado que obtiene clases espectrales en una imagen multibanda sin ninguna intervención por parte del analista.

Para la delimitación de las unidades de uso y cobertura existentes en el área de estudio rural, se ha realizado un proceso de clasificación de imagen supervisada, utilizando como rásteres de entrada las imágenes satelitales anteriormente descritas.

Considerando que las imágenes satelitales seleccionadas presentan características diferentes en términos de bandas espectrales, resolución espacial, fecha de adquisición y presencia de elementos que puedan interferir con la clasificación (nubes, neblina, entre otros), ha sido necesario procesarlas de forma independiente, con el fin de lograr una delimitación preliminar de las unidades de uso y cobertura del suelo uniforme y confiable, aunque la metodología utilizada para su procesamiento haya sido básicamente la misma.

#### a. Clasificación supervisada de imágenes

El procesamiento de las imágenes se ha realizado mediante la clasificación supervisada de imagen, utilizando el comando **Clasificación de Imagen** de la barra de herramientas del software ArcMap versión 10.2.2., que permite crear, de manera semiautomática, archivos de firmas espectrales (archivo firma) por categorías de uso del suelo, a partir de muestras representativas de píxeles seleccionadas en la imagen (muestras de capacitación).

Con el fin de incluir en el análisis todas las bandas existentes y obtener un mejor resultado, para la creación de las muestras de capacitación se ha trabajado sobre un ráster obtenido con un proceso de composición de bandas (herramienta **Bandas compuestas** de la caja de herramientas **Administración de datos**), que permite crear un único dataset ráster de múltiples bandas.

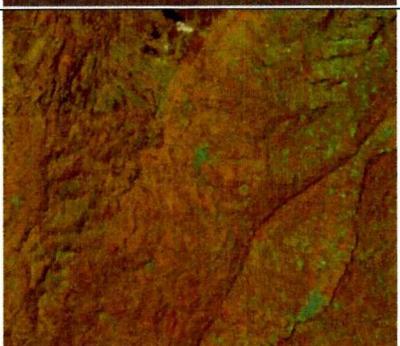
Por la misma razón, la selección de las muestras de capacitación ha sido efectuada, por parte del analista, visualizando la misma imagen con diferentes combinaciones de bandas reportadas en la bibliografía, las cuales permiten resaltar diferentes aspectos de la imagen, y por lo tanto, facilitar la toma de muestras de capacitación representativas y confiables.

**Tabla 20.** Composiciones de bandas más utilizadas para la toma de muestras de capacitación en imágenes LANDSAT 5 TM.

COMBINACIÓN DE BANDAS LANDSAT 5 TM		
BANDAS	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO
3,2,1	COMBINACIÓN EN COLOR NATURAL Tonos azules indican cuerpos de agua; la vegetación se muestra en tonalidades verdes, el suelo aparece en tonos marrones, el suelo desnudo y la roca en tonos amarillentos y plateados.	
4,3,2	COMBINACIÓN EN FALSO COLOR La vegetación exuberante y los cultivos aparecen en rojo, las ciudades y zonas pobladas aparecen en gris a azul metálico	
4,5,3	COMBINACIÓN EN FALSO COLOR Resalta los límites entre agua y tierra	
7,4,2	Las áreas urbanas aparecen en tonos magenta y las praderas en verde claro. Las áreas forestales aparecen en verde brillante.	

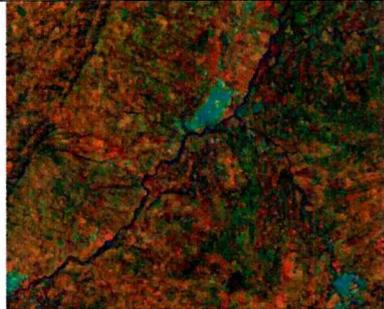
Fuente: Elaboración propia con base en Fernández –Coppel, Universidad de Valladolid.

**Tabla 21.** Composiciones de bandas más utilizadas para la toma de muestras de capacitación en imágenes LANDSAT 8 OLI-TIRS.

COMBINACIÓN DE BANDAS LANDSAT 8 OLI-TIRS		
BANDAS	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO
4,3,2	COMBINACIÓN EN COLOR NATURAL Tonos azules indican cuerpos de agua, la vegetación se muestra en tonalidades verdes, el suelo aparece en tonos marrones, el suelo desnudo y la roca en tonos amarillentos y plateados.	
5,6,2	COMBINACIÓN EN FALSO COLOR La vegetación exuberante y los cultivos aparecen en rojo, las ciudades y zonas pobladas aparecen en gris a azul metálico	
5,6,4	COMBINACIÓN EN FALSO COLOR Resalta los límites entre agua y tierra	
6,5,2	Las áreas urbanas aparecen en tonos magenta y las praderas en verde claro. Las áreas forestales aparecen en verde brillante.	

Fuente: Equipo Técnico - UIS.

**Tabla 22.** Composiciones de bandas más utilizadas para la toma de muestras de capacitación en imágenes RAPIDEYE.

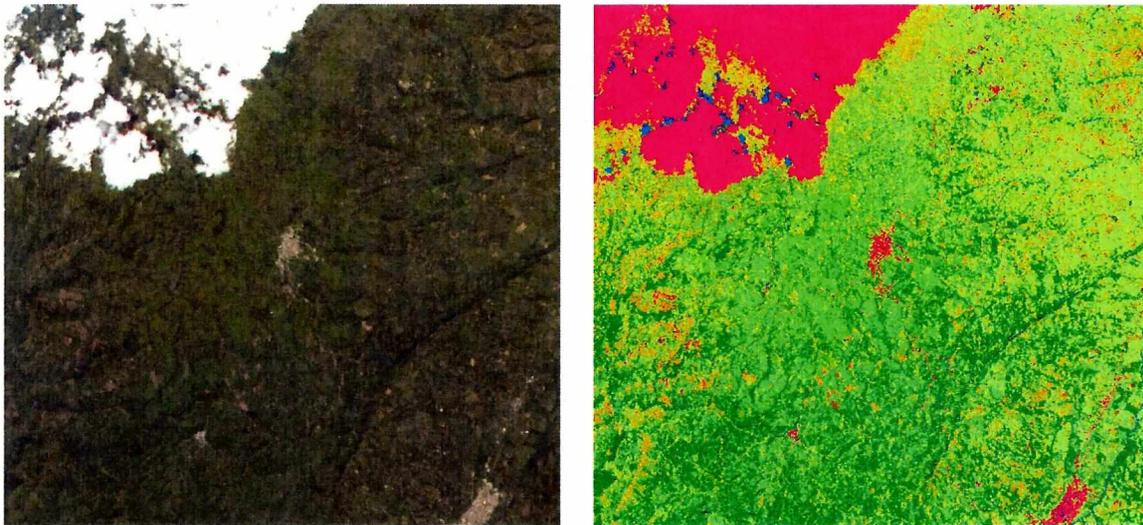
COMBINACIÓN DE BANDAS RAPIDEYE		
BANDAS	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO
3,2,1	<b>COLOR NATURAL</b> Tonos azules indican cuerpos de agua, la vegetación se muestra en tonalidades verdes, el suelo aparece en tonos marrones, el suelo desnudo y la roca en tonos amarillentos y plateados.	
5,3,2	La vegetación exuberante y los cultivos aparecen en rojo, las ciudades y zonas pobladas aparecen en gris a azul metálico.	
5,4,1	Resalta los límites entre el agua y la tierra.	
4,5,2	Las áreas urbanas aparecen en tonos violeta y las praderas en verde claro. Las áreas forestales aparecen en verde brillante.	

Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Mediante la herramienta **Clasificación de probabilidad máxima**, el archivo firma obtenido anteriormente puede ser utilizado para obtener un nuevo ráster simplificado (imagen clasificada) a partir de la imagen de entrada, que incluya únicamente las categorías anteriormente definidas.

En la figura 86 se muestra el producto obtenido con el proceso de clasificación supervisada de imagen.

**Figura 86.** Vista del producto del proceso clasificación supervisada de imagen (derecha) a partir del raster de entrada (izquierda).



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Una vez clasificados, las imágenes han sido ulteriormente procesadas para ajustarlas al área de interés mediante la herramienta **Extraer por máscara** (caja de herramientas **Spatial Analyst**, conjunto de herramientas de **Extracción**).

**Figura 87.** Vista del proceso de recorte de la imagen al área de interés.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

También se eliminaron las zonas correspondientes a nubes y sombras en la imagen satelital de entrada, cuya clasificación no es confiable.

Para lo anterior, se han generado polígonos en correspondencia de las zonas a recortar mediante la herramienta Crear entidades con base en la imagen satelital no clasificada (combinación de bandas en color natural), los cuales se han utilizado posteriormente para recortar la imagen, mediante la herramienta **Extraer por máscara** (caja de herramientas **Spatial Analyst**, conjunto de herramientas de **Extracción**).

En la figura 88 se muestra el producto final obtenido.

**Figura 88.** Vista del resultado obtenido mediante la extracción de las regiones con errores de clasificación por la presencia de nubes y sombras.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

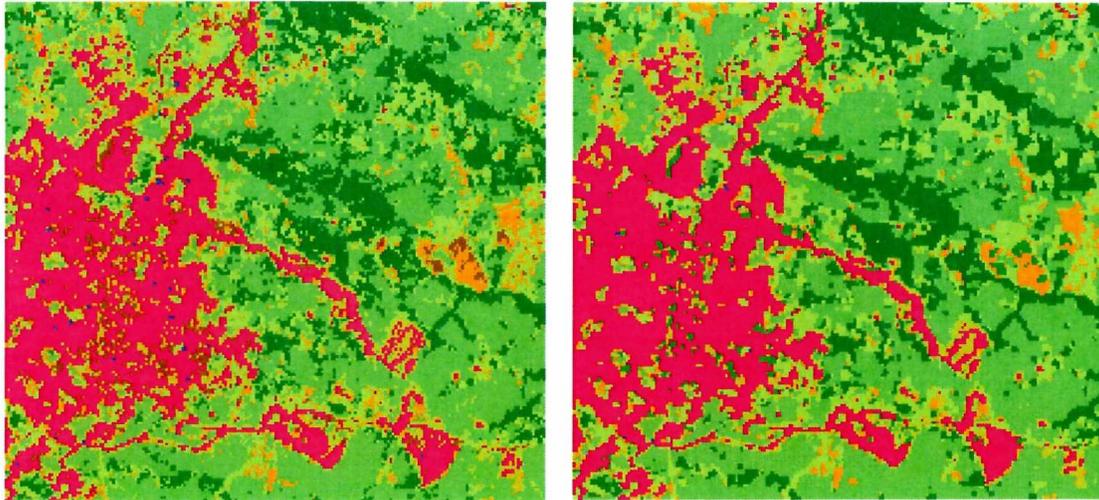
#### **b. Generalización de imagen de ráster clasificadas**

El proceso de clasificación de imágenes a menudo genera como resultado pequeñas zonas de datos aisladas que están o mal clasificadas o que son irrelevantes para el análisis.

De acuerdo a lo anterior, las imágenes de ráster resultantes han sido procesadas mediante el uso de varias herramientas que permiten mejorar su visualización e interpretación, eliminando las celdas mal clasificadas y mejorando la definición de los bordes de las unidades delimitadas.

Para quitar las celdas simples mal clasificadas en la imagen clasificada, se ha aplicado la herramienta **Filtro mayoritario**. Como se muestra en la imagen a continuación, en el ráster de salida, muchos de los grupos de celdas más pequeños desaparecen.

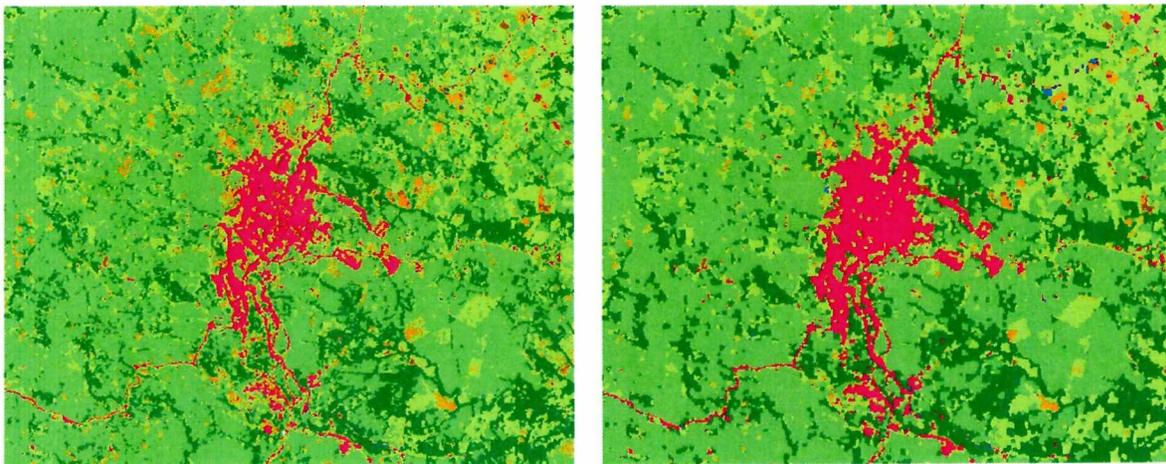
**Figura 89.** Vista del resultado obtenido mediante la aplicación de la herramienta *Filtro mayoritario* sobre la imagen clasificada.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Seguidamente, para suavizar los límites entre las zonas, se ha implementado la herramienta **Refinado de límites**. Al expandir y contraer los límites, las zonas más grandes invadirán las más pequeñas, como se muestra en la imagen a continuación.

**Figura 90.** Vista del resultado obtenido mediante la aplicación de la herramienta *Refinado de límites* sobre la imagen clasificada.



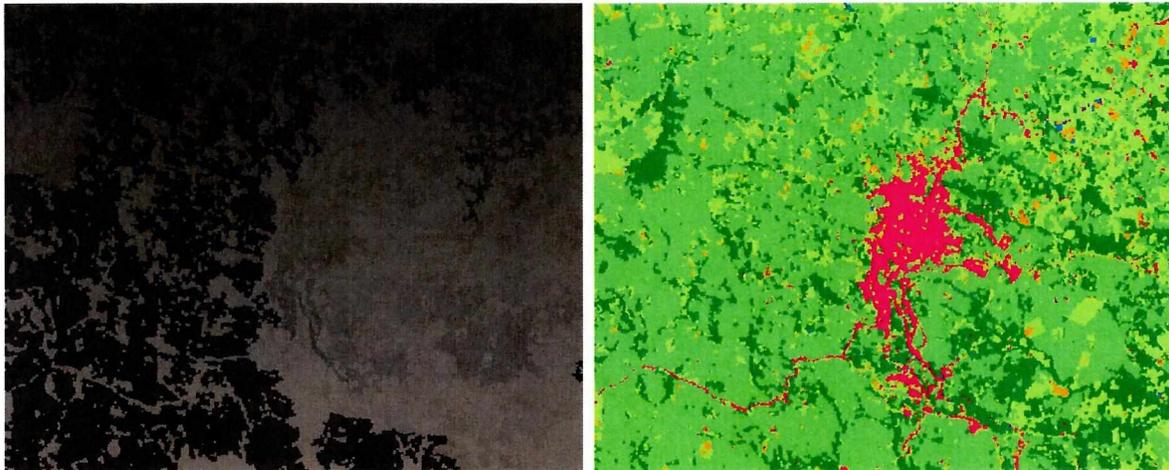
Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Las herramientas **Filtro mayoritario** y **Refinado de límites** sólo procesan los clusters simples o más pequeños de algunas celdas mal clasificadas asignándolos al valor que aparece en la vecindad inmediata. Sin embargo, es posible definir un umbral de cierto tamaño por debajo del cual los grupos individuales de celdas similares se consideran demasiado pequeños para ser tomados en cuenta en el análisis subsiguiente. Estos clusters se deben disolver en los grupos que los rodean.

Para solucionar este problema, se ha aplicado la herramienta **Grupo de regiones**. Esta herramienta reconoce grupos contiguos de celdas con el mismo valor (región) en el ráster de entrada y les asigna un identificador único. El valor de zona original se mantiene como un campo LINK en la tabla de atributos de salida. El ráster resultante se muestra debajo y muestra las distintas zonas de salida.

El campo LINK se reutiliza para reasignar a las regiones su valor inicial, mediante la herramienta **Reclasificar** de la caja de herramienta **Spatial Analyst**.

**Figura 91.** Vista del resultado obtenido mediante la aplicación de la herramienta *Grupo de regiones* sobre la imagen clasificada.



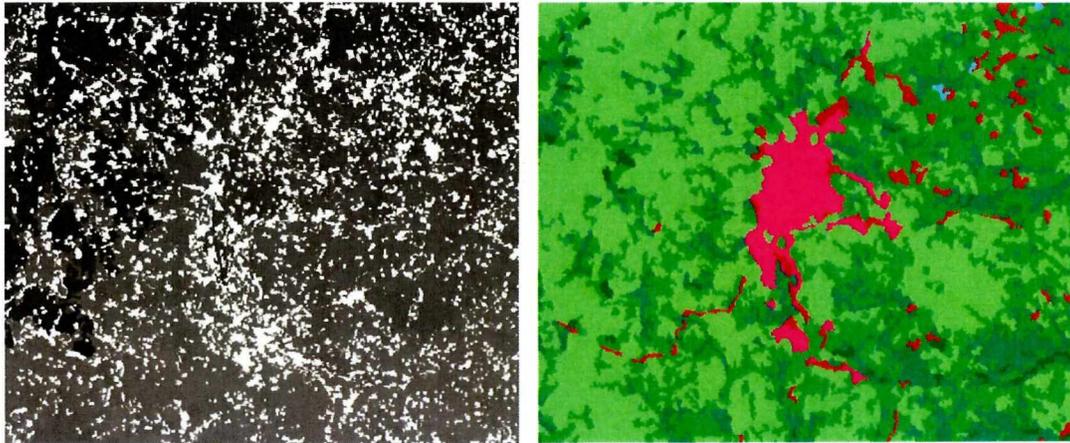
Fuente: Equipo Técnico - UIS.

Con el fin de eliminar las áreas más pequeñas que el umbral, se generó un archivo ráster con las regiones cuya área es mayor o igual a la del umbral<sup>2</sup>, mediante la herramienta **Extraer por consulta de atributos**, utilizando como ráster de entrada, el no reclasificado.

<sup>2</sup> Para esta fase se consideró un área mínima de 0,05 Has.

Sucesivamente, con la herramienta **Nibble**, se remplazaron los valores de las celdas con valor No Data en el ráster generado anteriormente con los valores de las celdas más cercanas del ráster reclasificado (ráster de entrada).

**Figura 92.** Vista del resultado obtenido mediante la aplicación de las herramientas *Extraer por consulta de atributos* (izquierda) y *Nibble* (derecha) sobre la imagen clasificada.

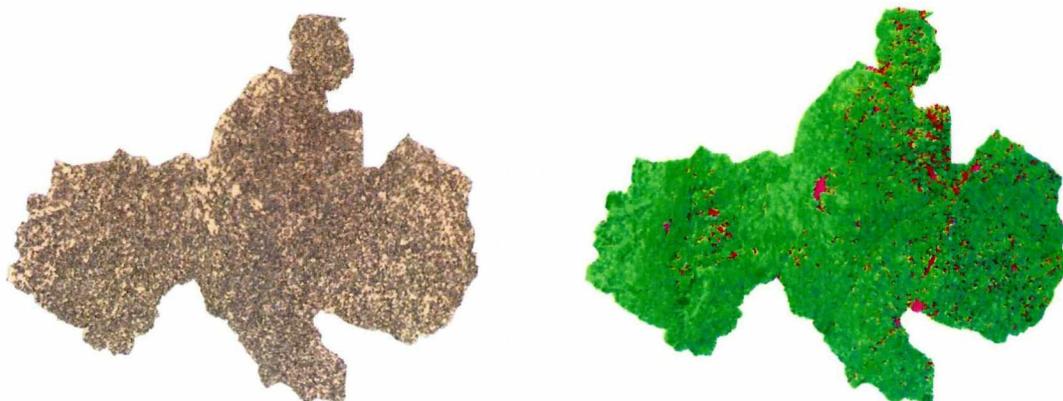


Fuente: Equipo Técnico - UIS.

#### 8.2.4. Depuración y simplificación de los mapas de uso y cobertura

Una vez terminado el proceso de simplificación de las imágenes de ráster, estas se convirtieron en polígonos con el fin de permitir su ulterior depuración y edición mediante la herramienta **De ráster a polígono** (caja de herramientas **Conversión**, conjunto de herramientas de **Ráster**).

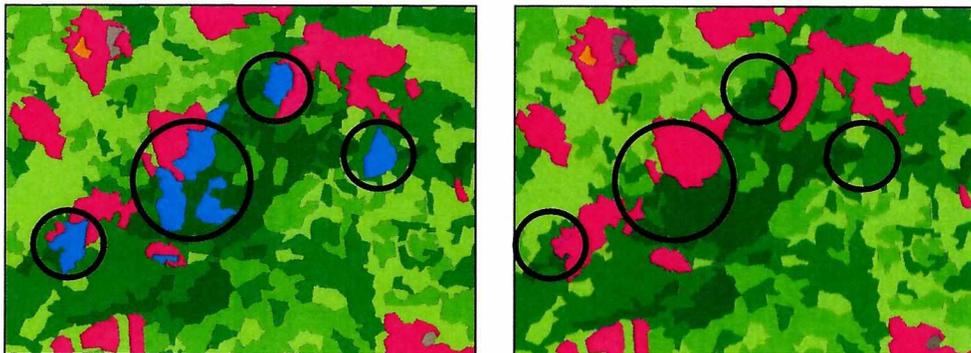
**Figura 93.** Vista del proceso de conversión de las imágenes ráster clasificadas a polígonos.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

En primera instancia, la conversión a shapes permitió revisar las coberturas asignadas de forma automática, con base en los registros fotográficos tomados en campo y corregir la clasificación errónea de algunos polígonos de forma individual, mediante su reclasificación y edición.

**Figura 94.** Vista del proceso de edición de áreas con errores de clasificación.



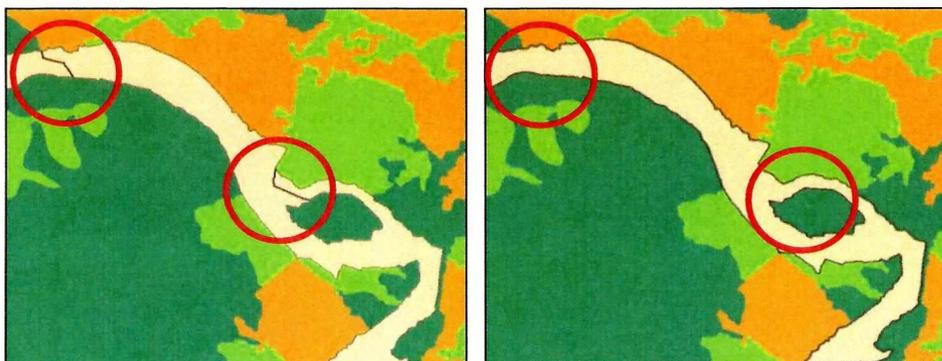
Fuente: Equipo Técnico - UIS.

El proceso de depuración consistió sustancialmente en la repetición de algunas operaciones de generalización, hasta la obtención del producto final totalmente depurado.

### c. Agregación de polígonos

La reclasificación de los polígonos, como parte del proceso de depuración y revisión de los mapas de uso y cobertura, puede generar la presencia de polígonos adyacentes que pertenecen a la misma unidad de cobertura. La herramienta **Agregar polígonos** (caja de herramientas *Cartografía*, conjunto de herramientas *Generalización*), permite agregar estos polígonos en una nueva entidad de salida. Consecuentemente, es posible substituir los polígonos agregados en el shape de entrada.

**Figura 95.** Vista del proceso de agregación de polígonos.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

#### d. Reclasificación de polígonos con área inferior al umbral

Una vez realizado el proceso de agregación de polígonos, se seleccionaron todos los polígonos con área inferior al umbral<sup>3</sup>, con el fin de reclasificarlos como mosaicos de coberturas y realizar nuevamente el proceso de agregación.

La realización de este paso evita la pérdida de aquellos polígonos que, aunque tengan un área inferior al umbral cuando fueron considerados individualmente, alcanzan el área mínima cartografiable cuando son considerados en su conjunto como mosaicos.

Este proceso se aplicó únicamente para los polígonos pertenecientes a unidades de cobertura que puedan hacer parte de áreas agrícolas heterogéneas (categoría 2.4), como son pastos (2.3), cultivos (2.1 y 2.2), vegetación secundaria o en transición (3.2) y bosque fragmentado (3.1).

#### e. Eliminación de polígonos con área inferior al umbral

Para los polígonos que quedaron excluidos del proceso de agregación a mosaicos, o que aún como mosaicos no alcanzaron un área suficiente para su inclusión como unidades cartográficas individuales, se procedió a su eliminación mediante la herramienta **Suprimir** (caja de herramientas Administración de datos, conjunto de herramientas Generalización).

Esta herramienta elimina los polígonos seleccionados dentro la entidad de entrada fusionándolos con los polígonos adyacentes, utilizando como criterio el área más grande o el borde compartido más largo.

Para el procesamiento de estas áreas, para el presente estudio se utilizó el criterio del **mayor borde compartido**.

#### f. Proceso de agregación final

Los pasos anteriores pueden generar nuevamente polígonos adyacentes con la misma cobertura; por lo tanto se hizo necesario agregar todos los polígonos por unidad de cobertura. Debido a que este proceso genera una entidad de salida por cada cobertura existente, es necesario reunir estas entidades en un único shape, mediante la herramienta Combinación de (caja de herramientas de análisis, conjunto de herramientas de superposición).

#### g. Creación y validación de topología

El proceso de depuración final incluye la eliminación de eventuales agujeros y zonas de superposición de polígonos que se hayan generado erróneamente durante el proceso de reclasificación y edición individual de los polígonos.

---

<sup>3</sup> El área de la unidad mínima cartografiable adoptada en este estudio es de 0,3 Has para territorios artificializados (Categoría 1) y de 1,5 Has para las demás categorías.

Para esto, se procedió a la importación del shape de las coberturas a un dataset de entidades, con el fin de asignarle reglas topológicas específicas y corregir las incongruencias encontradas.

**Figura 96.** Corrección de errores topológicos en el shape de uso y cobertura del suelo y obtención del producto final.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

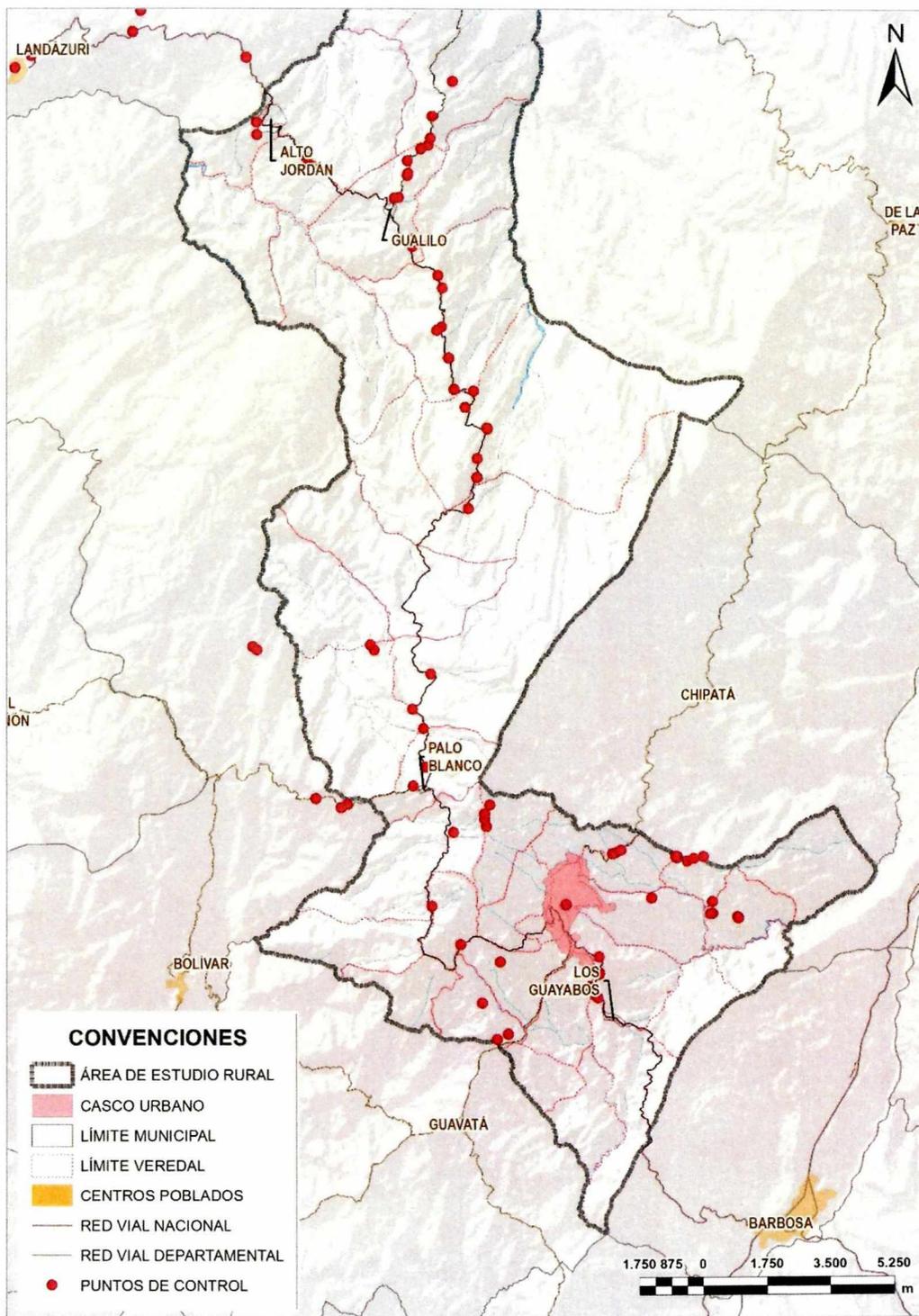
### 8.2.5. Validación de las unidades de cobertura delimitadas

Las imágenes de ráster clasificadas fueron objeto de verificación mediante visitas de campo y entrevistas a la comunidad local.

Debido a la gran extensión del área de estudio y la difícil accesibilidad de algunos sectores, se realizaron recorridos a lo largo de las vías principales que atraviesan el municipio, entre las cuales se mencionan: la vía Vélez - Landázuri, pasando por los centros poblados de Palo Blanco, Gualilo y Alto Jordán; las vías Vélez - Guavatá, Palo Blanco – Bolívar, Gualilo-Santa Elena del Opón y Landazuri- San Ignacio del Opón.

En cada punto de observación se realizó la toma de registros fotográficos georreferenciados mediante equipo receptor GPS (*Global Positioning System*), con el fin de comprobar el uso y la cobertura del suelo en el área y su coherencia con la clasificación obtenida del análisis de imágenes satelitales.

**Figura 97.** Localización de algunos puntos de control utilizados para la verificación en campo de la clasificación de imágenes de ráster.



Fuente: Equipo Técnico – UIS.

## 8.3. RESULTADOS

### 8.3.1. Descripción de las unidades de uso y cobertura de suelo

Con el fin de presentar los resultados del estudio realizado y facilitar la interpretación de la cartografía resultante, en el presente capítulo se describen de forma detallada las unidades de uso y cobertura del suelo encontradas en el área de interés.

Como se mencionó anteriormente, para el área de estudio rural se tuvieron en cuenta las unidades de uso y cobertura contempladas por la Leyenda CORINE Land Cover hasta el tercer nivel jerárquico, es decir las siguientes unidades:

1. Territorios artificializados.
2. Territorios agrícolas.
3. Bosques y áreas seminaturales.

#### 1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS

Comprende tanto las áreas de las cabeceras municipales y corregimientos como aquellas áreas periféricas de las mismas, que estén siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines habitacionales, comerciales, industriales, de servicios y recreativos.

#### 1.1. ZONAS URBANIZADAS

Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que configuran un tejido urbano.

##### 1.1.1. Tejido urbano continuo

Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies intervenidas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. En ellos, la vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano (ver figura 98).

**Figura 98.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.1.1 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009).



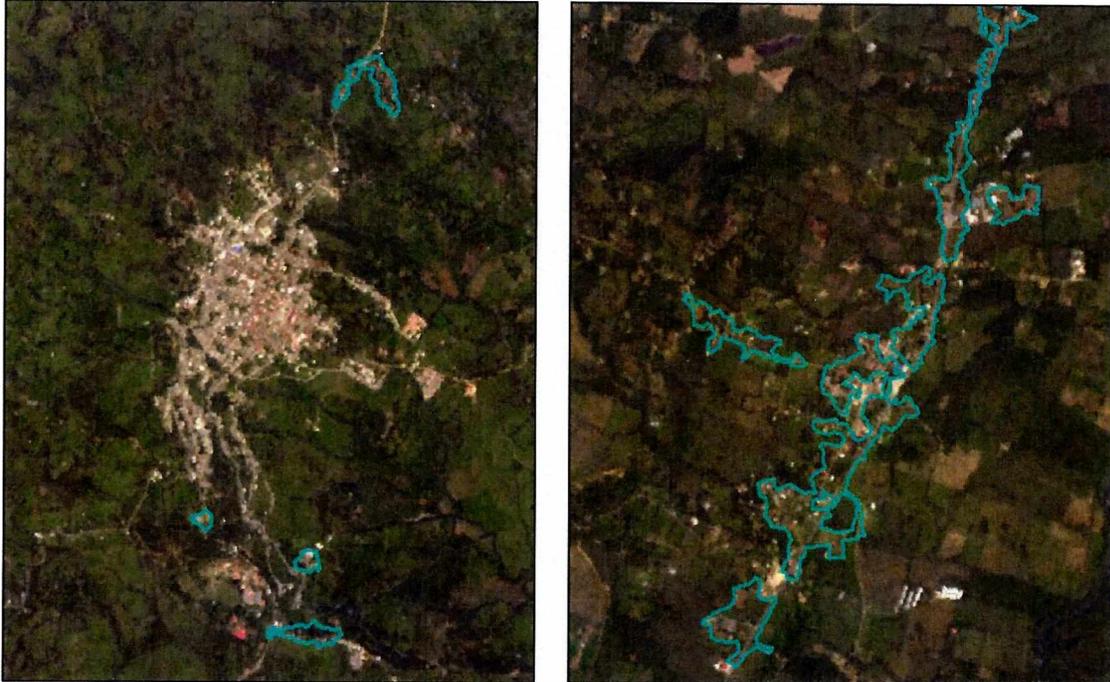
Fuente: Equipo Técnico - UIS.

### **1.1.2. Tejido urbano discontinuo**

Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas de tipo natural y seminatural se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas (ver figura 99).

En el área de estudio, hacen parte de esta unidad los grupos de edificaciones que se encuentran en los alrededores del casco urbano de Vélez, así como los que se puedan encontrar a lo largo de las vías que atraviesan el territorio.

**Figura 99.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.1.2 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009).



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

## **1.2. ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS**

Comprende las zonas verdes localizadas en las áreas urbanas, en las cuales se desarrollan actividades habitacionales, comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación, donde los diferentes usos del suelo no requieren de infraestructura construida apreciable.

En general, estas zonas verdes son áreas resultantes de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en el perímetro urbano de la ciudad.

### **1.4.1 Zonas verdes urbanas**

Comprende las zonas cubiertas por vegetación dentro del tejido urbano, incluyendo parques urbanos y cementerios (ver figura 100).

En el área de estudio esta unidad está representada únicamente por los espacios destinados a la conformación de jardines, zonas verdes urbanas o pequeños cultivos asociados a las viviendas que se encuentran en proximidades del casco urbano de Vélez.

**Figura 100.** Delimitación de la unidad de cobertura 1.4.1 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009).



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

## **2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS**

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o rastrojo. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas, en las cuales también se pueden dar usos pecuarios, además de los agrícolas.

Para el área de estudio rural, se incluyeron las siguientes unidades principales:

2.1 Cultivos transitorios

2.3 Pastos

2.4 Áreas agrícolas heterogéneas

No se incluyeron en este estudio los cultivos permanentes, correspondientes a la categoría 2.2 debido a que sus características espectrales hacen que se confundan fácilmente con áreas de vegetación secundaria en transición y bosque fragmentado, donde se encuentran a menudo inmersos.

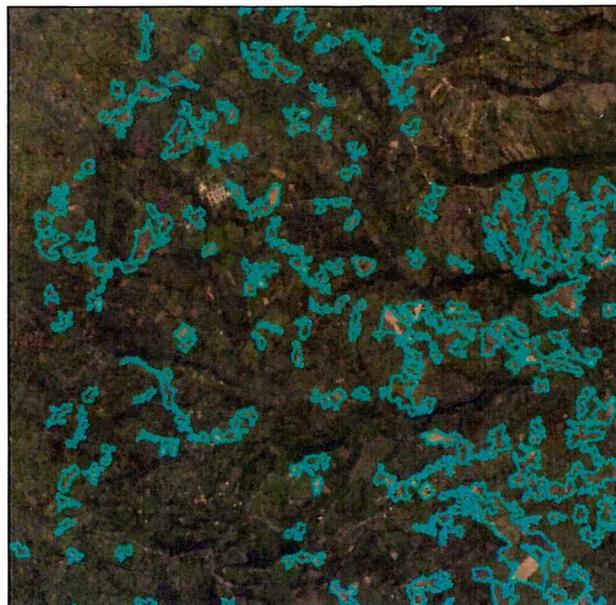
### 2.1. Cultivos transitorios

Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas y algunas especies de flores a cielo abierto. Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo (ver figuras 101 y 102).

En el área de estudio esta cobertura se encuentra principalmente en las zonas alrededor del casco urbano de Vélez, en terrenos correspondientes a las veredas Palmera, Loma Alta, Ropero Guayabal y Los Ejidos y en los terrenos bajo la jurisdicción del municipio de Chipatá.

Sin embargo, debido a las reducidas dimensiones de las parcelas, esta unidad muy rara vez alcanza la unidad mínima cartografiable adoptada para la zona de estudio rural (1.5 Has), determinando su inclusión dentro de las áreas agrícolas heterogéneas, junto con las pequeñas áreas de potreros, vegetación secundaria y bosque fragmentado que las rodean (unidad 2.4).

**Figura 101.** Delimitación de la unidad de cobertura 2.1 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009).



Fuente: Elaboración propia con base en imagen RapidEye (IGAC, 2009)

**Figura 102.** Vista de cultivos de maíz junto a cortes de caña panelera desde mirador ubicado en la vereda Loma Alta, mirando hacia la vereda Ropero.



Fuente: Registro fotográfico de campo. Localización sobre imagen satelital RapidEye (IGAC, 2009)

**Figura 103.** Vista de cultivos de maíz desde mirador ubicado en la vereda Guayabal (derecha) y hacia la vereda Los Ejidos (abajo).



Fuente: Registro fotográfico de campo. Localización sobre imagen satelital RapidEye (IGAC, 2009).

### 2.3. PASTOS

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por gramíneas bajas dedicadas a pastoreo permanente.

Es la unidad más representada en el Municipio, ocupando el 40.6% de su extensión total.

En el área de estudio rural, esta cobertura se le encuentra principalmente a lo largo de la vía que conecta el municipio de Vélez con Landázuri, hallando su mayor extensión en las veredas Gaital, Salandas, Cuba y Tebaida.

Debido a la presencia esporádica de árboles y arbustos en los pastos presentes en el área de estudio, estos se han clasificado en su totalidad como pastos limpios.

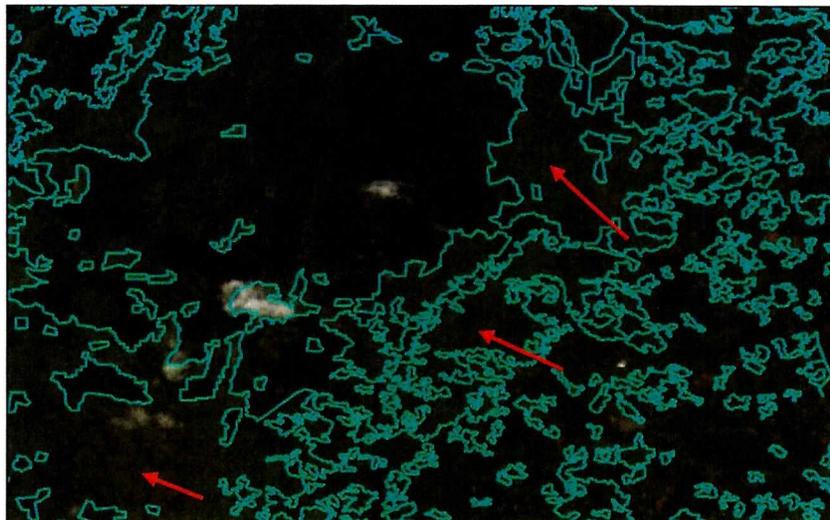
#### 2.3.1. PASTOS LIMPIOS

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%, incluyendo los pastos limpios con presencia esporádica de árboles y/o arbustales, con cubrimiento menor al 30% del área de pastos (ver figuras 104 a 106).

En el área de estudio se encuentran a menudo asociados a suelos saturados de agua, en particular en época de lluvias.

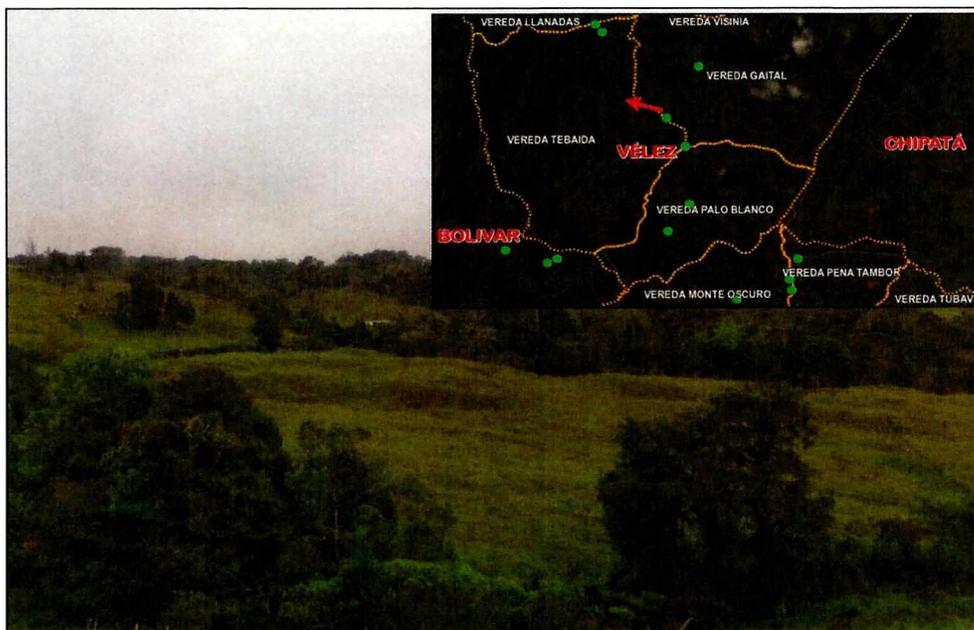
Los árboles asociados a este tipo de cobertura, corresponden a individuos plantados que pertenecen prevalentemente a especies introducidas tales como el eucalipto (*Eucalyptus sp.*), aliso (*Alnus sp.*), sauce (*Salix sp.*), urapán (*Fraxinus chinensis*) y ciprés (*Cupressus lusitanica*), aunque se registre la presencia dispersa de *Quercus humboldti*, que representa un relicto del bosque primario que existió en estos territorios por encima de los 2000 metros de altitud, junto con otras especies nativas.

**Figura 104.** Delimitación de la unidad de cobertura 2.3.1 sobre imagen satelital Landsat OLI-TIRS (USGS, 2015).



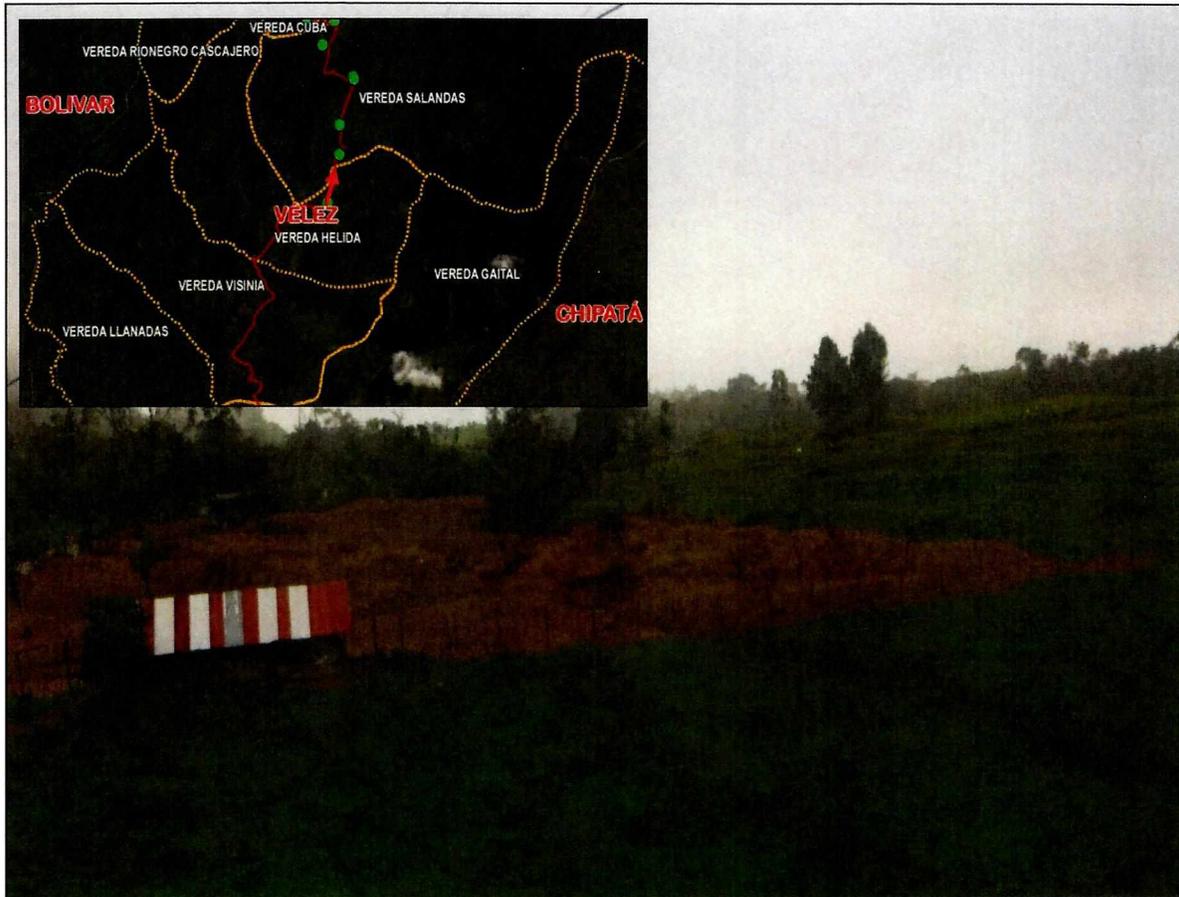
Fuente: Equipo Técnico - UIS.

**Figura 105.** Vista de la cobertura 2.3.1 desde la vía Palo Blanco – Alto Jordán hacia la vereda Tebaida.



Fuente: Registro fotográfico de campo. Localización sobre Imagen Landsat 8 OLI-TIRS (USGS, 2015).

**Figura 106.** Vista de la cobertura 2.3.1 desde la vía Palo Blanco – Alto Jordán, vereda Helida.



Fuente: Registro fotográfico de campo. Localización sobre imagen Landsat 8 OLI-TIRS (USGS, 2015).

#### **2.4. ÁREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS**

Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios (minifundios), las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra.

Esta unidad se encuentra localizada en el sector sur del área rural del municipio, y representa aproximadamente el 9% de su territorio.

De acuerdo a la información disponible y las visitas de campo, se han identificado las unidades que se reportan a continuación.

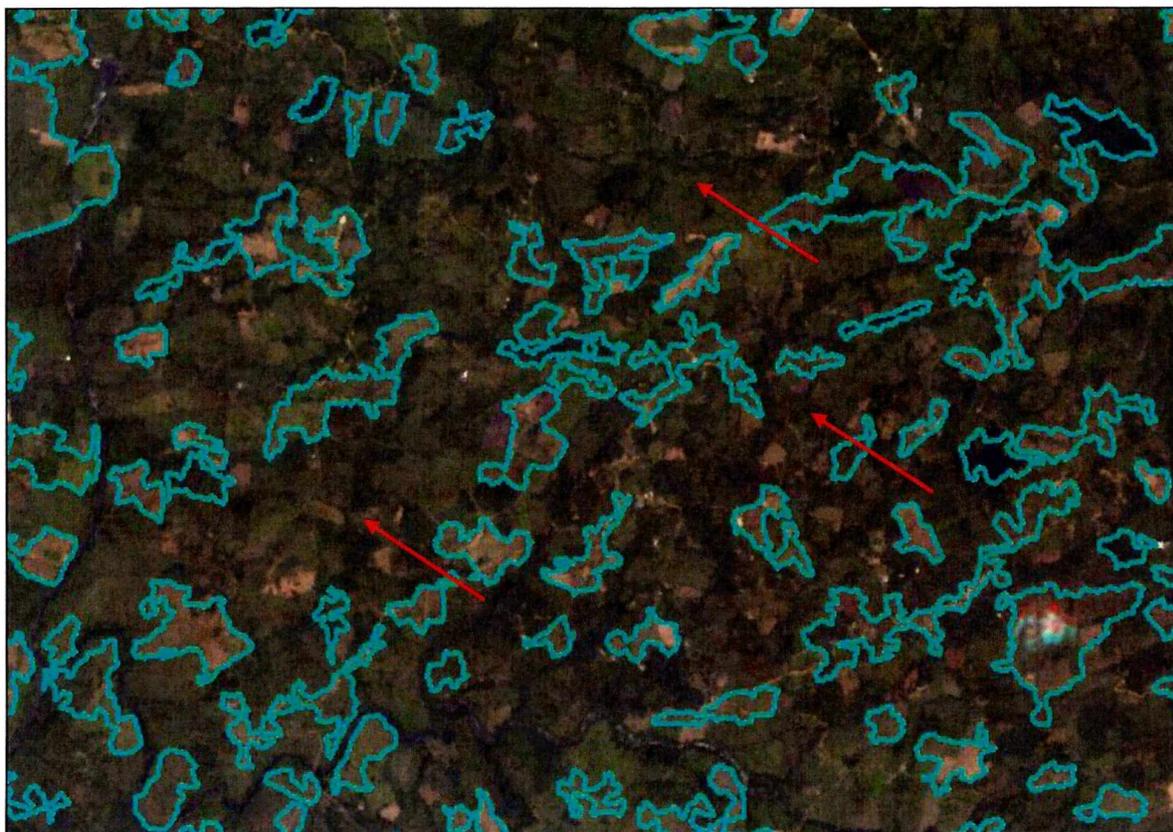
### 2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales

Comprende las superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las coberturas no puede ser representado individualmente. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre 30% y 70% de la unidad.

Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que debido a limitaciones de uso, por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural.

Esta unidad se encuentra distribuida prevalentemente en las veredas próximas a la cabecera municipal y en los sectores pertenecientes a los municipios de San José de Pare, Monquirá, Chipatá y Guavatá (ver figuras 107 y 108).

**Figura 107.** Delimitación de la unidad 2.4.3 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009). Sector del municipio de San José de Pare.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

**Figura 108.** Vista de mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales de las veredas Palmera y Loma Allta.



Fuente: Registro fotográfico de campo. Localización sobre imagen RapidEye (IGAC, 2009).

#### **2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales**

Constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales (ver figura 109). En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de pastos y espacios naturales no puede ser representado individualmente y las coberturas de pastos representan entre el 30% y el 70% de la superficie total del mosaico.

Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos y otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que debido a limitaciones de uso por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural.

Esta unidad se encuentra distribuida prevalentemente en los sectores centrales y parte norte del área de estudio, en donde los cultivos ceden el paso a los potreros, los cuales son interrumpidos únicamente por los parches de vegetación secundaria en transición y bosque fragmentado existentes (1.23% del municipio).

También ocupa cierta extensión en los sectores cercanos al área de estudio pertenecientes al municipio de Bolívar.

**Figura 109.** Delimitación de la unidad 2.4.4 sobre imagen satelital RapidEye (IGAC, 2009). Sector del municipio de Bolívar.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

### **3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES**

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo arbóreo, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos sucesionales climácicos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación. De acuerdo a lo establecido en la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición.

En el área de estudio se encontraron tres unidades pertenecientes a esta categoría:

3.1. Bosques

3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustos

3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación



### 3.1. BOSQUES

Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas con altura del dosel superior a 5 metros. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa amplia más o menos definida. Para Colombia, en esta categoría se incluyen otras formas biológicas naturales, tales como la palma y la guadua.

En el área de estudio los bosques primarios han sido intervenidos y sustituidos por bosques de origen secundario que se encuentran en asociación con parches de vegetación secundaria alta y baja. De acuerdo a lo anterior, estas formaciones vegetales, se han clasificado como bosque fragmentado (unidad 3.1.3).

#### 3.1.3. Bosque fragmentado

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya comunidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de cobertura como pastos, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre el 5% y el 30% del área total de la unidad de bosque natural (ver figura 110).

Los parches de bosque encontrados en el área de estudio se caracterizan por la frecuente presencia de guarumos (*Cecropia sp.*), balsos (*Ochroma pyramidale*) y guarumos machos (*Shefflera morototoni*) entre otras especies, indicadoras de intervención antrópica, lo que demuestra el origen secundario de estas formaciones boscosas.

Se componen por una amplia variedad de especies, entre las cuales predominan el carbonero (*Albizia sp.*), copillo (*Xylopia aromatica*), búcaros (*Erythrina sp.*), cedro (*Cedrela sp.*), aro (*Trichanthera gigantea*), manchador (*Vismia sp.*), acacias y guadua.

En el sector centro-sur del área de estudio, esta cobertura se encuentra prevalentemente asociada a los potreros que dominan el paisaje en las veredas Palo Blanco, Tebaida y Gaital (ver figura 112), mientras que hacia el norte, prevalece la vegetación secundaria en transición y se registra la presencia de pequeños cultivos arbóreos de cacao, guayaba y plátano, que quedan inmersos en el bosque y por lo tanto son difícilmente apreciables desde las imágenes satelitales (ver figura 113).

En los parches de vegetación secundaria es posible encontrar una amplia variedad de especies arbustivas del género *Miconia* (siete cueros o siete capas), aro (*Trichanthera gigantea*), lechero (*Sapium sp.*), amarillo (*Nectandra ferruginea*), manchador (*Vismia sp.*), guamos (*Inga sp.*), guadua (*Bambusa guadua*), cordoncillo (*Piper sp.*) y helechos arborescentes del género *Cyathea*, que se encuentran con frecuencia a lo largo de la vía Palo Blanco – Landázuri (ver figura 111).

**Figura 110.** Delimitación de la unidad 3.1.3 sobre imagen RapidEye (IGAC, 2010).



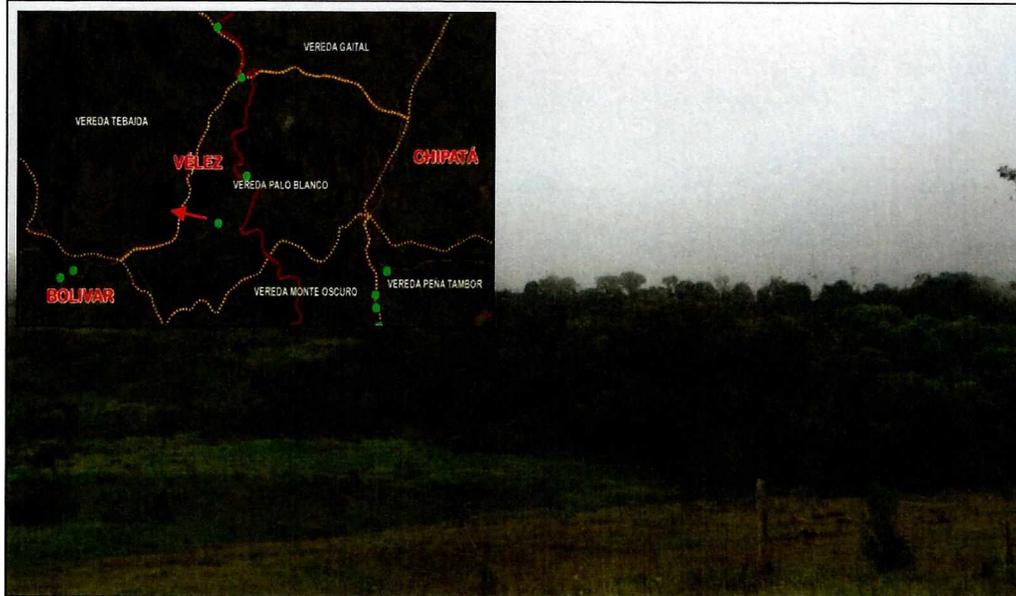
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 111.** Vegetación secundaria en transición asociada a bosque fragmentado, con presencia de helechos arborescentes del género *Cyathea*. Vereda Palo Blanco.



Fuente: Registro fotográfico de campo

**Figura 112.** Bosque fragmentado que interrumpe los potreros a lo largo de la vía hacia el municipio de Bolívar. Vereda Palo Blanco.



Fuente: Registro fotográfico de campo. Localización sobre imagen Landsat OLI-TIRS (USGS, 2015)

**Figura 113.** Bosque fragmentado con vegetación secundaria en transición. Vereda El Recreo.



Fuente: Registro fotográfico de campo. Localización sobre imagen satelital RapidEye (IGAC, 2010)

### **3.2. ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA**

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica, incluyendo las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, palmas, enredaderas y vegetación de bajo porte.

En el área de estudio, esta unidad está representada por vegetación secundaria o en transición, correspondiente a la categoría 3.2.3 de la leyenda CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

#### **3.2.3. Vegetación secundaria o en transición**

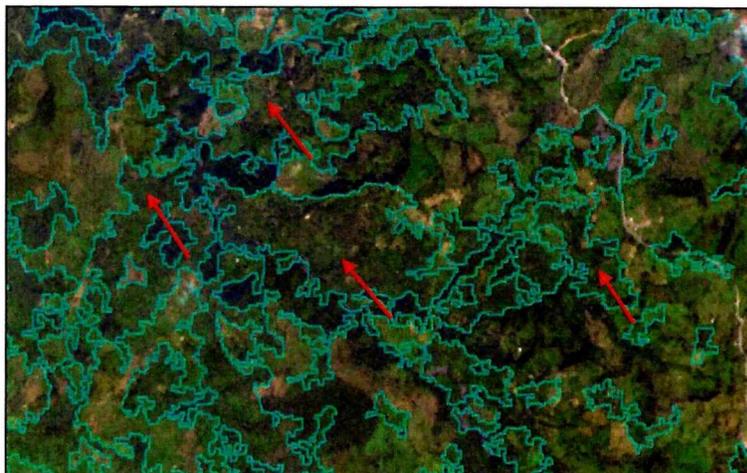
Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de intervención o por destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original.

Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas en donde por ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre. Se les conoce vulgarmente como rastrojos (ver figuras 114 y 115).

Esta cobertura se encuentra ampliamente distribuida en toda el área de estudio rural, asociada al bosque fragmentado o a las áreas ocupadas por potreros abandonados, en donde se concentra principalmente a lo largo de los cuerpos de agua y en correspondencia de los límites de los predios.

Entre las especies registradas dentro de esta unidad se destacan el guarumo (*Cecropia* sp.), carbonero (*Albizia carbonaria*), manchador (*Vismia* sp.), guayabo de pava (*Bellucia pentamera*) y sietecueros (*Tibouchina* sp.).

**Figura 114.** Delimitación de la unidad 3.2.3 sobre imagen satelital RapidEye (IGAC, 2010).



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

**Figura 115.** Vegetación secundaria en transición. Vereda El Recreo.



Fuente: Registro fotográfico de campo. Localización con base en imagen satelital RapidEye (IGAC – 2010)

### 3.3. ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por musgos y líquenes.

En esta categoría se incluyen unidades de cobertura como las zonas arenosas naturales, afloramientos rocosos, tierras desnudas y degradadas, y zonas quemadas.

#### 3.3.1. Zonas arenosas naturales

Son terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, por lo general desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de arbustal ralo y bajo. Se encuentran conformando playas litorales, playas de ríos y bancos de arena de los ríos.

En el área de estudio rural esta unidad de cobertura se le encuentra asociada al transporte de sedimentos del río Opón (ver figura 116), que en largo trayecto constituye parte del límite oriental del Municipio.

**Figura 116.** Delimitación de zonas arenosas naturales sobre imagen RapidEye (IGAC, 2010). Tramo del río Opón. Vereda La Tablona.



Fuente: Equipo Técnico - UIS

### 8.3.2. Resultados

El Municipio de Vélez se ubica en la parte centro-septentrional (centro norte) de la Cordillera Oriental, en el extremo sur de la Serranía Vélez – Chipatá – La Paz (que hacia el norte se le conoce como Serranía de los Yariguíes o de los Cobardes) y se proyecta en dirección norte hacia el Valle Medio del Río Magdalena, con un área de aproximadamente 45.000 Has, ocupando territorios con un rango de altitud muy variable, desde los 175 m.s.n.m., en su extremo norte (Vereda Puerto Rico), ascendiendo hasta los 2750 m.s.n.m., en la parte alta de las veredas Monte Oscuro, Palo Blanco y Gaital, coincidiendo con las cimas de este cuerpo montañoso y que sirven de divisorias de aguas hacia la cuenca del río Suárez por el oriente y hacia los ríos Carare y Opón al occidente.

Toda la parte norte del municipio, desde la vereda Altamira hasta la Vereda Puerto Rico se encuentra por debajo de los 1000 m.s.n.m. Con alturas por debajo de los 500 msnm entre la Vereda San Ignacio y Puerto Rico; alrededor de los 900 m.s.n.m. entre San Ignacio y la Vereda Altamira.

Los sectores comprendidos entre las veredas Altamira y Gualilo se encuentran en el rango altitudinal de 1000 a 1100 m.s.n.m., para llegarse rápidamente, más al sur, en el ascenso hacia la cabecera municipal, a alturas superiores a los 2000 m.s.n.m. donde se localizan las veredas Salandas y Héliida, mientras que en las veredas Monte Oscuro, Palo Blanco y Gaital se alcanzan las alturas máximas de 2750 m.s.n.m, que son las partes más altas de la jurisdicción municipal. Dirigiéndose hacia el casco urbano de Vélez, la altitud comienza nuevamente a disminuir, hasta llegarse a los 2000 m.s.n.m. en los sectores surorientales del municipio. En los límites con los municipios de Barbosa y Chipatá, se alcanzan nuevamente los 2000 m.s.n.m.

Las precipitaciones medias anuales varían entre 1000 y 3000 mm, aumentando de sur a norte y de este a oeste. Las veredas El Uvito, Monte Oscuro y Palo Blanco marcan el límite de la isoyeta de los 2000 mm/año, mientras que las veredas Limoncito y Mantellina Alta marcan el de los 3000 mm/año.

Las precipitaciones máximas se registran en los territorios de las veredas Gualilo, Santa Rosa y Campo Hermoso al sur, la veredas Puerto Rico al norte, donde oscilan entre los 2750 y los 3000 mm/año.

Las temperaturas del territorio municipal varían entre los 13°C, en las veredas Palo Blanco, Tebaida y Gaital, y llegando hasta los 29-30°C en la vereda Puerto Rico, extremo norte de la jurisdicción municipal.

De acuerdo a lo anterior, de sur a norte a lo largo del territorio municipal se encuentran cuatro zonas de vida, que de acuerdo a la clasificación de Holdridge son:

- Bosque húmedo montano bajo (bh-MB), por encima de los 2000 metros de altitud, con precipitaciones promedias anuales de 1000-2000 mm/año, temperaturas promedio de 12-18°C, y relación de evapotranspiración de 0.5-1.0.

- Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), también por encima de los 2000 metros de altitud, con precipitaciones promedias anuales de 2000-4000 mm/año, temperaturas promedio de 12-18°C, y relación de evapotranspiración de 0.5-1.0.
- Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), entre los 1000 a 2000 metros de altitud, con precipitaciones promedias anuales de 2000-4000 mm/año, temperaturas promedio de 18-24°C, y relación de evapotranspiración de 0.5-1.0.
- Bosque húmedo tropical (bh-T), por debajo de los 900 – 1000 metros de altitud, con precipitaciones promedias anuales de 2000-4000 mm/año, temperaturas promedio superiores a los 24°C, y relación de evapotranspiración de 0.5-1.0.

Toda la parte sur del municipio, incluyendo el casco urbano de Vélez y los territorios que se extienden desde las veredas El Ropero al oriente y Aco y Peña Blanca al sur hasta las veredas Peña Tambor, Monte Oscuro y El Uvito, con elevaciones entre los 2500 y los 1500 m.s.n.m., precipitaciones hasta 2000 mm/año y temperaturas de 12 a 18°C, se ubica en la zona de vida del bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) según la clasificación de Holdridge, en el Orobioma de Selva Subandino de acuerdo a la clasificación de Hernández.

La mayor parte de los territorios ubicados en esta zona de vida están hoy destinados al desarrollo de actividades agropecuarias de tipo extensivo, con presencia predominante de áreas agrícolas heterogéneas conformadas por potreros intercalados a cultivos de media extensión (maíz y caña panelera principalmente) y zonas de rastrojos, en los sectores limítrofes con los municipios de Chipatá y Barbosa, y de pastos limpios en las veredas Tun-Tun, Peña Grande, El Amarillo y Peña Tambor.

Más hacia el norte, en las veredas El Uvito, Monte Oscuro y Palo Blanco, comienza la zona de vida del bosque muy húmedo montano bajo (aún orobioma de selva o bosque Andino según Hernández), la cual se extiende hasta las veredas Cuba y Rionegro Cascajero, incluyendo territorios entre los 500 y 2500 m.s.n.m. aproximadamente y precipitaciones anuales medias entre 2000 y 2500 mm.

En estos sectores y en particular en proximidad de la vía que llega hasta Alto Jordán, el paisaje cambia radicalmente, siendo dominado por potreros de gran extensión, interrumpidos únicamente por la presencia de pequeñas franjas de vegetación secundaria ubicadas en las orillas de las quebradas que los atraviesan. Alejándose de la vía, los potreros desaparecen gradualmente dando paso a amplias extensiones de vegetación secundaria hacia el municipio de Bolívar y de bosques secundarios hacia el municipio de Chipatá, donde ocupan gran parte de los territorios pertenecientes a las veredas Gaital y Salandas.

A partir de la veredas Cuba y Rionegro Cascajero, en la porción centro sur del municipio, hasta las veredas Palma y Limoncito, se extiende la zona de vida del bosque muy húmedo premontano, correspondiente al orobioma de selva o bosque subandino según Hernández, en un rango altitudinal comprendido aproximadamente entre los 1000 y los 2000 msnm, con temperaturas medias anuales de 18 a 24°C y precipitaciones entre 2500 y 3000 mm aproximadamente.

Aquí el paisaje se vuelve muy fragmentado, siendo dominado por un mosaico de potreros de pequeña extensión, intercalados entre zonas seminaturales con presencia de cultivos arbóreos (cacao prevalentemente) y de árboles frutales, rastrojos y relictos de bosque.

Más al norte, en las veredas Palma, Mantellina Alta, Mantellina Baja y Altamira, comienza la zona de vida del bosque húmedo tropical (bh-T), correspondiente al Zonobioma Húmedo Ecuatorial según Hernández, que se extiende hasta el límite norte del municipio, por debajo de los 1000 m.s.n.m, con precipitaciones medias anuales alrededor de los 3000 mm, y temperaturas de 24 a 30°C.

En condiciones naturales, esta zona de vida se caracteriza por la presencia de selva exuberante perennifolia, con una altura del dosel arbóreo entre 25 y 40 m, incluido un estrato emergente conformado exclusivamente por árboles dominantes que pueden alcanzar hasta cerca de 60 m de altura, y la presencia de 3 o 4 estratos subordinados en el arbolado. Sin embargo, en el caso del municipio de Vélez, lo que se registra es la presencia de amplias extensiones ocupadas prevalentemente por mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales conformados por vegetación secundaria en transición (rastrojos altos y bajos).

En estas áreas, la vegetación más evolucionada corresponde a los bosques que aún se encuentran en las veredas Altamira, La Soledad, Tagual, La Tablona, Vista Hermosa y Quebrada Larga, frecuentemente interrumpidos por la presencia de pastos, cultivos y rastrojos.

Analizando el área de estudio en su totalidad, las unidades de cobertura correspondientes a territorios agrícolas (unidad 2) y bosques y áreas seminaturales (unidad 3) presentan la mayor extensión, ocupando aproximadamente el 50% del territorio cada una, mientras que los territorios artificializados, correspondientes a los centros urbanos y coberturas asociadas, representan solo el 0,41% de la extensión total del territorio municipal.

Los territorios agrícolas se encuentran mejor representados en las veredas Puerto Rico, Caño Bonito y La Tablona, aunque en relación al área de cada una, sean más importantes en las veredas localizadas alrededor del casco urbano, donde por lo general ocupan más del 90% de su extensión total.

Las mayores extensiones de bosques y áreas seminaturales se encuentran en las veredas Salandas, Gaital, Puerto Rico, La Tablona y El Recreo, mientras que, en términos relativos, dominan en los territorios de las veredas Altamira, Mantellina Baja, Limoncito y Llanadas.

Con respecto a los territorios artificializados, estos tienen su mayor extensión en las veredas que limitan con el municipio de Barbosa, donde constituyen el 4.08% del territorio municipal.

En las figuras y tablas a continuación se resumen los resultados generales del estudio de uso y cobertura del suelo realizado para el área rural del Municipio de Vélez, indicando la extensión de las diferentes unidades de cobertura, por vereda y el total municipal.

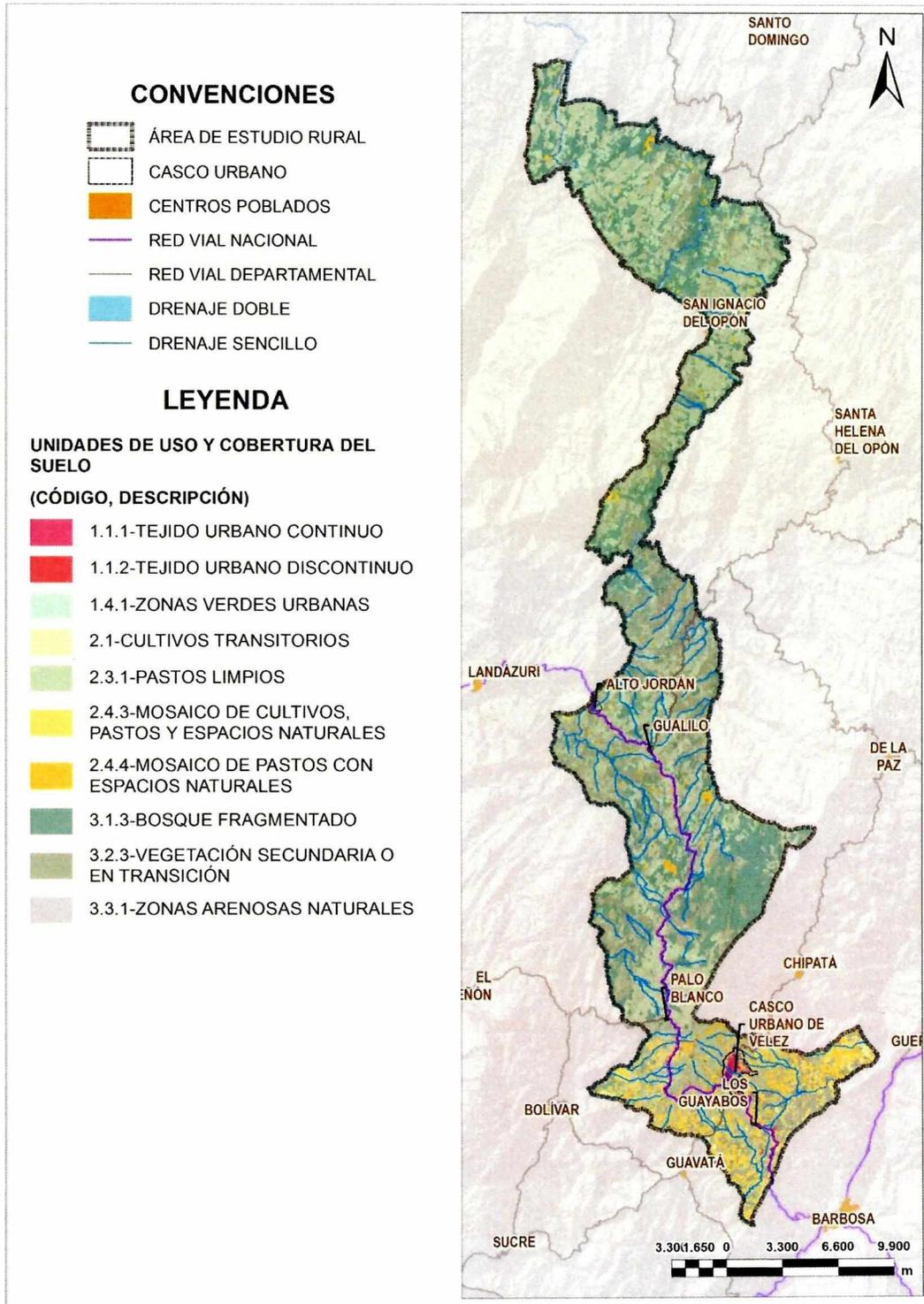


**Tabla 23.** Área por unidad de uso y cobertura del suelo. Zona Rural.

UNIDAD DE USO Y COBERTURA		[HAS]	[%]
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>		<b>181,59</b>	<b>0,41</b>
1.1	<b>ZONAS URBANIZADAS</b>	<b>175,77</b>	<b>0,39</b>
1.1.1	TEJIDO URBANO CONTINUO	111,63	0,25
1.1.2	TEJIDO URBANO DISCONTINUO	64,14	0,14
1.4	<b>ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	<b>5,82</b>	<b>0,01</b>
1.4.1	ZONAS VERDES URBANAS	5,82	0,01
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>		<b>22.336,33</b>	<b>50,18</b>
2.1	<b>CULTIVOS TRANSITORIOS</b>	<b>246,98</b>	<b>0,55</b>
2.1	CULTIVOS TRANSITORIOS	246,98	0,55
2.3	<b>PASTOS</b>	<b>18.071,52</b>	<b>40,60</b>
2.3.1	PASTOS LIMPIOS	18.071,52	40,60
2.4	<b>ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	<b>4.017,84</b>	<b>9,03</b>
2.4.3	MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	3.468,75	7,79
2.4.4	MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	549,09	1,23
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>		<b>21.993,43</b>	<b>49,41</b>
3.1	<b>BOSQUES</b>	<b>11.336,92</b>	<b>25,47</b>
3.1.3	BOSQUE FRAGMENTADO	11.336,92	25,47
3.2	<b>ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA</b>	<b>10.457,56</b>	<b>23,49</b>
3.2.3	VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	10.457,56	23,49
3.3	<b>ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN</b>	<b>198,95</b>	<b>0,45</b>
3.3.1	ZONAS ARENOSAS NATURALES	198,95	0,45
<b>TOTAL</b>		<b>44.511,36</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Equipo Técnico - UIS

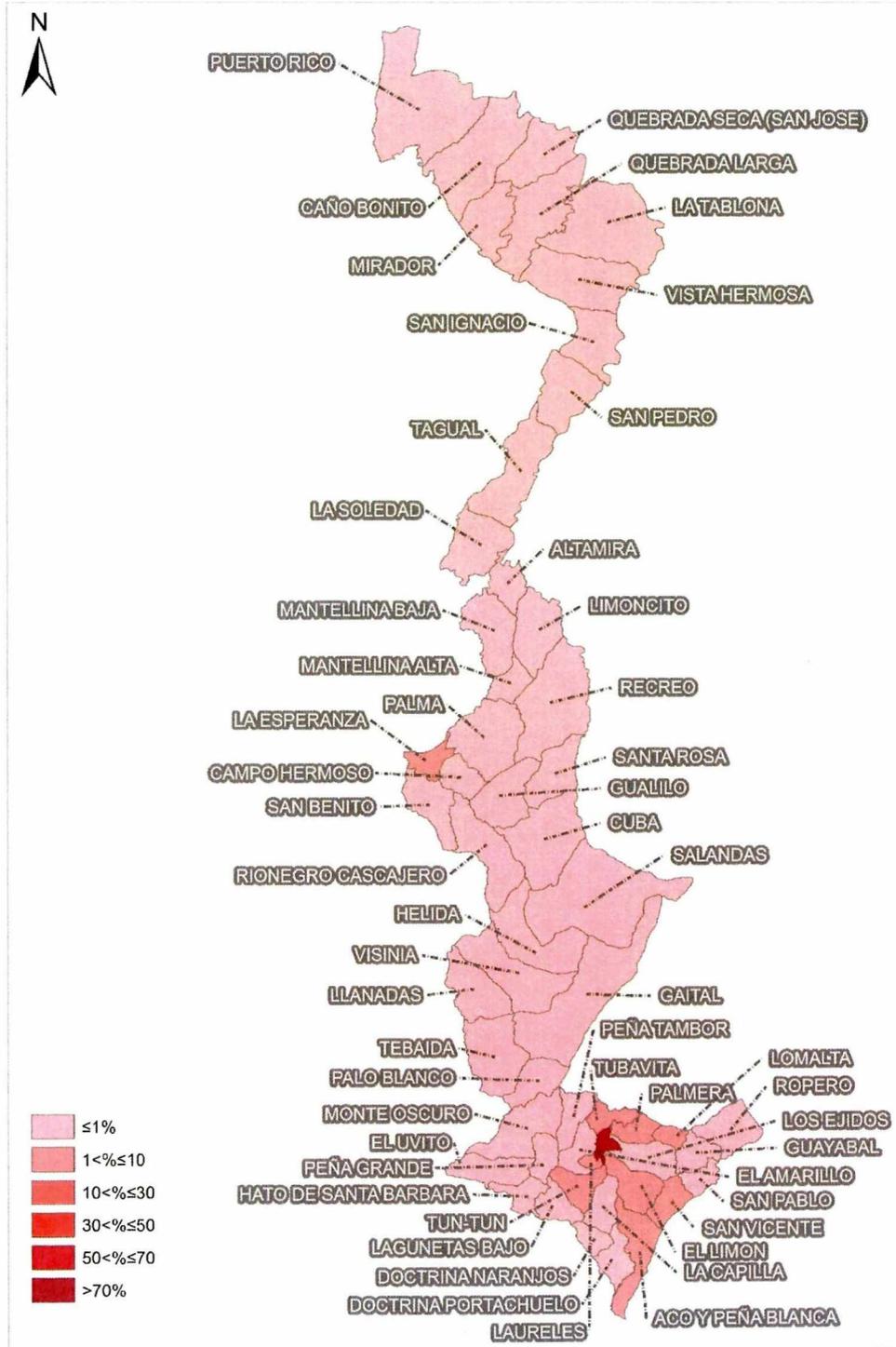
**Figura 117.** Mapa de uso y cobertura del suelo del área rural del Municipio de Vélez (Plano R-11).



Fuente: Equipo Técnico - UIS

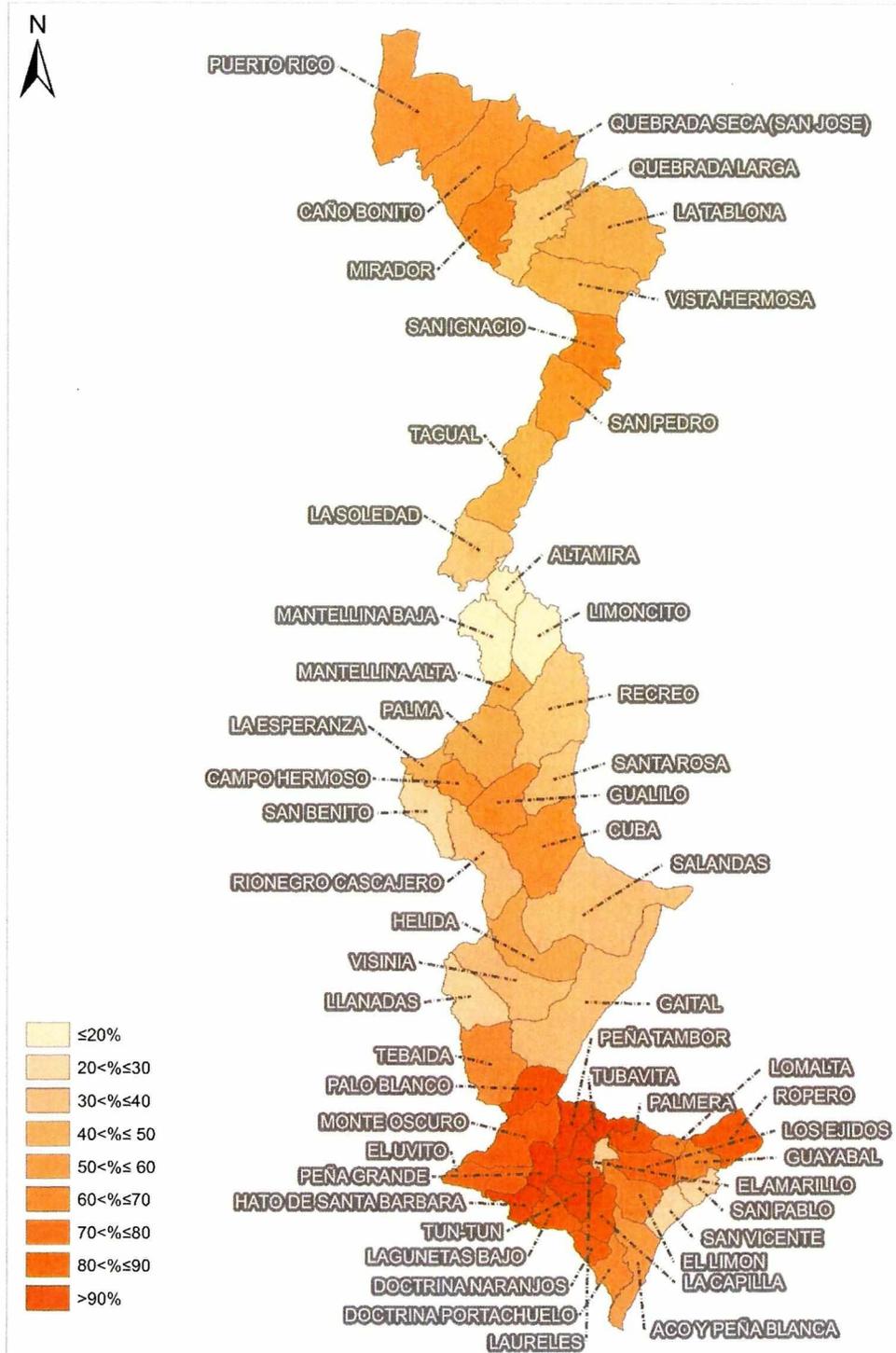


**Figura 118.** Contribución relativa de las unidades de uso y cobertura por vereda para territorios artificializados (unidad 1).



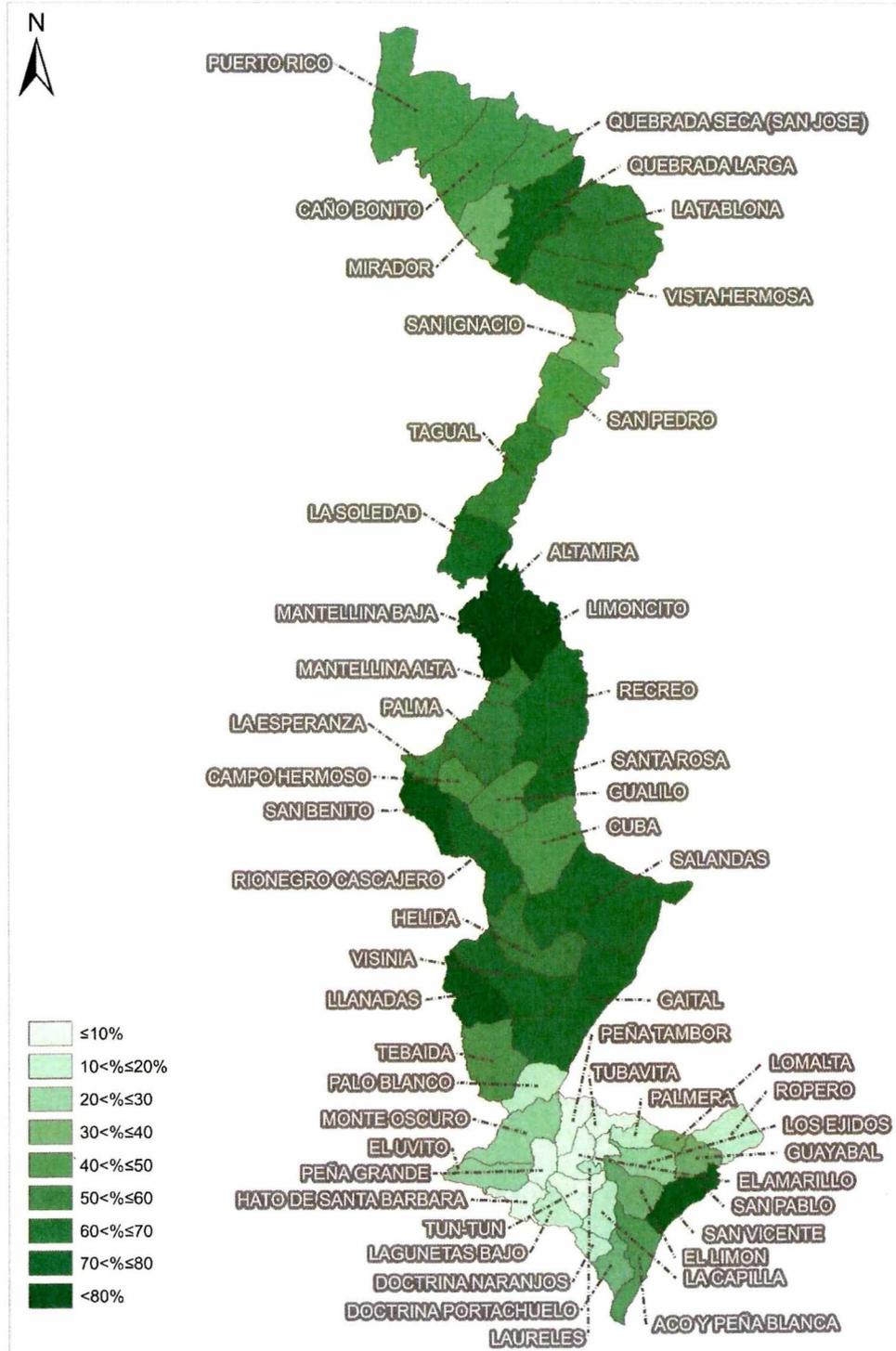
Fuente: Equipo Técnico - UIS

**Figura 119.** Contribución relativa de las unidades de uso y cobertura por vereda para territorios agrícolas (unidad 2).



Fuente: Equipo Técnico - UIS

**Figura 120.** Contribución relativa de las unidades de uso y cobertura por vereda para bosques y áreas seminaturales (unidad 3).



Fuente: Equipo Técnico - UIS

**Tabla 24.** Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez, zona rural.

UNIDAD DE USO Y COBERTURA	ÁREA POR VEREDA [Has]										
	PUERTO RICO	SALANDAS	GAITAL	LA TABLONA	CAÑO BONITO	RECREO	VISTA HERMOSA	QUEBRADA LARGA	CUBA	TAGUAL	VISINIA
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1.1 ZONAS URBANIZADAS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1.1 TEJIDO URBANO CONTINUO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1.2 TEJIDO URBANO DISCONTINUO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>1.4 ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4.1 ZONAS VERDES URBANAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	1.509,96	920,11	899,75	944,65	1.050,30	675,15	697,98	536,31	824,03	532,82	483,42
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3 PASTOS	1.481,08	849,07	899,75	931,81	1.008,96	672,97	681,29	518,42	743,15	509,65	471,74
2.3.1 PASTOS LIMPIOS	1.481,08	849,07	899,75	931,81	1.008,96	672,97	681,29	518,42	743,15	509,65	471,74
2.4 ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS	28,88	71,03	-	12,84	41,34	2,18	16,69	17,89	80,88	23,17	11,68
2.4.3 MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	-	-	-	2,55	-	2,18	-	-	2,70	-	-
2.4.4 MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	28,88	71,03	-	10,28	41,34	-	16,69	17,89	78,17	23,17	11,68
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	1.143,09	1.737,56	1.396,63	1.085,13	743,37	1.062,96	722,20	882,93	592,93	731,85	751,32
3.1 BOSQUES	1.093,27	1.473,93	1.091,50	757,32	705,05	145,62	563,18	631,10	330,42	377,92	355,84
3.1.3 BOSQUE FRAGMENTADO	1.093,27	1.473,93	1.091,50	757,32	705,05	145,62	563,18	631,10	330,42	377,92	355,84
3.2 ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	13,93	253,63	305,13	300,08	26,28	909,46	150,24	243,97	260,55	347,54	395,48
3.2.3 VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	13,93	253,63	305,13	300,08	26,28	909,46	150,24	243,97	260,55	347,54	395,48
3.3 ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN	40,89	9,80	-	27,73	12,03	7,87	8,78	7,86	1,96	6,39	-
3.3.1 ZONAS ARENOSAS NATURALES	40,89	9,80	-	27,73	12,03	7,87	8,78	7,86	1,96	6,39	-
<b>TOTAL</b>	<b>2.658,04</b>	<b>2.657,67</b>	<b>2.296,38</b>	<b>2.029,78</b>	<b>1.793,67</b>	<b>1.738,11</b>	<b>1.420,18</b>	<b>1.419,24</b>	<b>1.416,95</b>	<b>1.264,67</b>	<b>1.234,74</b>

Fuente: Equipo Técnico - UIS

**Tabla 25.** Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez, zona rural (continuación).

UNIDAD DE USO Y COBERTURA	ÁREA POR VEREDA [Has]										
	PALMA	HELIDA	RIONEGRO CASAJERO	TEBAIDA	SAN PEDRO	MONTE OSCURO	LA SOLEDAD	QUEBRADA SECA (SAN JOSE)	MANTELLINA BAJA	LIMONCITO	GUALILO
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>4,03</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>0,75</b>	<b>1,18</b>	<b>4,87</b>
1.1 ZONAS URBANIZADAS	4,03	-	-	-	-	-	-	-	0,75	1,18	4,87
1.1.1 TEJIDO URBANO CONTINUO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1.2 TEJIDO URBANO DISCONTINUO	4,03	-	-	-	-	-	-	-	0,75	1,18	4,87
<b>1.4 ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4.1 ZONAS VERDES URBANAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	<b>533,54</b>	<b>457,52</b>	<b>366,35</b>	<b>597,53</b>	<b>576,16</b>	<b>746,94</b>	<b>329,58</b>	<b>470,97</b>	<b>158,75</b>	<b>160,13</b>	<b>449,38</b>
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	-	-	-	-	2,45	-	-	-	-	-
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	-	-	-	-	2,45	-	-	-	-	-
<b>2.3 PASTOS</b>	<b>523,60</b>	<b>446,24</b>	<b>355,41</b>	<b>597,53</b>	<b>567,18</b>	<b>427,19</b>	<b>312,89</b>	<b>453,16</b>	<b>156,87</b>	<b>154,29</b>	<b>432,86</b>
2.3.1 PASTOS LIMPIOS	523,60	446,24	355,41	597,53	567,18	427,19	312,89	453,16	156,87	154,29	432,86
<b>2.4 ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	<b>9,93</b>	<b>11,27</b>	<b>10,94</b>	-	<b>8,98</b>	<b>317,31</b>	<b>16,68</b>	<b>17,81</b>	<b>1,88</b>	<b>5,84</b>	<b>16,52</b>
2.4.3 MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	7,26	5,07	-	-	-	258,00	-	-	-	-	-
2.4.4 MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	2,68	6,20	10,94	-	8,98	59,31	16,68	17,81	1,88	5,84	16,52
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	<b>666,35</b>	<b>682,25</b>	<b>721,39</b>	<b>484,18</b>	<b>403,03</b>	<b>197,49</b>	<b>612,42</b>	<b>460,78</b>	<b>714,63</b>	<b>705,25</b>	<b>373,99</b>
3.1 BOSQUES	232,30	424,02	317,16	244,01	187,72	33,50	338,57	309,65	258,53	109,10	78,39
3.1.3 BOSQUE FRAGMENTADO	232,30	424,02	317,16	244,01	187,72	33,50	338,57	309,65	258,53	109,10	78,39
<b>3.2 ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA</b>	<b>434,05</b>	<b>257,53</b>	<b>402,36</b>	<b>240,17</b>	<b>196,85</b>	<b>163,98</b>	<b>268,78</b>	<b>136,23</b>	<b>456,10</b>	<b>587,18</b>	<b>295,60</b>
3.2.3 VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	434,05	257,53	402,36	240,17	196,85	163,98	268,78	136,23	456,10	587,18	295,60
<b>3.3 ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN</b>	-	<b>0,71</b>	<b>1,88</b>	-	<b>18,47</b>	-	<b>5,07</b>	<b>14,89</b>	-	<b>8,98</b>	-
3.3.1 ZONAS ARENOSAS NATURALES	-	0,71	1,88	-	18,47	-	5,07	14,89	-	8,98	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.203,92</b>	<b>1.139,76</b>	<b>1.087,75</b>	<b>1.081,71</b>	<b>979,19</b>	<b>944,43</b>	<b>942,00</b>	<b>931,75</b>	<b>874,13</b>	<b>866,57</b>	<b>828,23</b>

Fuente: Equipo Técnico - UIS

**Tabla 26.** Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez, zona rural (continuación).

UNIDAD DE USO Y COBERTURA	ÁREA POR VEREDA [Has]										
	SAN IGNACIO	LLANADAS	MIRADOR	ACO Y PEÑA BLANCA	SANTA ROSA	SAN BENITO	ROPERO	EL UVITO	EL LIMON	PALO BLANCO	LOS EJIDOS
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>2,05</b>	-	-	<b>12,12</b>	-	-	<b>4,03</b>	<b>2,26</b>	<b>8,05</b>	-	<b>1,36</b>
1.1 ZONAS URBANIZADAS	2,05	-	-	12,12	-	-	4,03	2,26	8,05	-	1,36
1.1.1 TEJIDO URBANO CONTINUO	2,05	-	-	-	-	-	-	-	0,37	-	1,36
1.1.2 TEJIDO URBANO DISCONTINUO	-	-	-	12,12	-	-	4,03	2,26	7,68	-	-
<b>1.4 ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4.1 ZONAS VERDES URBANAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2. TERRITORIOS AGRICOLAS</b>	<b>536,30</b>	<b>170,03</b>	<b>487,68</b>	<b>397,45</b>	<b>225,59</b>	<b>182,08</b>	<b>527,36</b>	<b>417,20</b>	<b>342,09</b>	<b>424,70</b>	<b>395,45</b>
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	-	-	3,30	-	-	130,15	30,52	6,29	-	3,64
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	-	-	3,30	-	-	130,15	30,52	6,29	-	3,64
<b>2.3 PASTOS</b>	<b>532,56</b>	<b>170,03</b>	<b>487,49</b>	<b>89,66</b>	<b>222,84</b>	<b>177,13</b>	<b>76,66</b>	<b>167,90</b>	<b>105,39</b>	<b>424,70</b>	<b>151,73</b>
2.3.1 PASTOS LIMPIOS	532,56	170,03	487,49	89,66	222,84	177,13	76,66	167,90	105,39	424,70	151,73
<b>2.4 ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	<b>3,74</b>	-	<b>0,19</b>	<b>304,49</b>	<b>2,75</b>	<b>4,95</b>	<b>320,56</b>	<b>218,78</b>	<b>230,40</b>	-	<b>240,08</b>
2.4.3 MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	-	-	-	304,49	-	-	320,56	218,78	230,40	-	240,08
2.4.4 MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	3,74	-	0,19	-	2,75	4,95	-	-	-	-	-
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	<b>288,61</b>	<b>639,15</b>	<b>302,64</b>	<b>312,31</b>	<b>459,33</b>	<b>497,14</b>	<b>78,42</b>	<b>149,31</b>	<b>184,85</b>	<b>98,45</b>	<b>105,11</b>
3.1 BOSQUES	205,66	219,28	286,32	27,41	50,73	95,29	0,14	26,80	9,76	67,67	1,31
3.1.3 BOSQUE FRAGMENTADO	205,66	219,28	286,32	27,41	50,73	95,29	0,14	26,80	9,76	67,67	1,31
<b>3.2 ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA</b>	<b>63,40</b>	<b>419,87</b>	<b>16,33</b>	<b>284,90</b>	<b>405,32</b>	<b>401,85</b>	<b>78,29</b>	<b>122,51</b>	<b>175,08</b>	<b>30,78</b>	<b>103,80</b>
3.2.3 VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	63,40	419,87	16,33	284,90	405,32	401,85	78,29	122,51	175,08	30,78	103,80
<b>3.3 ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN</b>	<b>19,56</b>	-	-	-	<b>3,28</b>	-	-	-	-	-	-
3.3.1 ZONAS ARENOSAS NATURALES	19,56	-	-	-	3,28	-	-	-	-	-	-

Fuente: Equipo Técnico - UIS

**Tabla 27.** Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vélez. Zona rural (continuación).

UNIDAD DE USO Y COBERTURA	ÁREA POR VEREDA [Has]										
	ALTAMIRA	TUN-TUN	PEÑA TAMBOR	LA CAPILLA	DOCTRINA	CAMPO HERMOSO	SAN VICENTE	LAGUNETAS BAJO	GUAYABAL	EL AMARILLO	MANTELLINA ALTA
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	-	7,25	-	2,23	-	3,83	5,32	-	-	0,39	-
<b>1.1 ZONAS URBANIZADAS</b>	-	7,25	-	2,23	-	3,83	5,32	-	-	0,39	-
1.1.1 TEJIDO URBANO CONTINUO	-	6,89	-	1,41	-	-	-	-	-	0,39	-
1.1.2 TEJIDO URBANO DISCONTINUO	-	0,36	-	0,82	-	3,83	5,32	-	-	-	-
<b>1.4 ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4.1 ZONAS VERDES URBANAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2. TERRITORIOS AGRICOLAS</b>	54,73	382,72	374,92	316,12	250,54	207,77	88,65	297,73	242,08	311,93	141,18
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	4,81	-	3,71	2,75	-	1,53	1,82	20,77	-	-
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	4,81	-	3,71	2,75	-	1,53	1,82	20,77	-	-
2.3 PASTOS	52,63	239,40	287,40	161,63	43,01	191,22	9,62	101,47	37,60	208,14	136,00
2.3.1 PASTOS LIMPIOS	52,63	239,40	287,40	161,63	43,01	191,22	9,62	101,47	37,60	208,14	136,00
2.4 ÁREAS AGRICOLAS HETEROGÉNEAS	2,10	138,51	87,52	150,77	204,78	16,55	77,50	194,44	183,70	103,79	5,18
2.4.3 MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	-	138,51	27,33	150,77	204,78	8,07	77,50	194,44	183,70	103,79	-
2.4.4 MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	2,10	-	60,19	-	-	8,48	-	-	-	-	5,18
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	358,55	18,88	26,84	76,36	138,97	171,91	262,39	58,25	113,87	22,47	192,99
3.1 BOSQUES	173,62	-	5,28	-	-	16,91	26,58	-	1,43	0,09	28,75
3.1.3 BOSQUE FRAGMENTADO	173,62	-	5,28	-	-	16,91	26,58	-	1,43	0,09	28,75
3.2 ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	182,14	18,88	21,57	76,36	138,97	155,00	235,81	58,25	112,44	22,38	164,24
3.2.3 VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	182,14	18,88	21,57	76,36	138,97	155,00	235,81	58,25	112,44	22,38	164,24
3.3 ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN	2,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.3.1 ZONAS ARENOSAS NATURALES	2,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>413,28</b>	<b>408,85</b>	<b>401,77</b>	<b>394,71</b>	<b>389,50</b>	<b>383,50</b>	<b>356,36</b>	<b>355,98</b>	<b>355,95</b>	<b>334,79</b>	<b>334,17</b>

Fuente: Equipo Técnico - UIS

**Tabla 28.** Área por unidad de uso y cobertura del suelo por vereda del municipio de Vézlez, zona rural (continuación).

UNIDAD DE USO Y COBERTURA	ÁREA POR VEREDA [Has]										TOTAL
	HATO DE SANTA BARBARA	LA ESPERANZA	PEÑA GRANDE	PALMERA	TUBAVITA	SAN PABLO	DOCTRINA NARANJOS	LOMALTA	URBANO	LAURELES	
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	-	4,00	0,91	4,88	4,09	-	-	4,93	101,15	1,92	181,59
<b>1.1 ZONAS URBANIZADAS</b>	-	4,00	0,91	4,49	2,91	-	-	4,93	96,91	1,92	175,77
1.1.1 TEJIDO URBANO CONTINUO	-	-	-	0,40	0,58	-	-	-	96,91	1,27	111,63
1.1.2 TEJIDO URBANO DISCONTINUO	-	4,00	0,91	4,09	2,33	-	-	4,93	-	0,65	64,14
<b>1.4 ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	-	-	-	0,39	1,19	-	-	-	4,24	-	5,82
1.4.1 ZONAS VERDES URBANAS	-	-	-	0,39	1,19	-	-	-	4,24	-	5,82
<b>2. TERRITORIOS AGRICOLAS</b>	295,61	140,96	275,31	237,49	241,61	56,57	189,78	101,57	40,23	61,57	22.336,33
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	-	-	11,60	1,45	2,04	13,69	6,47	-	-	246,98
2.1 CULTIVOS TRANSITORIOS	-	-	-	11,60	1,45	2,04	13,69	6,47	-	-	246,98
<b>2.3 PASTOS</b>	156,72	123,99	224,74	47,25	129,69	1,39	44,22	15,03	23,33	35,83	18.071,52
2.3.1 PASTOS LIMPIOS	156,72	123,99	224,74	47,25	129,69	1,39	44,22	15,03	23,33	35,83	18.071,52
<b>2.4 ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	138,89	16,97	50,58	178,65	110,47	53,14	131,87	80,08	16,90	25,74	4.017,84
2.4.3 MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	138,89	8,08	50,58	178,65	103,84	53,14	131,87	80,08	16,90	25,74	3.468,75
2.4.4 MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	-	8,89	-	-	6,63	-	-	-	-	-	549,09
<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	29,93	159,68	23,30	28,60	21,31	186,44	43,53	55,03	2,47	9,63	21.993,43
3.1 BOSQUES	2,55	16,67	-	-	-	16,46	-	0,14	-	-	11.336,92
3.1.3 BOSQUE FRAGMENTADO	2,55	16,67	-	-	-	16,46	-	0,14	-	-	11.336,92
<b>3.2 ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA</b>	27,38	143,01	23,30	28,60	21,31	169,98	43,53	54,90	2,47	9,63	10.457,56
3.2.3 VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	27,38	143,01	23,30	28,60	21,31	169,98	43,53	54,90	2,47	9,63	10.457,56
<b>3.3 ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON Poca VEGETACIÓN</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	198,95
3.3.1 ZONAS ARENOSAS NATURALES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	198,95
<b>TOTAL</b>	<b>325,54</b>	<b>304,64</b>	<b>299,53</b>	<b>270,97</b>	<b>267,02</b>	<b>243,01</b>	<b>233,31</b>	<b>161,54</b>	<b>143,85</b>	<b>73,11</b>	<b>44.511,36</b>

Fuente: Equipo Técnico - UIJ

#### 8.4. CALIFICACIÓN PARA LA SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES DE USO Y COBERTURA DEL SUELO

El uso y la cobertura de la tierra son el resultado de la interacción de la dinámica natural geológica, geomorfológica, los suelos, el clima, de las comunidades bióticas, y de la acción antrópica (Servicio Geológico Colombiano, 2013), y por lo tanto representan elementos fundamentales para describir el medio ambiente y su relación con los procesos naturales y las actividades antrópicas (Muhammad et al., 2014).

Las actividades humanas (antrópicas) generan o contribuyen a la aparición de diferentes procesos como la afectación en la evolución de las especies, deterioro de ecosistemas, cambios en el patrón de ciclos hidrológicos, cambios en la forma del relieve, etc., muchas veces en forma negativa, induciendo procesos desde la erosión superficial de los suelos hasta severos de remoción en masa.

Además de la intervención antrópica, los fenómenos de remoción en masa se generan como consecuencia de la interacción de factores naturales endógenos y exógenos.

Los factores endógenos son las propiedades intrínsecas de un relieve en particular, como son sus aspectos topográficos, geológicos, pedológicos, hidrológicos y cobertura vegetal, mientras que los factores exógenos son los factores detonantes que directamente o indirectamente determinan la ocurrencia de movimientos en masa, como los sismos, las precipitaciones y la actividad volcánica.

En este sentido, las características de la vegetación son un factor intrínseco que puede influenciar la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, especialmente cuando estos son inducidos por las lluvias.

Muchos estudios reportan que existe una relación entre el uso y cobertura de la tierra y la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, demostrando que esta es hasta 3.5 veces mayor en áreas cosechadas que en áreas que no lo son (Kim et al., 2013).

Con el fin de asignar una calificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa a las unidades de uso y cobertura identificadas y delimitadas, se adoptó la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (2013), la cual se basa en la influencia que ejercen las coberturas vegetales en el balance hídrico de una cuenca, considerando las interacciones existentes entre el agua, la vegetación, suelo y roca.

Desde el punto de vista hidrológico, la vegetación intercepta las precipitaciones con su dosel y ramas, y reduce el aporte de agua al suelo mediante la transpiración. Al mismo tiempo, a nivel del suelo, la vegetación favorece la infiltración gracias a la creación de poros en el terreno que aumentan su contenido en agua. Desde el punto de vista mecánico, la vegetación aumenta la estabilidad del suelo mediante el sistema radicular, mientras que su peso aumenta la tensión de corte, afectando negativamente a la estabilidad de las laderas (Kim et al., 2013).



La metodología propuesta tiene su fundamento teórico en el modelo propuesto por Lee (1980), sugerido por Sicard y Suárez (1998) que identifica como factores principales que determinan los efectos de la vegetación sobre el suelo y agua, la precipitación, la interceptación, la escorrentía, el drenaje profundo y la evapotranspiración:

$$Pt = I + E + D + ET \pm S$$

Donde:

Pt= Precipitación total

I= Interceptación

E= Escorrentía

D= Drenaje en profundidad

ET=Evapotranspiración

S= Cantidad de agua almacenada en el suelo

I= Pt – (Pe-Fc)

Pe= Precipitación efectiva

Fc= Flujo caulinar

De acuerdo a lo anterior, para la calificación de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa del suelo en función las unidades de uso y cobertura que lo ocupan, se han considerado las siguientes variables:

- 1) **EVAPOTRANSPIRACIÓN:** referida a la evapotranspiración de referencia ( $E_{t0}$ ) y estándar ( $E_{tc}$ ).
- 2) **DRENAJE PROFUNDO:** drenaje profundo en presencia de diferentes tipos de cobertura.
- 3) **PROFUNDIDAD RADICULAR:** se refiere a la máxima profundidad alcanzada por el sistema radicular de la vegetación.
- 4) **ESTRATOS:** se refiere al número de estratos que tenga la cobertura.

Para cada unidad de uso y cobertura identificada, se asignó un valor de 1 (mínima susceptibilidad) a 5 (máxima susceptibilidad) para las cuatro variables descritas y se obtuvo el promedio de las calificaciones obtenidas, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Susceptibilidad unidad de uso y cobertura} = \frac{(ETP + PR + DP + E)}{4}$$

Donde:

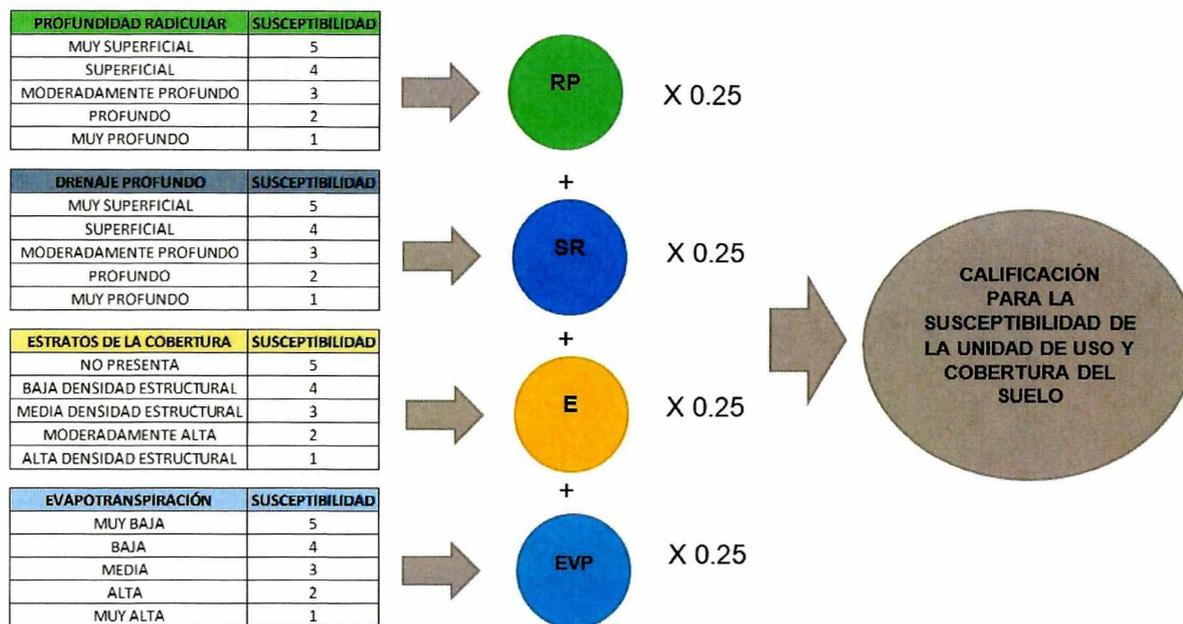
ETP= Evapotranspiración

PR= Profundidad radicular

DP= Drenaje profundo

E= Estratos de la cobertura

**Figura 121.** Esquema metodología empleada.



Fuente: Equipo Técnico - UIS.

A continuación se describen en el detalle, las cuatro variables utilizadas y los criterios adoptados para la calificación de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

#### 8.4.1. Evapotranspiración

De acuerdo con la definición adoptada por la FAO (2006), se conoce como evapotranspiración la combinación de dos procesos separados, por los que el agua se pierde desde la superficie del suelo y superficies expuestas de la vegetación por evaporación y por otra parte mediante transpiración de la vegetación.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de separar estos dos procesos. En las primeras etapas de un cultivo y en los pastos, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero cuando se trata de vegetación que alcanza a cubrir totalmente la superficie del suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal de pérdida de agua hacia la atmósfera.

La **evaporación** es el fenómeno físico en el que el agua pasa del estado líquido al estado de vapor (vaporización) y se retira de la superficie evaporante hacia la atmósfera (remoción de agua en forma de vapor).

El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como:

- Superficies expuestas de la vegetación (troncos, ramas, tallos, hojas) inmediatamente después de la precipitación.
- Cuerpos de agua (ríos, lagos, embalses).
- Desde el suelo, por el agua que se evapora desde su parte más superficial.

La radiación solar directa y en menor grado la temperatura ambiente del aire, proporcionan la energía necesaria para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor.

La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor del agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante.

A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve más lento hasta detenerse por completo, si el aire húmedo circundante no se retira de los alrededores de la superficie evaporante.

El remplazo del aire saturado por un aire más seco depende en gran medida de la velocidad del viento.

De acuerdo a lo anterior, la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento, son parámetros climatológicos que influyen en el proceso de evaporación.

Por otra parte, cuando la superficie evaporante es el suelo, el grado de cobertura vegetal y la disponibilidad de agua son factores que también afectan el proceso de evaporación.

Por su parte la **transpiración** es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua por vaporización, enviándola hacia la atmósfera, a través de los tejidos epidérmicos (estomas principalmente). La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura

estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo por la vegetación a través de sus raíces, se pierde por transpiración y solo una pequeña fracción es incorporada a los tejidos vegetales.

La transpiración, al igual que la evaporación directa, ambas dependen del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también son factores que influyen sobre el proceso de transpiración.

La tasa o velocidad de transpiración, también depende de las características fisiológicas de la vegetación, su estado de desarrollo, la capacidad del suelo de conducir el agua hasta las raíces, la disponibilidad de agua y la salinidad del suelo.

De acuerdo a la metodología adoptada, cuando se analiza la evapotranspiración para condiciones antecedentes a un posible fenómeno, se puede presumir que a mayor evapotranspiración corresponde una mayor descarga de agua hacia la atmósfera, lo cual disminuye posibilidades de la saturación de los suelos, que es lo que favorece los movimiento en masa o de reptación por aumento de peso de los mismos y cambios desfavorables en las propiedades geomecánicas de los suelos altamente humectados y por lo tanto, disminuye la posibilidad de ocurrencia de los movimientos en masa.

Con el fin de adoptar un criterio objetivo para la calificación de las coberturas de la variable evapotranspiración, se ha tomado como referencia el **coeficiente de cultivo  $K_c$** , aplicando los valores de referencia por cobertura de la FAO (ver tabla 29).

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo  $K_c$ , la evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $ET_0$  y el coeficiente del cultivo  $K_c$ :

$$ET_c = K_c ET_0$$

Donde:

$ET_c$  Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar [ $mm\ d^{-1}$ ]

$K_c$  Coeficiente del cultivo [adimensional]

$ET_0$  Evapotranspiración del cultivo de referencia [ $mm\ d^{-1}$ ]

La evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_0$ ), corresponde a la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pastos con características específicas.

Por otra parte, la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ), y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

La mayoría de los efectos meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de  $ET_0$ , por lo tanto, mientras  $ET_0$  representa un indicador de la demanda climática, el valor de  $K_c$  varía principalmente en función de las características particulares del cultivo.

En la tabla 29 se reportan los valores del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para diferentes tipos de cobertura reportados por la FAO, los cuales se toman de referencia para el presente estudio.

**Tabla 29.** Coeficientes de cultivos adaptados de la FAO.

Vegetación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Árboles Frutales	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque caducifolio	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bosque mixto	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Caña de azúcar	0,6	0,8	0,9	0,9	1	1	1	1	1,05	1,15	1,15	0,85
Café	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Piña	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Granos básicos	1	1	1	1	0,35	1	1,05	1,05	0,6	1	1	1
Hortalizas	1	1	1	1	0,7	1	1,05	1,05	0,95	1	1	1
Pastos naturales	1	1	1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1
Vegetación acuática	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2013. Tomado del Servicio Hidrológico Nacional de El Salvador

En lo que respecta a las coberturas encontradas en el área de estudio rural del Municipio de Vélez, los bosques fragmentados (unidad 3.1.3) son el tipo de vegetación que retiene la mayor cantidad de agua, con prevalencia del fenómeno de la transpiración sobre la evaporación directa.

Sin embargo, debido a esta propiedad, que protege los suelos de la pérdida de agua y de la erosión por acción de los agentes atmosféricos, la vegetación boscosa es menos eficaz en sustraer el agua del terreno, por lo tanto, esta unidad de cobertura se califica con susceptibilidad alta (4) a fenómenos de remoción en masa para la variable de evapotranspiración.

Las zonas arenosas naturales (unidad 3.3.1), presentan transpiración nula y una alta evaporación, por lo tanto se les asocia un valor bajo (2) de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa para esta variable.

Los pastos (unidad 2.3), que presentan un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) alrededor de 1 o superior, se consideran con susceptibilidad media (3) a fenómenos de remoción en masa, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos presentan cierto grado de compactación debido a que son destinados a uso de potreros.

Relativamente al tejido urbano (unidad 1.1), por la prevalencia de superficies impermeables que podrían estar empeorando las condiciones del terreno en presencia de saturación bajo del área construida, se puede considerar que su contribución en la sustracción de agua de los suelos es nula, lo cual corresponde a una susceptibilidad máxima (5).

En la tabla a continuación se reporta la calificación de susceptibilidad asignada a las principales unidades de cobertura para la variable evapotranspiración.

**Tabla 30.** Calificación de las coberturas para la variable evapotranspiración.

EVAPOTRANSPIRACIÓN	RANGO [Kc]	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	COBERTURAS ASOCIADAS
MUY BAJA	0-0,5	5	MUY ALTA	TEJIDO URBANO CONTINUO
BAJA	0,51-0,8	4	ALTA	BOSQUES, VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN
MEDIA	0,81-1	3	MEDIA	PASTOS LIMPIOS, CULTIVOS TRANSITORIOS
ALTA	1,1-1,5	2	BAJA	ZONAS ARENOSAS NATURALES
MUY ALTA	>1,5	1	MUY BAJA	-

Fuente: Elaboración propia con base en Servicio Geológico Colombiano, 2013.

#### 8.4.2. Profundidad de drenaje

Esta variable describe la facilidad con la cual el flujo de agua se mueve en el interior del suelo y se transmite hacia los horizontes inferiores y más en profundidad hacia los acuíferos.

Entre más agua pase por las diferentes capas de la cobertura y el suelo, se almacene por un tiempo en el ecosistema y alcance el acuífero (drenaje profundo, flujo base de los cauces), menor cantidad de la misma recargaría laderas abajo (carentes de “vegetación apropiada”) los suelos y menor sería las probabilidades de falla de los mismos.

El agua que penetra el suelo llena los huecos de los horizontes superficiales, cumplido lo cual, se velocidad de penetración dependerá de la velocidad con que puede moverse a través de su perfil. La infiltración disminuye rápidamente en relación directa con la profundidad del suelo, y es muy superior en los suelos forestales que en los agrícolas (TRAGSA *et al.*, 1998).

La permeabilidad está definida por los grandes poros a través de los cuales el agua puede moverse por la acción de la gravedad. Las razones que favorecen la permeabilidad de los suelos que soportan los bosques son por una parte, la continua incorporación de la materia orgánica en el suelo forestal, como consecuencia de la caída de hojas, ramillas, etc., lo que contribuye a que su estructura sea más granular (TRAGSA *et al.*, 1998).

Una cubierta arbórea con tapiz natural no perturbado mantiene la máxima infiltración en una situación dada. La infiltración es mayor en masas arbóreas adultas que en las jóvenes

y disminuye con el mayor grado de intervención, siendo mayor en los bosques sin pastoreo que en los pastados, y en los montes claros que en los rasos (TRAGSA *et al.*, 1998).

De acuerdo a lo anterior, el porcentaje de agua que alcanza el acuífero varía en presencia de diferentes coberturas y suelos: en presencia de bosques, puede llegar al acuífero del 23 al 60% del agua lluvia, con una disminución hasta valores del 20% para rastrojos y del 6,5% para pastos y cultivos.

La vegetación climácica (bosque, unidad 3.1) es la que tiene los mayores valores de infiltración (drenaje profundo) y constituye un factor de recarga de aguas en profundidad, lo cual evita que el agua permanezca en las capas superficiales del suelo. De acuerdo a lo anterior, esta unidad de cobertura es la que presenta la menor susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa (1).

La vegetación secundaria o en transición (unidad 3.2.3), correspondiente a rastrojos altos y bajos, que pueden evolucionar hasta el bosque secundario en ausencia de factores de perturbación, también constituye un factor de recarga de las aguas en profundidad, por lo tanto se califica a esta unidad de uso y cobertura con susceptibilidad baja a fenómenos de remoción en masa (2).

Las zonas agrícolas heterogéneas, por la presencia de pastos intercalados a cultivos transitorios, cultivos permanentes y espacios naturales (vegetación secundaria en transición), se califican con susceptibilidad media a fenómenos de remoción en masa (3).

Se asigna la misma calificación a las zonas verdes urbanas, que están conformadas principalmente por pequeños cultivos asociados a las viviendas, zonas de pastos y espacios naturales.

Las zonas arenosas naturales, por su tendencia a la compactación por fenómenos físicos presentan resistencia a la infiltración del agua hasta los estratos profundos del terreno, y constituyen un factor de recarga de agua en superficie, por lo que se califican con máxima susceptibilidad (5) a fenómenos de remoción en masa.

El tejido urbano continuo (unidad 1.1.1), debido a su baja capacidad de infiltración, podría considerarse con una baja susceptibilidad (2) a fenómenos de remoción en masa. Sin embargo, la red de alcantarillado (combinado) de las zonas urbanas incluidas dentro del área de estudio está conformada prevalentemente por tuberías en gres, material muy susceptible a fracturarse por efecto de los desplazamientos del terreno, lo que determina fugas de agua hacia al suelo y la reducción de su comportamiento geomecánico, favoreciendo fenómenos de movimientos del suelo. Por tal razón esta unidad, para el caso particular de este estudio, se califica con susceptibilidad alta (4).

Al tejido urbano discontinuo (unidad 1.1.2), debido a la presencia de zonas verdes conformadas por pequeños cultivos y vegetación natural, que incrementan la capacidad de infiltración del agua hasta los estratos más profundos, se le asigna una calificación de susceptibilidad media a movimientos en masa.

En la tabla a continuación se reporta la calificación de susceptibilidad asignada a las principales unidades de cobertura para la variable drenaje profundo.

**Tabla 31.** Calificación de las coberturas para la variable drenaje profundo.

DRENAJE PROFUNDO	RANGO [%]	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	COBERTURAS ASOCIADAS
MUY SUPERFICIAL	0-10	5	MUY ALTA	ZONAS ARENOSAS NATURALES
SUPERFICIAL	10,1-20	4	ALTA	CULTIVOS TRANSITORIOS, PASTOS LIMPIOS, TEJIDO URBANO CONTINUO
MODERADAMENTE PROFUNDO	20,1-30	3	MEDIA	TEJIDO URBANO DISCONTINUO, ÁREAS AGRICOLAS HETEROGÉNEAS, ZONAS VERDES URBANAS
PROFUNDO	30,1-40	2	BAJA	VEGETACIÓN SECUNDARIA EN TRANSICIÓN
MUY PROFUNDO	>40	1	MUY BAJA	BOSQUES

Fuente: Elaboración propia con base en Servicio Geológico Colombiano, 2013.

#### 8.4.3. Profundidad del sistema radicular

Desde la perspectiva geomecánica, la cobertura vegetal refuerza el suelo penetrándolo y conteniéndolo con su sistema radicular, el cual actúa como refuerzo y sostén, incrementando la resistencia al esfuerzo cortante y a la fuerza traxtriz del agua (Servicio Geológico Colombiano, 2013), aumentando la estabilidad de las laderas, independientemente del contenido de agua en el terreno (Preti, 2013).

En terrenos de cárcavas y barrancos, los sistemas radiculares le proporcionan al suelo una resistencia notable, tanto frente al arrastre de sus materiales como a los desplomes o deslizamientos superficiales. La progresión de la cárcava, bien longitudinalmente (progresión ascendente) bien transversalmente, puede verse sustancialmente limitada por la presencia de la vegetación (TRAGSA *et al.*, 1998).

Por otra parte, cuando por efecto de una perturbación (tala de árboles, incendios forestales, ataque de plagas, etc.), se produce la muerte de la vegetación existente, las raíces quedan sujetas a una progresiva descomposición, que puede determinar la formación de conductos de agua que terminan por conectarse con los resultantes de la descomposición de raíces de individuos vecinos, lo que implica inevitablemente una reducción de resistencia a la tracción y de la cohesión que el sistema radicular estaba confiriendo al suelo, con un progresivo aumento de la susceptibilidad a movimientos en masa en el tiempo (Preti, 2013).

Con el fin de adoptar un criterio objetivo para la calificación de las coberturas para la variable del sistema radicular, se han tomado como referencia los rangos de profundidad alcanzados por las raíces (en centímetros), reportados por el Servicio Geológico Colombiano (2013).

De acuerdo a lo anterior, las coberturas que mejor protegen de la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa son los bosques, seguidos por arbustales, vegetación secundaria, pastos y cultivos, los cuales pueden tener una profundidad radicular variable, en función del tipo de cultivo y de la presencia de árboles y rastrojos.



Respecto a la vegetación, los bosques (unidad 3.1), que representan la vegetación climática para las condiciones del municipio de Vélez, son los que tienen la mayor profundidad radicular, lo cual favorece la agregación del suelo y hace que los terrenos con este tipo de cobertura sean los menos susceptibles a movimientos en masa (1).

Las zonas arenosas naturales (tierras desnudas y degradadas - unidad 3.3.1), tienen profundidad radicular nula, lo que facilita la desagregación del suelo y lo hace más susceptible a movimientos en masa, por lo que se le asigna una calificación de máxima susceptibilidad (5).

En cuanto al tejido urbano (unidad 1.1), aunque no aplique el análisis de la variable del sistema radicular, se puede considerar que este posee, en cierto modo, un entramado superficial conformado por las cimentaciones de las edificaciones, por lo tanto, a esta unidad de cobertura y uso del suelo se le asigna una calificación de susceptibilidad media (3) a movimientos en masa.

Las zonas verdes urbanas y las áreas agrícolas heterogéneas, por la presencia de pequeños cultivos intercalados a pastos y rastrojos, pueden considerarse con una profundidad radicular intermedia entre los pastos y la vegetación secundaria en transición, por lo tanto se califican con susceptibilidad media (3) a movimientos en masa.

En la tabla a continuación se reporta la calificación de susceptibilidad asignada a las principales unidades de cobertura para la variable profundidad del sistema radicular.

**Tabla 32.** Calificación de las coberturas para la variable profundidad del sistema radicular.

PROFUNDIDAD DEL SISTEMA RADICULAR	RANGO [cm]	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	COBERTURAS ASOCIADAS
MUY SUPERFICIAL	menos de 25 cm	5	MUY ALTA	ZONAS ARENOSAS NATURALES
SUPERFICIAL	25-50 cm	4	ALTA	CULTIVOS TRANSITORIOS, PASTOS LIMPIOS
MODERADAMENTE PROFUNDO	50-100 cm	3	MEDIA	ÁREAS AGRICOLAS HETEROGÉNEAS, TEJIDO URBANO CONTINUO, TEJIDO URBANO DISCONTINUO, ZONAS VERDES URBANAS
PROFUNDO	110-150 cm	2	BAJA	VEGETACIÓN SECUNDARIA EN TRANSICIÓN
MUY PROFUNDO	mayor de 150 cm	1	MUY BAJA	BOSQUES

Fuente: Elaboración propia con base en Servicio Geológico Colombiano, 2013.

#### 8.4.4. Estratos de la cobertura

La vegetación intercepta las precipitaciones atmosféricas reteniéndolas en sus troncos, ramas, tallos y hojas, haciendo que parte de las mismas no llegue al suelo.

La magnitud de este fenómeno depende de la intensidad de las lluvias, las especies vegetales que componen la vegetación, su edad, sus características y las circunstancias del medio (temperatura ambiental, presión atmosférica, etc.).

Por otra parte, la cubierta vegetal se presenta como un agente extraordinariamente eficaz en la disipación de la energía cinética de las gotas de lluvia, destacando este papel protector de la cubierta próxima al suelo o en contacto con él y de los restos de la vegetación, ya que el dosel arbóreo, a partir de siete u ocho metros de altura, permite a las gotas recuperar parte de su velocidad terminal de caída y con ella, la energía cinética de las lluvias.

La disipación de la energía cinética de las gotas reduce considerablemente la fragmentación de los agregados del suelo, manteniendo la tasa de infiltración del agua a través del terreno (TRAGSA *et al.*, 1998).

La magnitud de los fenómenos anteriormente descritos, puede estimarse tomando como referencia el número de estratos que componen la vegetación: coberturas de mayor porte y más masa foliar como los bosques densos altos, con presencia de un mayor número de estratos, funcionan como un sustrato aéreo de almacenamiento de agua antes de que ésta alcance la superficie del suelo y a mayor estratificación se tendrá entonces una menor recarga de los suelos y una menor probabilidad de falla de los mismos.

Con la disminución de los estratos de la vegetación disminuye la capacidad de interceptación de aguas lluvias, lo cual corresponde a un aumento de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.

Bosques bien evolucionados, que pueden presentar hasta 4 estratos, obtendrán una calificación baja, mientras que los cultivos limpios, que solo presentan 1 estrato, obtendrán una calificación alta.

De acuerdo a lo anterior, los bosques (unidad 3.1) garantizan la mayor interceptación de precipitaciones, evitando el escurrimiento de agua en superficie. Por lo tanto, los suelos con este tipo de cobertura presentan la menor susceptibilidad (1) a movimientos en masa.

Al contrario, las zonas arenosas naturales (unidad 3.3.1), debido a la ausencia total de vegetación, quedan totalmente expuestas a las precipitaciones, por lo tanto se les califica con máxima susceptibilidad a movimientos en masa (5).

Las áreas agrícolas heterogéneas, así como las zonas verdes urbanas, por su composición variada en pastos, rastrojos y cultivos, pueden presentar de 1 a 3 estratos de vegetación, aunque de manera discontinua e irregular, por lo tanto los suelos con este tipo de cobertura se califican con susceptibilidad media (3) a movimientos en masa.

El tejido urbano (unidad 1.1), por la presencia de los sistemas de canalización y drenaje de aguas lluvias, que actúan interceptando las precipitaciones, se califica con una susceptibilidad a movimientos en masa baja (2).

En la tabla a continuación se reporta la calificación de susceptibilidad asignada a las principales unidades de cobertura para la variable estratos de la cobertura.

**Tabla 33.** Calificación de las coberturas para la variable estratos de la cobertura.

ESTRATOS DE LA COBERTURA	RANGO [N° Estratos]	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN	COBERTURAS ASOCIADAS
NO PRESENTA	0	5	MUY ALTA	ZONAS ARENOSAS NATURALES
BAJA DENSIDAD ESTRUCTURAL	1	4	ALTA	PASTOS LIMPIOS, CULTIVOS TRANSITORIOS
MEDIA DENSIDAD ESTRUCTURAL	2	3	MEDIA	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS, ZONAS VERDES URBANAS
MODERADAMENTE ALTA	3	2	BAJA	VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN, TEJIDO URBANO CONTINUO Y DISCONTINUO
ALTA DENSIDAD ESTRUCTURAL	4	1	MUY BAJA	BOSQUES

Fuente: Elaboración propia con base en Servicio Geológico Colombiano, 2013.

#### 8.4.5. Calificación de las unidades de uso y cobertura del suelo

Tomando como base la metodología antes descrita y los valores de referencias reportados para cada variable considerada, se han calificado individualmente todas las unidades de cobertura de las áreas de estudio, con el fin de determinar la susceptibilidad a fenómenos de remoción para cada una.

Con el fin de realizar una evaluación lo más objetiva posible, se ha priorizado la calificación de las unidades más puras (pastos limpios, bosque fragmentado, vegetación secundaria o/en transición, tejido urbano continuo, etc.), para después utilizar los valores de referencia asignados para calificar las coberturas más complejas o genéricas (pastos enmalezados y arbolados, zonas verdes urbanas, bosque fragmentado con pastos y/o cultivos, etc.), de acuerdo a su composición.

La calificación final de cada unidad de uso y cobertura del suelo se obtuvo del promedio de las calificaciones asignada a cada una de las cuatro variables consideradas.

Los bosques fragmentados (unidad 3.1.3) que representan la vegetación más evolucionada que se encuentra en el área rural del Municipio de Vélez y sus alrededores, y la vegetación secundaria o en transición (unidad 3.2.3.), son las unidades de uso y cobertura que confieren al territorio la menor susceptibilidad por movimientos en masa (2).

Las áreas agrícolas heterogéneas (unidad 2.4), las zonas verdes urbanas (unidad 1.4.1), los cultivos permanentes (unidad 2.2), y el tejido urbano discontinuo (unidad 1.1.2) se califican con susceptibilidad media a movimientos en masa (3).

El tejido urbano continuo (unidad 1.1.1), los cultivos transitorios (2.1), los pastos (2.3.1), y las zonas arenosas naturales (3.3.1) representan las unidades de uso y cobertura del suelo con mayor susceptibilidad a movimientos en masa para el área de estudio (4).

A continuación se reporta la matriz de calificación de unidades de cobertura utilizada para el estudio con el promedio obtenido y la calificación susceptibilidad redondeada a 0 cifras decimales.

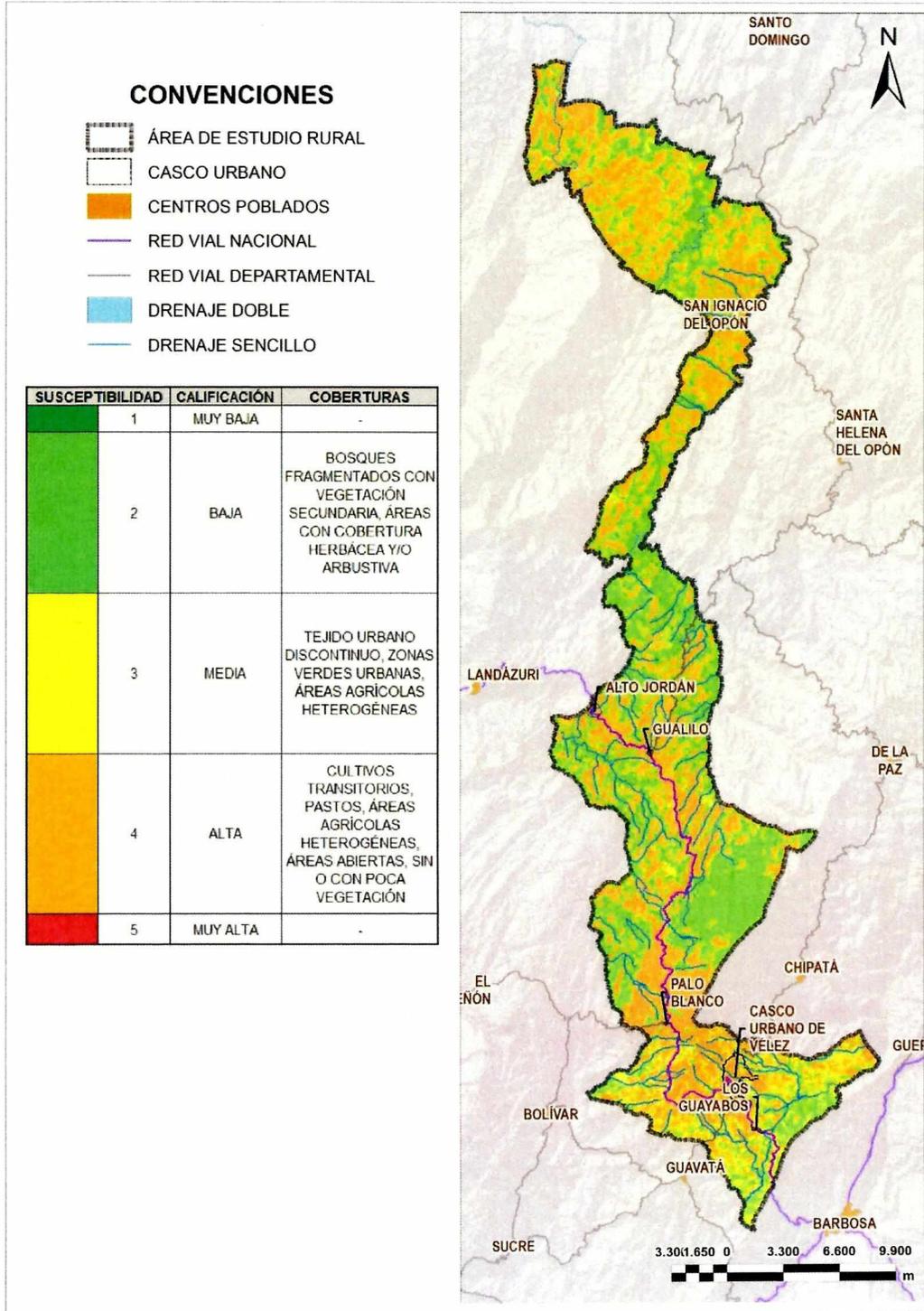
**Tabla 34.** Matriz de calificación de las unidades de cobertura.

UNIDAD DE USO Y COBERTURA		ETP	PR	DP	E	PROMEDIO	SUSCEPTIBILIDAD
<b>1</b>	<b>TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>4.13</b>	<b>3.00</b>	<b>3.25</b>	<b>2.50</b>	<b>3.22</b>	<b>3.00</b>
<b>1.1</b>	<b>ZONAS URBANIZADAS</b>	<b>4.75</b>	<b>3.00</b>	<b>3.50</b>	<b>2.00</b>	<b>3.31</b>	<b>3.00</b>
1.1.1	TEJIDO URBANO CONTINUO	5.00	3.00	4.00	2.00	3.50	4.00
1.1.2	TEJIDO URBANO DISCONTINUO	4.50	3.00	3.00	2.00	3.13	3.00
<b>1.4</b>	<b>ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS, NO AGRICOLAS</b>	<b>3.50</b>	<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	<b>3.13</b>	<b>3.00</b>
1.4.1	ZONAS VERDES URBANAS	3.50	3.00	3.00	3.00	3.13	3.00
<b>2</b>	<b>TERRITORIOS AGRICOLAS</b>	<b>3.17</b>	<b>3.67</b>	<b>3.67</b>	<b>3.67</b>	<b>3.54</b>	<b>4.00</b>
<b>2.1</b>	<b>CULTIVOS TRANSITORIOS</b>	<b>3.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>3.75</b>	<b>4.00</b>
2.1	CULTIVOS TRANSITORIOS	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
<b>2.3</b>	<b>PASTOS</b>	<b>3.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>4.00</b>	<b>3.75</b>	<b>4.00</b>
2.3.1	PASTOS LIMPIOS	3.00	4.00	4.00	4.00	3.75	4.00
<b>2.4</b>	<b>ÁREAS AGRÍCOLAS HETEROGÉNEAS</b>	<b>3.50</b>	<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	<b>3.13</b>	<b>3.00</b>
2.4.3	MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES	3.50	3.00	3.00	3.00	3.13	3.00
2.4.4	MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES	3.50	3.00	3.00	3.00	3.13	3.00
<b>3</b>	<b>BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>	<b>3.33</b>	<b>2.67</b>	<b>2.33</b>	<b>2.67</b>	<b>2.75</b>	<b>3.00</b>
<b>3.1</b>	<b>BOSQUES</b>	<b>4.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.75</b>	<b>2.00</b>
3.1.3	BOSQUE FRAGMENTADO	4.00	1.00	1.00	1.00	1.75	2.00
<b>3.2</b>	<b>ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA</b>	<b>4.00</b>	<b>2.00</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	<b>2.25</b>	<b>2.00</b>
3.2.3	VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN	4.00	2.00	1.00	2.00	2.25	2.00
<b>3.3</b>	<b>ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN</b>	<b>2.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>4.25</b>	<b>4.00</b>
3.3.1	ZONAS ARENOSAS NATURALES	2.00	5.00	5.00	5.00	4.25	4.00

ETP: evapotranspiración; PR: profundidad radicular; DP: drenaje profundo; E: estratos de la cobertura.

Fuente: Equipo Técnico - UIS.

**Figura 122.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa por uso y cobertura del suelo del área rural del Municipio de Vélez (Plano R-12).



Fuente: Elaboración Propia

## 9. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Para el cálculo de susceptibilidad a movimientos en remoción en masa en el área rural de Vélez fueron propuestos cinco factores de análisis, por el equipo de especialistas, son: pendientes, geología superficial (litología-estructura), geomorfología (unidades geomorfológicas), humedad del suelo y usos y cobertura del suelo.

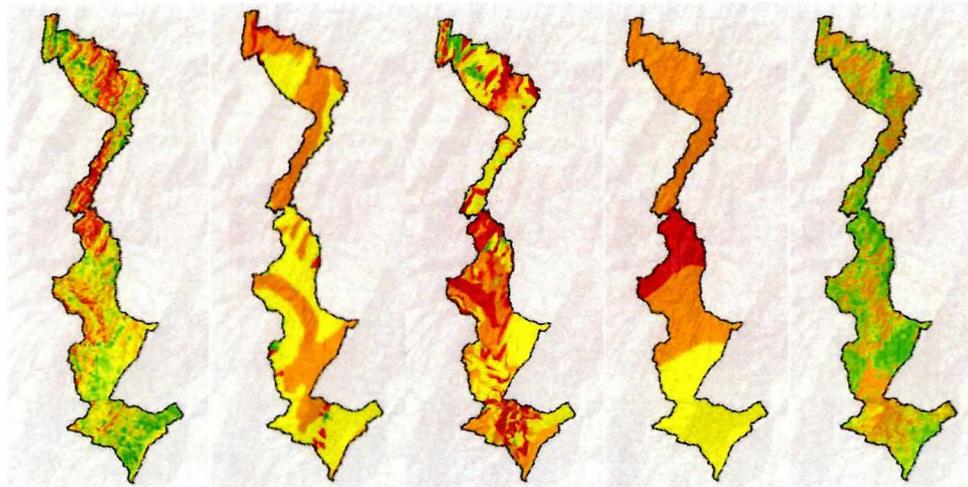
Teniendo en cuenta que cada factor influye de manera diferente en los fenómenos de remoción en masa es importante asignar pesos a cada uno de ellos, para el caso particular del área rural de Vélez se llegó a un consenso de los expertos realizando algunas variaciones en los pesos, para finalmente definirlos como se muestran en la tabla 35.

**Tabla 35.** Pesos de los valores para el cálculo de susceptibilidad.

FACTOR	PESO
PENDIENTES	0.22
GEOLOGÍA	0.20
GEOMORFOLOGÍA	0.23
HUMEDAD DEL SUELO	0.15
USO Y COBERTURA DEL SUELO	0.20

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 123.** Mapa de variable para el cálculo de susceptibilidad a movimientos en masa.



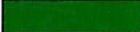
Fuente: Elaboración Propia



Cada una de las variables contempladas para el análisis se clasificó según una escala de uno a cinco en nivel susceptibilidad a movimientos en masa, de acuerdo a cuanto indicado en la tabla 36.

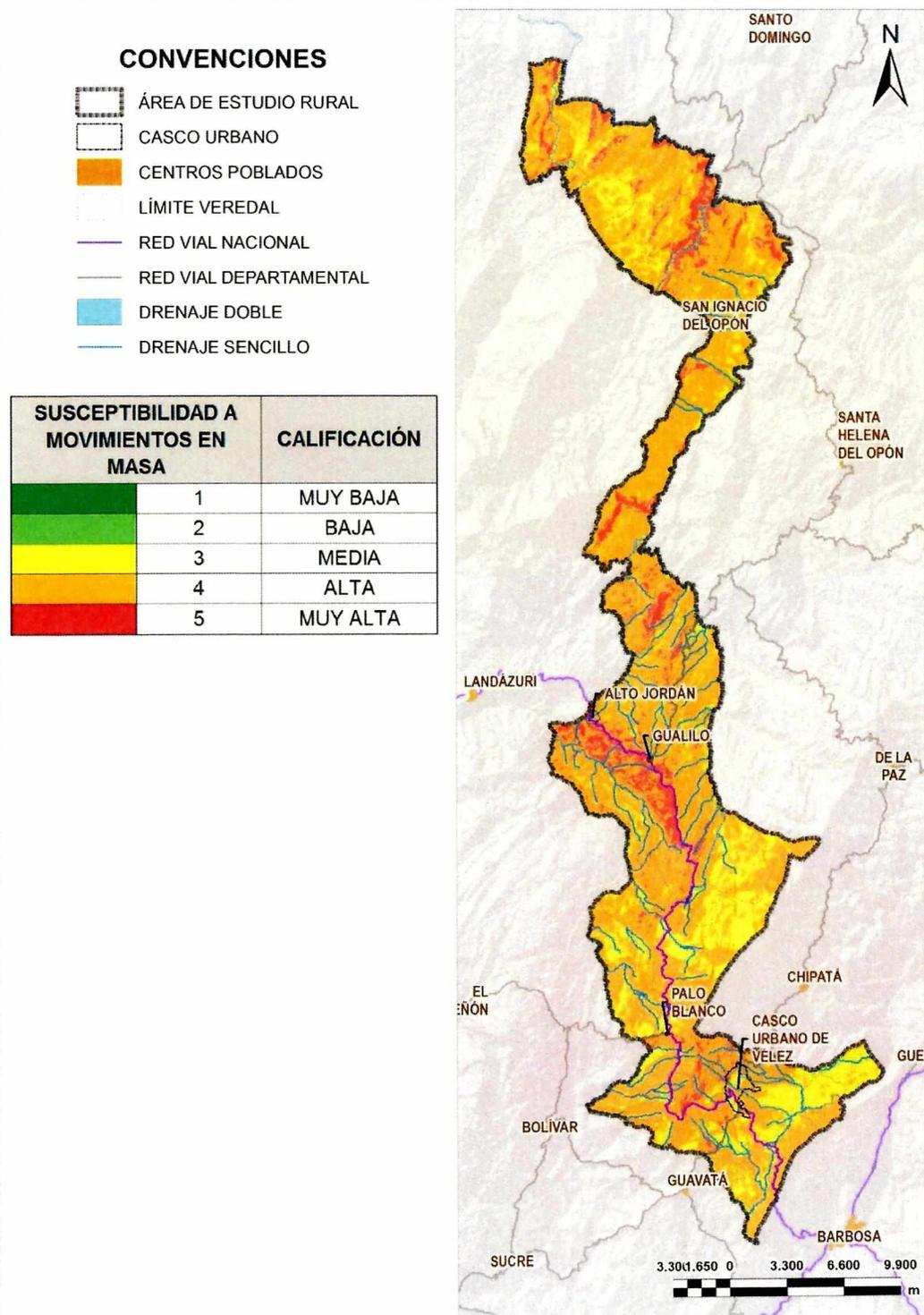
Posteriormente, se realizó la suma ponderada de las calificaciones definidas por celda en los mapas de susceptibilidad para cada variable, teniendo en cuenta los pesos preestablecidos, mediante el uso de la herramienta *raster calculator* de ArcGis, para así obtener el mapa de susceptibilidad (ver figura 124).

**Tabla 36.** Calificación para la susceptibilidad.

SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA		CALIFICACIÓN
	1	MUY BAJA
	2	BAJA
	3	MEDIA
	4	ALTA
	5	MUY ALTA

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 124.** Mapa de susceptibilidad para el área rural del municipio de Vélez (R-14).



Fuente: Elaboración Propia

## 10. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Los movimientos en masa son el resultado de la interacción de factores intrínsecos del terreno que lo predisponen hacia una situación de inestabilidad (susceptibilidad), con factores extrínsecos del terreno (detonantes) que generan o desencadenan una amenaza, en este caso específico los movimientos en masa (SGC, 2013).

A partir de la zonificación de susceptibilidad realizada según lo descrito en el capítulo anterior, se tomó como base la metodología heurística propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (2013) y el Ingeominas (2001), la cual se adaptó al alcance del presente estudio y a las características del territorio municipal, con el fin de obtener la zonificación de la amenaza para el área rural del municipio de Vélez, para lo cual se definieron las lluvias máxima diarias y el sismo, como detonantes de los movimientos en masa.

Mientras que los factores tenidos en cuenta en la zonificación de susceptibilidad como las pendientes, la geomorfología, la geología superficial, la humedad del suelo y el uso y la cobertura del suelo, presentaron una variabilidad que permitió trabajar adecuadamente con la escala de trabajo, para los factores detonantes de tales movimientos, como son las lluvias máximas diarias y el sismo considerados en el análisis de amenazas, no se dispone de una buena discretización de los datos necesaria para satisfacer un análisis más detallado. En el caso de la variable Sismo, por ejemplo, se tiene un único valor de aceleración sísmica horizontal en toda el área, de acuerdo con la NSR-10.

La evaluación de la amenaza por movimientos en masa debida a los eventos detonados por lluvias, se obtiene mediante la suma de los pesos que contiene cada celda para el detonante y la susceptibilidad, de acuerdo a la ecuación 1.

$$A_{Llu} = S + F_{Llu} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$A_{Llu}$  = Amenaza por lluvias máximas diarias

S= susceptibilidad del suelo a movimientos en masa

$F_{Llu}$  = Factor lluvia

De forma similar, el cálculo de la amenaza por sismo, se obtiene mediante la suma de los pesos que contiene cada celda para el detonante sismo y la susceptibilidad, de acuerdo a la ecuación 2.

$$A_s = S + F_s \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$A_s$  = Amenaza por sismo

S= susceptibilidad del suelo a movimientos en masa

$F_s$  = Factor sismo

El cálculo de la amenaza total se obtiene mediante la suma de la amenaza por lluvia y por sismo (ecuación 3).

$$A_T = A_{Llu} + A_s \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$A_T$  = Amenaza total

$A_{Llu}$  = Amenaza por detonante lluvias

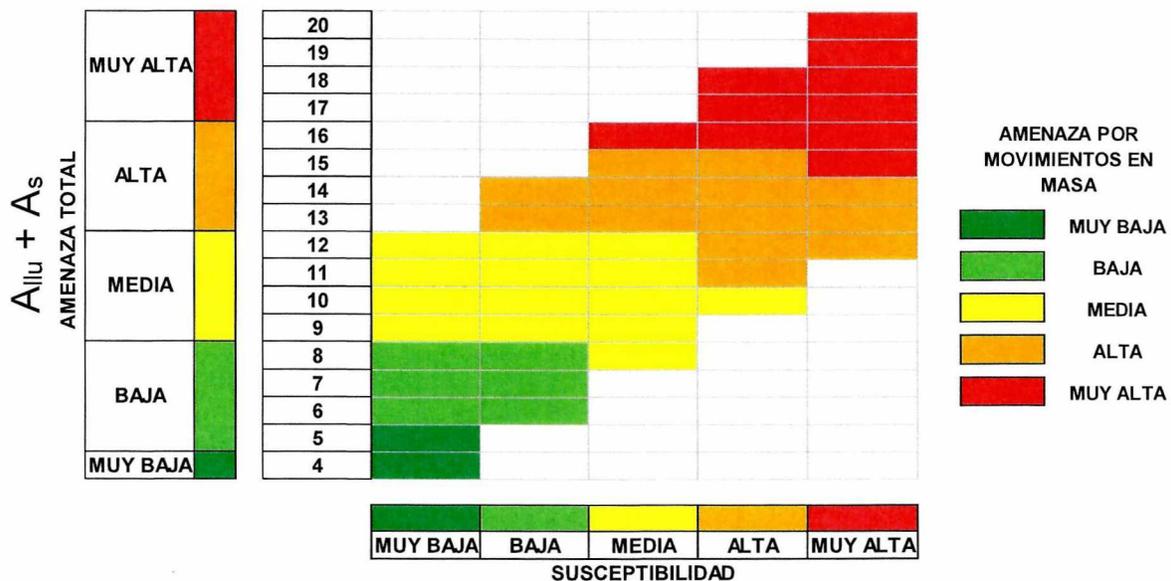
$A_s$  = Amenaza por detonante sismo

Los valores obtenidos de amenaza por detonante lluvias o sismo oscilan entre 2 y 10, debido a que tanto la calificación de los detonantes como la de la susceptibilidad varían entre 1 y 5.

Así mismo, los valores de amenaza total, oscilan entre 4 y 20 y constituyen la base para la calificación de amenaza por movimientos en masa, la cual se realiza a través de un proceso de comparación entre los valores de amenaza total obtenidos y los valores de susceptibilidad iniciales.

En la figura 125 se reporta un esquema explicativo del proceso utilizado para la clasificación de la amenaza para el área rural del municipio de Vélez.

**Figura 125.** Proceso para la calificación de la amenaza por movimientos en masa para el área rural del municipio de Vélez.



Fuente: Adaptado de SGC (2003)

## 10.1. FACTOR DETONANTE POR LLUVIAS MÁXIMAS

Para el análisis del factor detonante por lluvias máximas, se consideraron los datos procedentes de las estaciones aledañas al perímetro municipal, que tuvieran geográficamente injerencia en la captura de datos meteorológicos.

En la tabla a continuación se reportan las estaciones consideradas para el presente análisis, junto con el valor máximo de lluvias máximas registrado para la serie individual de datos históricos expresados en mm acumulados en 24 horas.

**Tabla 37.** Estaciones meteorológicas y registro histórico de su máxima precipitación.

Estación Meteorológica	Valor máximo de la serie [mm/24 Hrs]
Est. Bolívar	162.0
Est. Cimitarra	91.0
Est. Landázuri	140.4
Est. Miravalles	110.0
Est. La Verde	150.0
Est. Vélez La Granja	88.5
Est. Camp Capote	158.0
Est. El Carmen	196.0
Est. Guavatá	92.0

Fuente: Elaboración Propia

Para cada estación, se proyectaron los valores de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (100, 200 y 500 años) mediante el uso de métodos estadísticos de valores extremos de acuerdo con la distribución de probabilidad de Gumbel tipo I, que presentó el mejor ajuste con respecto a las demás distribuciones de probabilidad para las estaciones de Vélez Granja, Landázuri y Cimitarra, como se demostró en el volumen IIA.

La prueba de bondad de ajuste de Smirnov y Kolmogorov, se aplica adecuadamente a la distribución de Gumbel tipo I, con un error de 0.05.

En la tabla 38 se reportan los valores de precipitación máximas obtenidos para los diferentes periodos de retorno.

**Tabla 38.** Valores de lluvias máximas diarias para diferentes periodos de retorno.

Estación Meteorológica	Valor máximo de la serie [mm/24 Hrs]	Gumbel Tipo I		
		Max Tr 100 [mm/24 Hrs]	Max Tr 200 [mm/24 Hrs]	Max Tr 500 [mm/24 Hrs]
Est. Bolívar	<b>162.0</b>	137.8	150.4	<b>167.0</b>
Est. Cimitarra	91.0	186.3	199.5	<b>217.0</b>
Est. Landázuri	140.4	160.0	170.6	<b>184.6</b>
Est. Miravalles	110.0	119.2	128.9	<b>141.6</b>
Est. La Verde	150.0	176.9	186.1	<b>198.4</b>
Est. Vélez La Granja	88.5	92.6	97.8	<b>104.6</b>
Est. Camp Capote	158.0	173.1	183.4	<b>196.9</b>
Est. El Carmen	196.0	200.1	219.6	<b>245.2</b>
Est. Guavatá	92.0	115.4	123.5	<b>134.2</b>

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que, de acuerdo a los resultados obtenidos, la estación Bolívar presenta una precipitación muy cercana a la proyectada para un período de retorno de 500 años, se estableció realizar el análisis del factor detonante por lluvias para diferentes escenarios, con el fin de observar con mayor claridad el comportamiento del factor de disparo por lluvias:

1. Factor de disparo con Lluvia máxima registrada en cada estación.
2. Factor de disparo con Lluvia máxima para un Tr de 100 años para cada estación.
3. Factor de disparo con Lluvia máxima para un Tr de 200 años para cada estación.
4. Factor de disparo con Lluvia máxima para un Tr de 500 años para cada estación.

Los valores de lluvia máxima obtenidos para los diferentes periodos de retorno, se espacializaron en ambiente ArcGis utilizando el método de interpolación Kriging, con el fin de obtener un valor de lluvia máxima diaria para cada pixel (20 x 20 m), que luego se clasificó de acuerdo con el rango de precipitaciones adoptados por el Servicio Geológico Colombiano (2013) para el territorio nacional (ver tabla 39).

**Tabla 39.** Calificación de la lluvia máxima diaria según su contribución a los movimientos en masa.

Factor de amenaza por lluvias máximas diarias		Calificación	Precipitación [mm/ 24 Hrs]
	1	Muy Baja	< 50
	2	Baja	50 - 100
	3	Media	100 - 150
	4	Alta	150-220
	5	Muy Alta	>220

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se describen brevemente los escenarios tenidos en cuenta para el análisis y los resultados obtenidos.

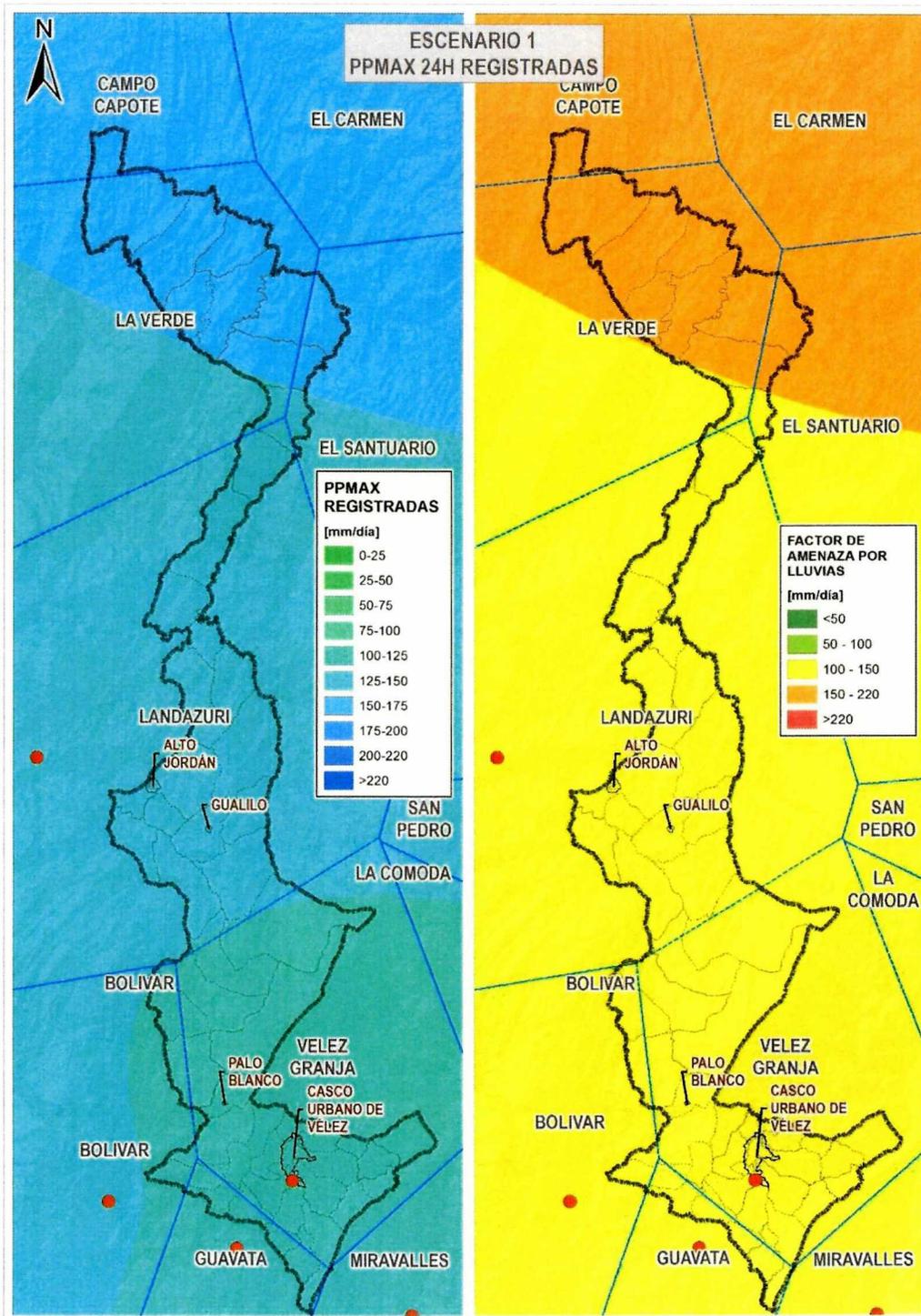
**Escenario 1: factor detonante con Lluvia máxima registrada en cada estación**

Como se muestra en la figura 126, de acuerdo al escenario obtenido mediante la interpolación de los valores de lluvias máximas diarias registradas, se observa que, dos tercios del territorio aproximadamente, desde la vereda Cuba hasta las veredas de Mantellina Alta y el Recreo, registra precipitación detonante entre 100 y 150 mm/día, la cual califica como factor de lluvias máximas diarias medio, mientras que los sectores más al norte hasta el límite municipal septentrional, presentan una calificación alta (150-220 mm/día).

**Escenario 2: factor detonante con Lluvia máxima para un  $T_r$  de 100 años para cada estación**

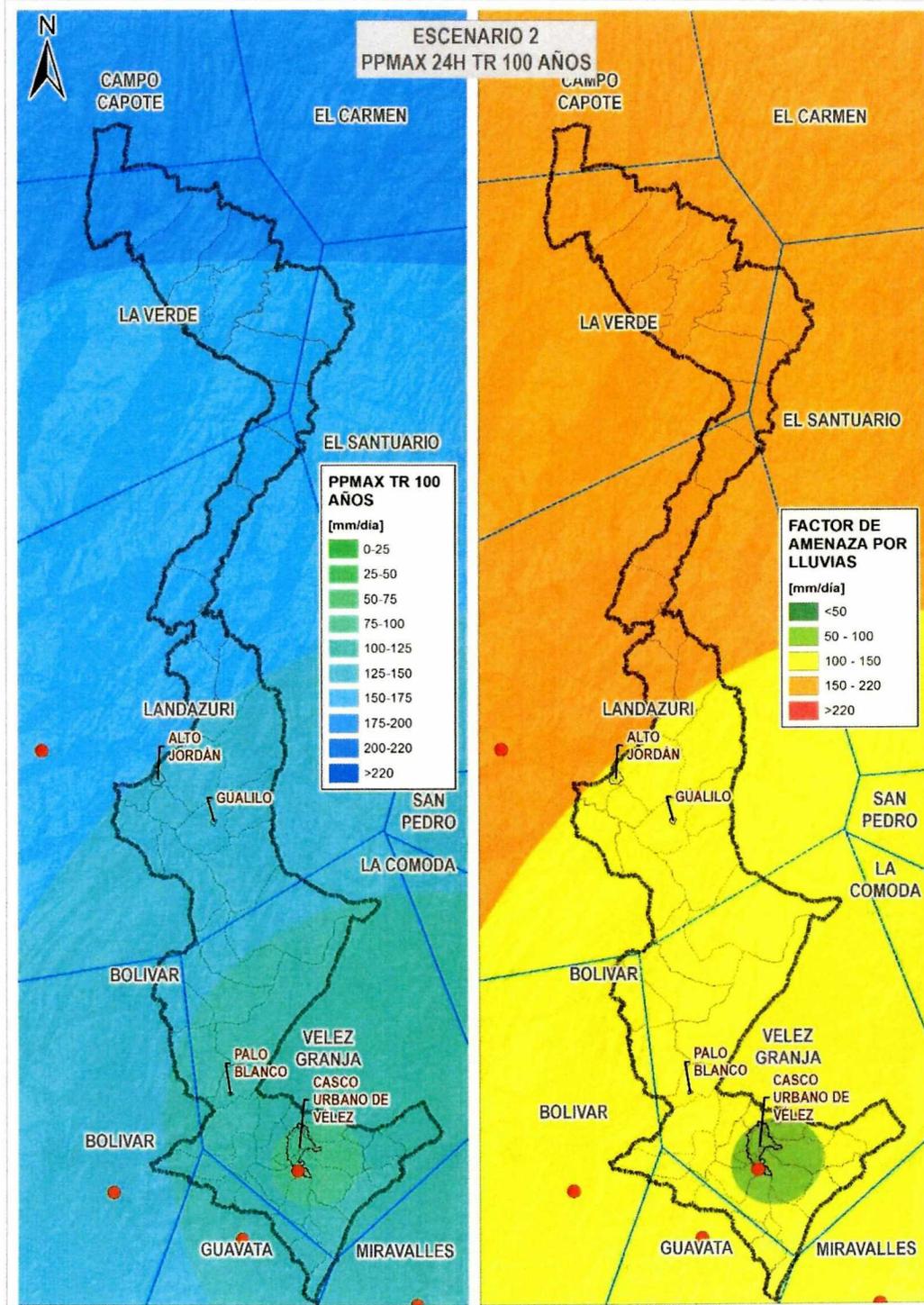
Para el escenario con periodo de retorno a 100 años, se observa que las veredas cercanas al casco urbano Municipal como Tun Tun, Laureles, el Amarillo, y el norte de la vereda el limón, registran calificaciones bajas, mientras que las demás veredas hacia el norte limitando con la Hélida y Salandas, tienen calificación media. Para los sectores al norte de Alto Jordán, y desde allí hasta el límite septentrional del municipio, se obtiene un valor alto del factor de lluvias máximas diarias (ver figura 127).

**Figura 126.** Mapa de precipitaciones máximas diarias registradas en el área rural del municipio de Vélez (escenario 1).



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 127.** Mapa de precipitaciones máximas diarias con Tr 100 años para el área rural del municipio de Vélez (escenario 2).



Fuente: Elaboración Propia

### **Escenario 3: factor detonante con Lluvia máxima para un Tr de 200 años para cada estación.**

Para este escenario, el factor de lluvias máximas diarias califica como muy bajo solo para el sector del casco urbano de Vélez en correspondencia de la salida hacia Barbosa. La zona de calificación media se extiende hacia el norte hasta las veredas Llanadas, Visinia la Héliada y Salandas, donde empieza la zona de calificación alta, la cual se extiende hasta el límite norte del municipio (ver figura 128).

### **Escenario 4: factor detonante con Lluvia máxima para un Tr de 500 años para cada estación**

El escenario obtenido con la interpolación de los valores de lluvias máximas diarias con periodo de retorno a 500 años, no presenta zonas de calificación baja, mientras que la categoría de calificación media se extiende desde el sur del municipio hasta las veredas Salandas y Helida. La gran parte del municipio, correspondiente a aproximadamente un tercio de su extensión total, se encuentra en zona de calificación alta para el factor de amenaza por lluvias máximas diarias (ver figura 129).

De acuerdo al periodo de retorno considerado y a los resultados arrojados por el análisis, este escenario corresponde al más crítico entre los contemplados para el análisis de factor detonante por lluvias máximas.

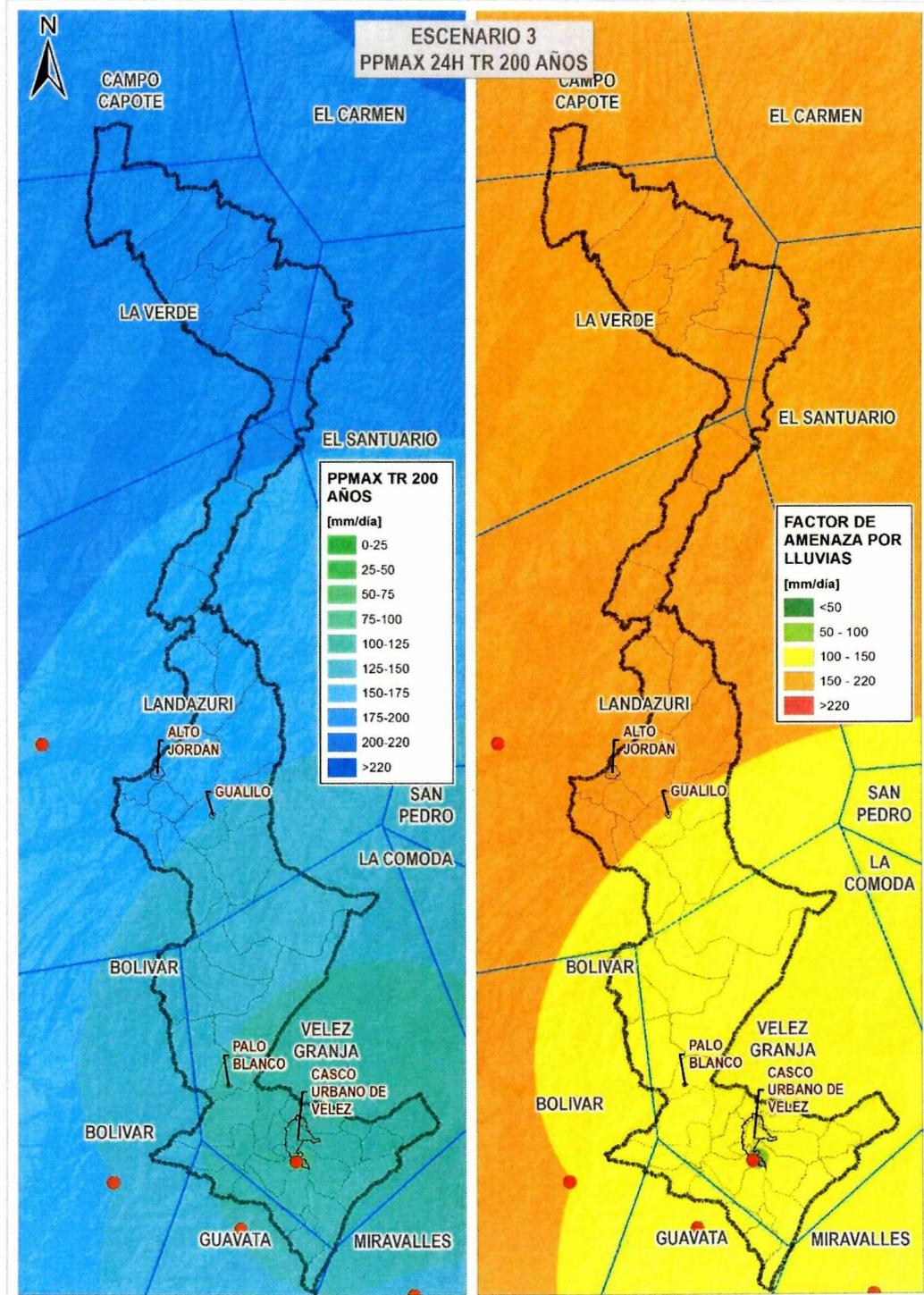
Sin embargo, es de anotar en ningún caso, los valores de lluvia máxima diaria con periodo de retorno de 500 años, superan en un 45% la máxima registrada en cada una de las estaciones en sus respectivas series de datos.

Los casos más notables se dan en las estaciones de Bolívar, en donde la lluvia de Tr500 años es apenas un 3% mayor que la máxima registrada en dicha estación, y en la estación Guavatá, en donde la Variación es la máxima (45%) de la precipitación pico registrada en ella para su serie de datos.

En consideración de lo anterior, se ha establecido tomar este escenario para la evaluación del factor detonante por lluvias máximas diarias.

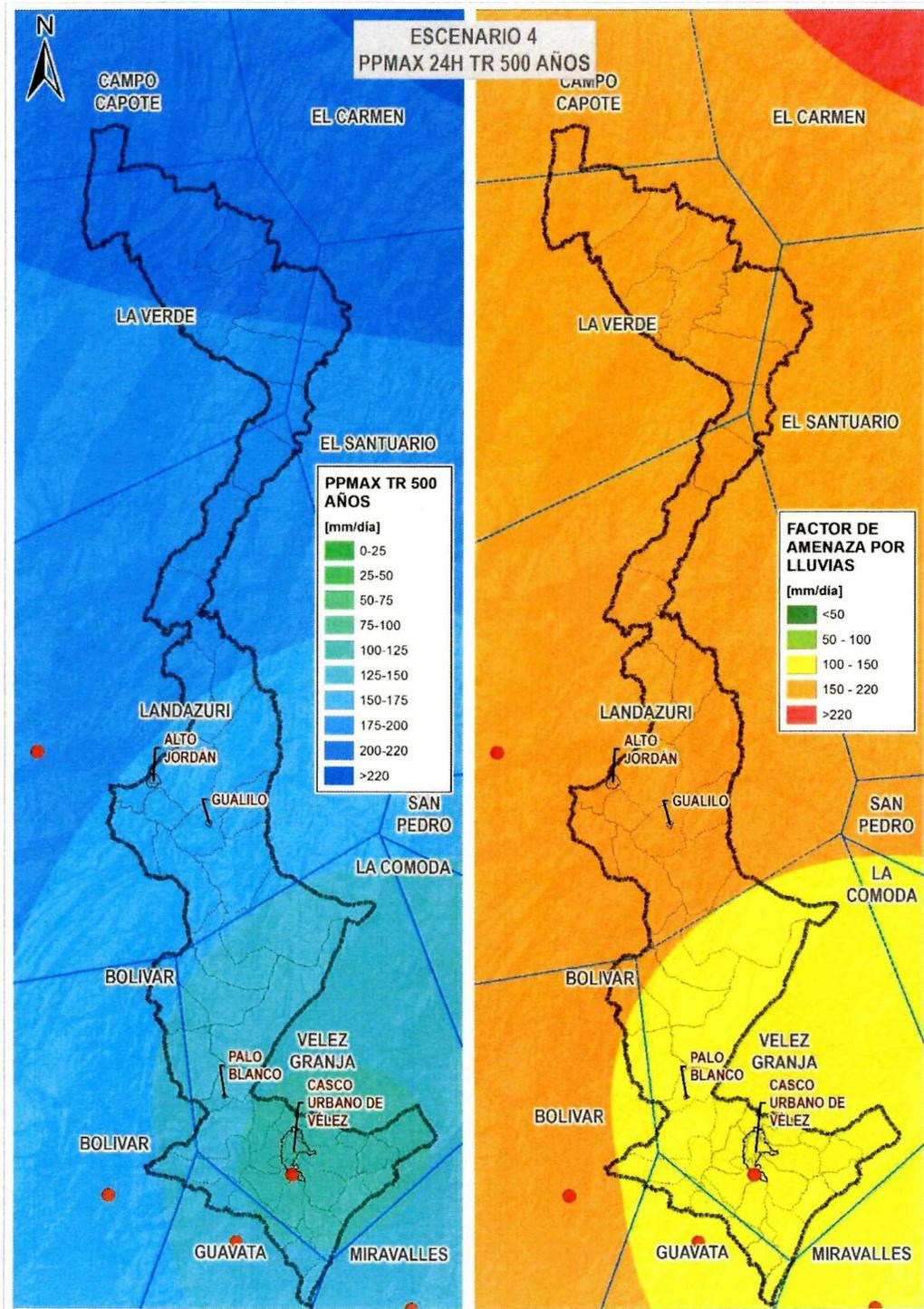
En la figura 130 se aprecia el mapa del factor lluvia empleado para la evaluación de la amenaza por lluvias máximas diarias para el área rural del municipio de Vélez.

**Figura 128.** Mapa de precipitaciones máximas diarias con Tr 200 años para el área rural del municipio de Vélez (escenario 3).



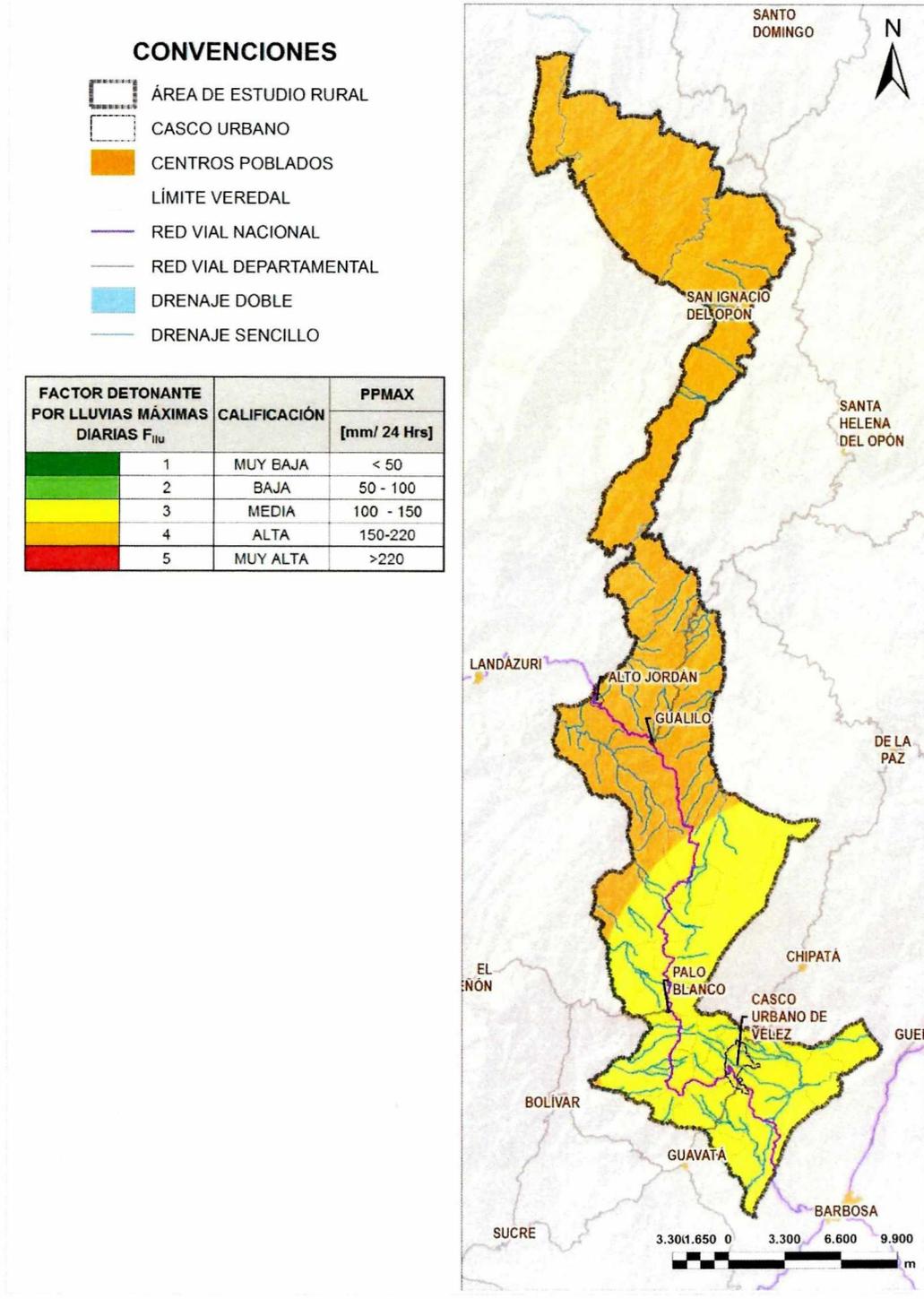
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 129.** Mapa de precipitaciones máximas diarias con Tr 500 años para el área rural del municipio de Vélez (escenario 4).



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 130.** Mapa del factor detonante por lluvias máximas diarias para el área rural del municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración Propia

## 10.2. FACTOR DETONANTE POR SISMO

Desde el punto de vista ingenieril, las laderas y taludes se encuentran en estados que van desde muy estables a marginalmente estables. Cuando un sismo ocurre induce un movimiento del terreno a menudo suficiente para causar fallas a taludes que están marginalmente a moderadamente estables antes del sismo. Los daños resultantes pueden ser desde insignificantes a catastróficos dependiendo de la geometría y de las características del material que las conforman (SGC, 2013).

Para el análisis del factor detonante por sismo, se tomaron como base las zonas de amenaza sísmica definidas por la NSR-10 (capítulo A.2, tabla A.2.3-1), y se reclasificaron con el fin de obtener una escala de valores de amenaza de 1 a 5, según lo indicado en la tabla a continuación.

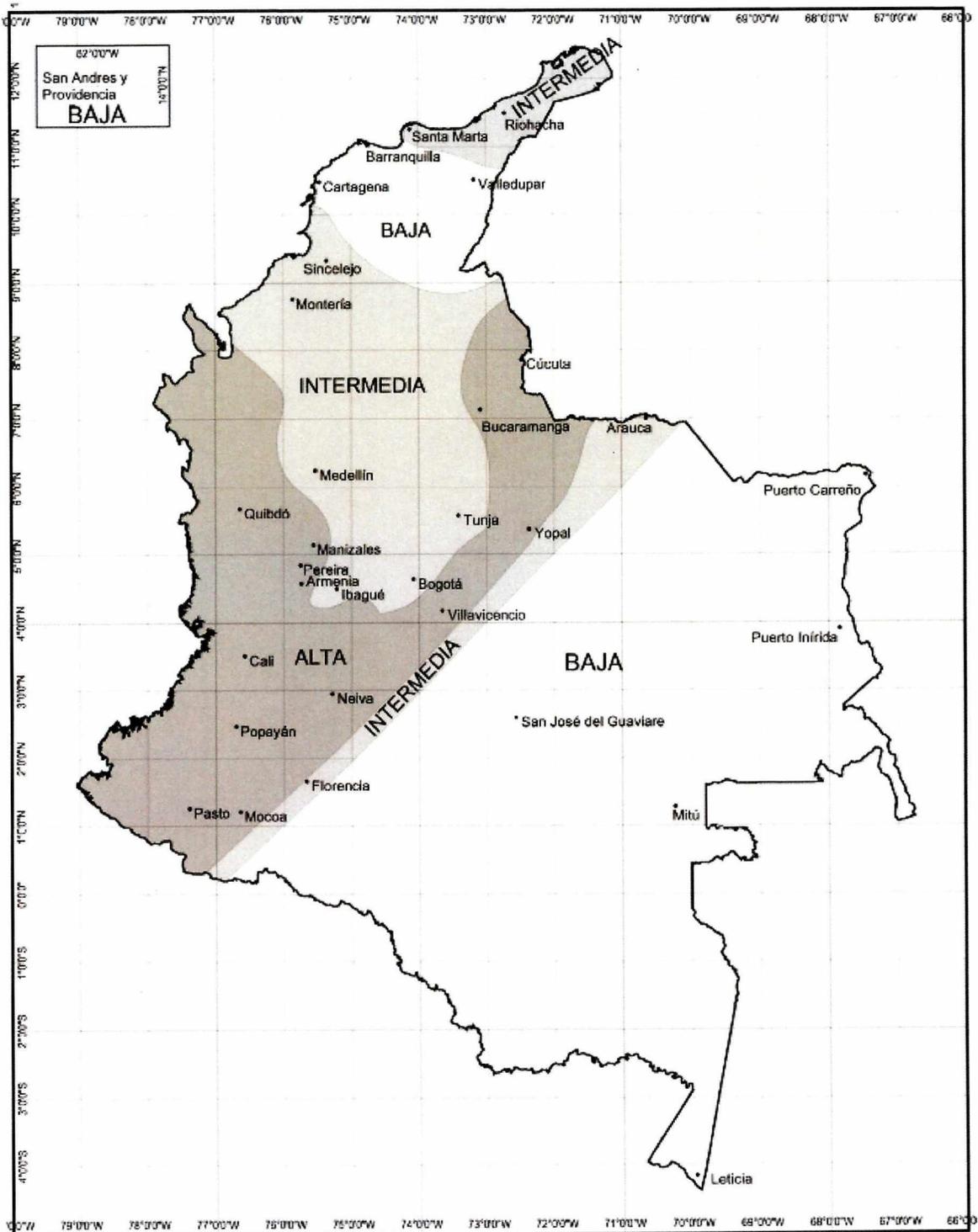
**Tabla 40.** Calificación de la zona de amenaza sísmica.

FACTOR DETONANTE POR SISMO $F_s$	CALIFICACIÓN	ZONA DE AMENAZA SISMICA SEGÚN NSR-10	MAYOR VALOR ENTRE $A_a$ y $A_v$
1	MUY BAJA	BAJA	0.05
2	BAJA	BAJA	0.10
3	MEDIA	INTERMEDIA	0.15
		INTERMEDIA	0.20
4	ALTA	ALTA	0.25
		ALTA	0.30
		ALTA	0.35
5	MUY ALTA	ALTA	0.40
		ALTA	0.45
		ALTA	0.50

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al mapa nacional de amenaza sísmica de Ingeominas, el municipio de Vélez presenta valores de  $A_a$  y  $A_v$  de 0.15, por lo tanto se encuentra ubicado en la zona de amenaza sísmica intermedia, a la cual corresponde un factor detonante por sismo de 3 (calificación media).

**Figura 131.** Zonas de amenaza sísmica definidas por la NSR-10.



Fuente: NSR-10

### 10.3. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Como se mencionó anteriormente, la evaluación de la amenaza por movimientos en masa debida a los eventos detonados por lluvias y sismo, se obtiene mediante la suma de los pesos que contiene cada celda para el detonante y la susceptibilidad.

El resultado de este proceso, es la obtención de un mapa de amenaza para cada detonante considerado singularmente, como se muestra en la figura 133.

Los valores obtenidos de amenaza por detonante lluvias o sismo oscilan entre 2 y 10, debido a que tanto la calificación de los detonantes como la de la susceptibilidad varían entre 1 y 5.

La suma de los pesos por celdas de los dos mapas de amenaza obtenidos, permite obtener el valor de amenaza total, el cual puede variar entre 4 y 20 (ver figura 134).

La comparación entre los valores de amenaza total obtenidos (de 4 a 20) y los valores de susceptibilidad iniciales (de 1 a 5) permite reclasificar las celdas del mapa de amenaza total en una escala de 1 a 5, de acuerdo al esquema reportado en la figura 125, con lo cual se obtiene el mapa de amenaza por movimientos en masa para el área rural del municipio de Vélez (ver figura 135).

El análisis realizado permitió discriminar las siguientes categorías de amenaza por movimientos en masa:

#### ***Zona de amenaza media (3)***

Esta zona abarca al 12% del territorio y se extiende principalmente en los sectores sur-orientales del municipio, incluyendo principalmente las áreas de menor pendiente y con cobertura boscosa o de vegetación secundaria alta de las veredas Gaital, Llanadas, Los Ejidos, Roperó, Guayabal, El Limón.

Son zonas en donde no se recomienda la construcción de infraestructura, a menos que se realicen estudios geotécnicos y se mejore la condición del sitio. Las mejoras del terreno pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, reforestación, entre otros. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos agropecuario, nunca para sustentar construcción alguna.

#### ***Zona de amenaza alta (4)***

De acuerdo a los resultados obtenidos, el 80% del territorio municipal se encuentra ubicado en zona de amenaza alta por movimientos en masa, destacando la franja entre Gualilo (viejo o alto y el nuevo) y Alto Jordán.



Igualmente, el sector central municipal, topográficamente más alto, que corresponde a las vertientes distribuidas después de Paloblanco, posee amenaza alta, dada la presencia de innumerables escorrentías que fluyen hacia el noroccidente, la consiguiente humedad natural, abundancia de rocas meteorizadas y suelos finos, que aunque no poseen altas pendientes si son susceptibles a inestabilidad, como lo evidencian los amplios sectores con flujos y reptación, que deforman la vía, dañan viviendas y otras infraestructuras.

Son zonas en donde no se recomienda la construcción de infraestructura. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle e implementarse medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector o, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.

**Zona de amenaza muy alta (5)**

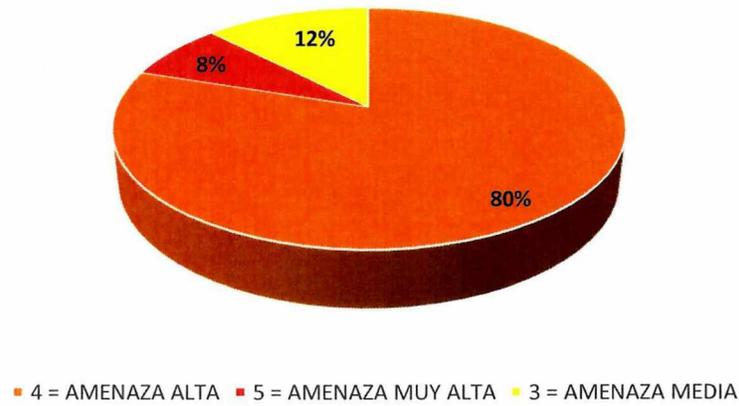
Estas zonas abarcan al 8% del territorio y se ubican principalmente en los siguientes sectores:

- Al occidente del casco urbano, en correspondencia del límite entre las veredas El Amarillo, Peña Grande y Peña Tambor;
- En la zona central del territorio municipal, a lo largo de la vía nacional que conecta los municipios de Vélez y Landazuri, incluyendo buena parte de las veredas Salandas, Gualilo, Campo Hermoso y La Esperanza, hasta el centro poblado de Alto Jordán.
- Varias zonas de laderas ubicadas en los sectores centro-septentrionales del territorio, entre las veredas Limoncito y Mantellina Baja y el límite municipal.

Estos sectores corresponden en su mayoría a áreas de laderas y escarpes, con escasa cobertura vegetal y/o uso inadecuado del suelo, propensas a desestabilizarse por acción de la alta pluviosidad.

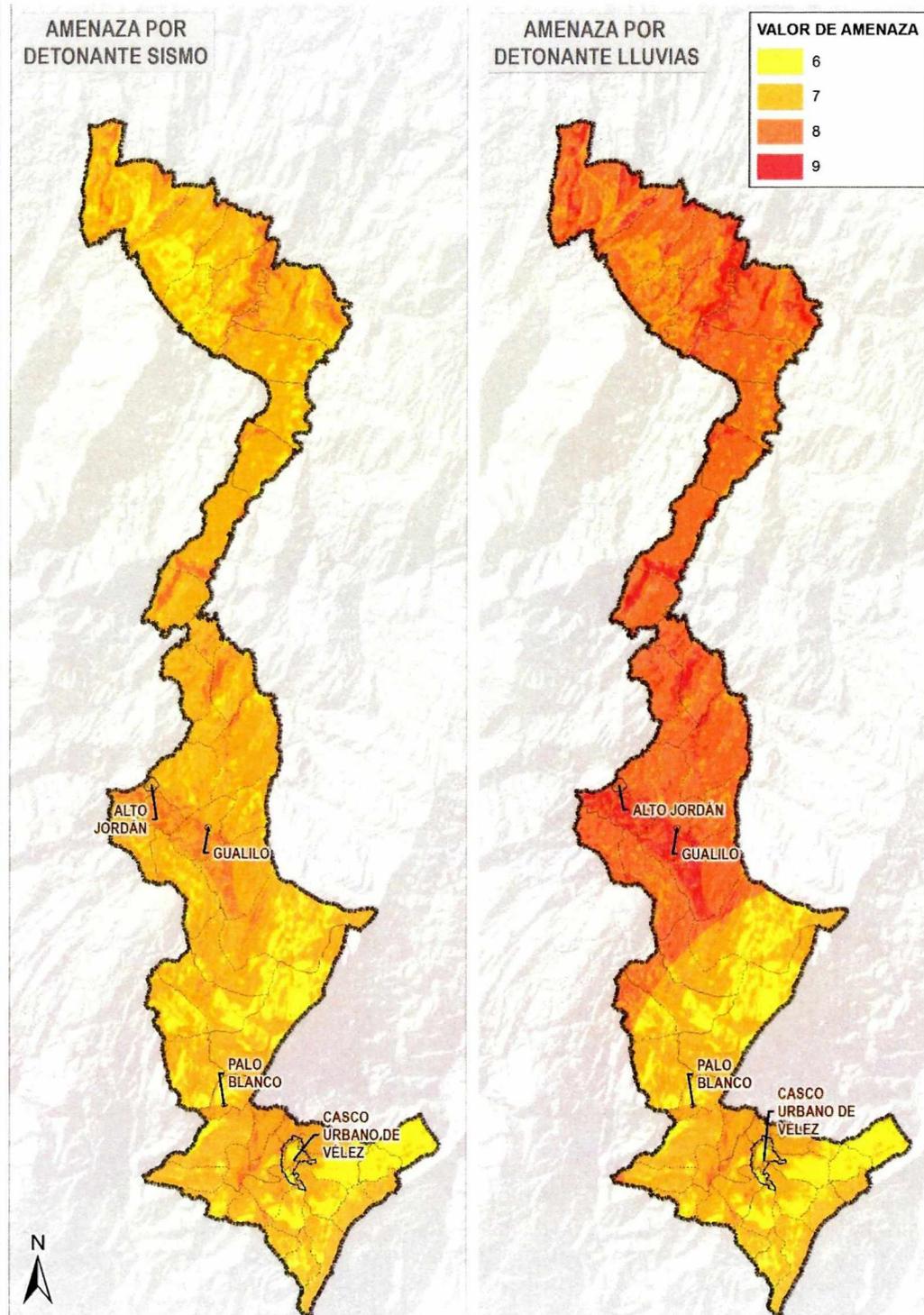
Constituyen zonas no aptas para la construcción de nueva infraestructura que deben destinarse exclusivamente a la conformación de áreas de protección y conservación ambiental. Para la infraestructura y/o las edificaciones eventualmente existentes en estas áreas, deberán implementarse medidas correctivas y prospectivas con el fin de garantizar su seguridad, cuyo diseño deberá ser soportado por estudios detallados.

**Figura 132.** Distribución de las zonas de amenaza por movimientos en masa en el territorio municipal.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 133.** Mapas de amenaza por detonantes.

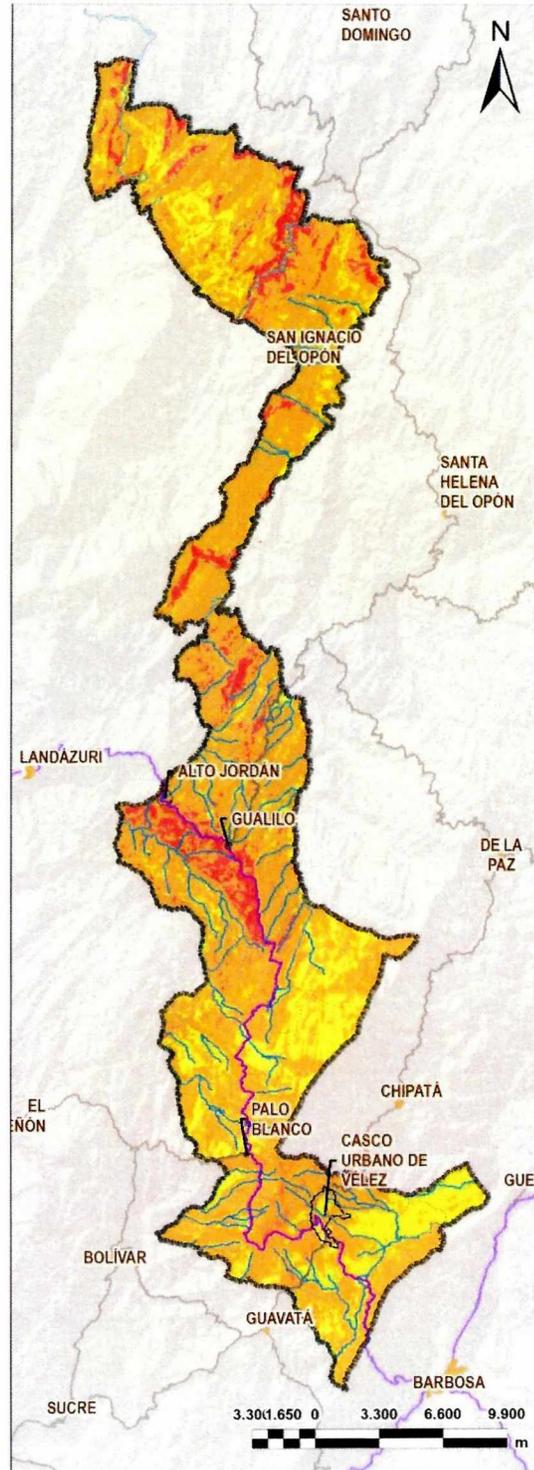


Fuente: Elaboración Propia

Figura 134. Mapa de amenaza total por lluvias y sismo.

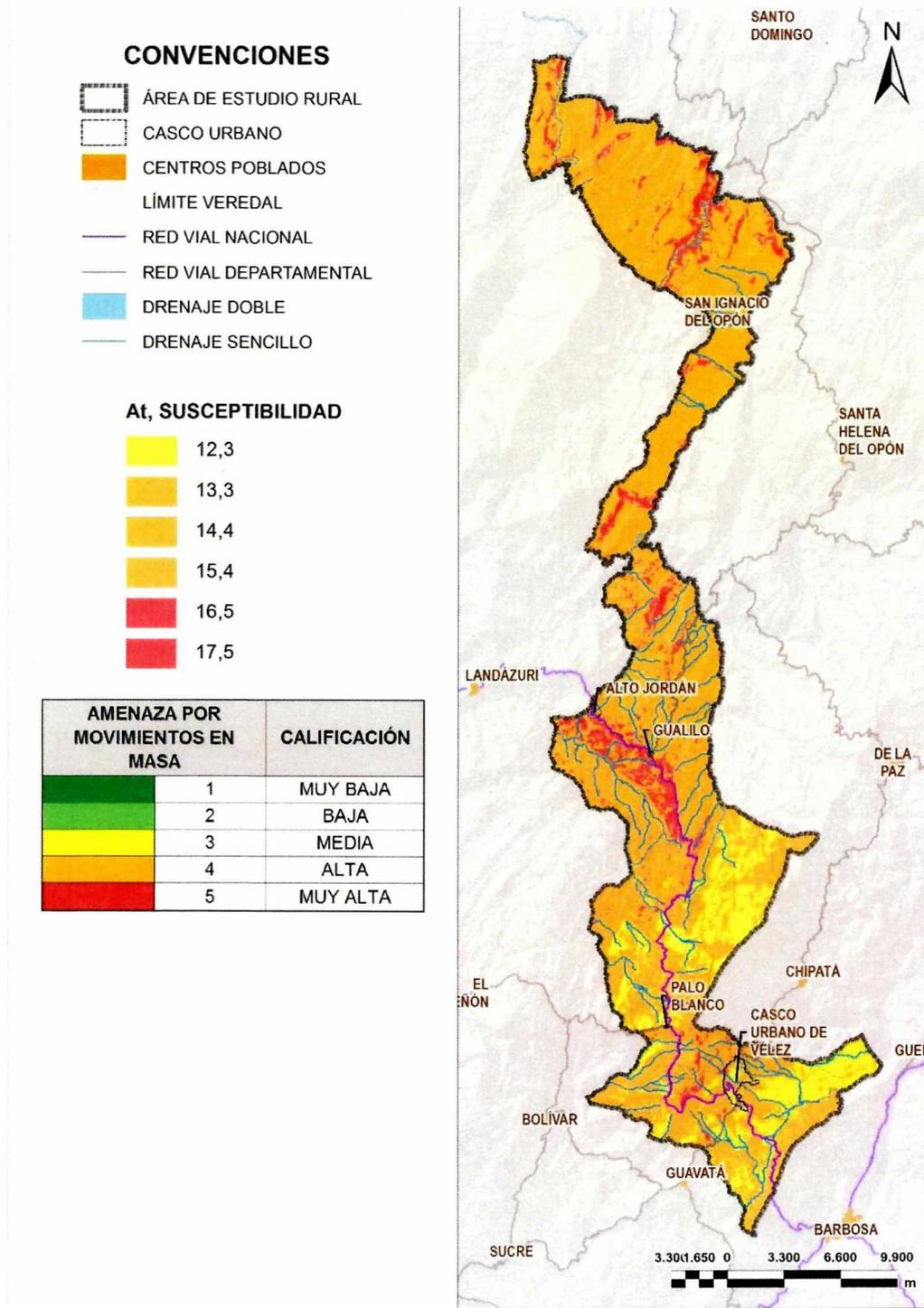
- CONVENCIONES**
-  ÁREA DE ESTUDIO RURAL
  -  CASCO URBANO
  -  CENTROS POBLADOS
  -  LÍMITE VEREDAL
  -  RED VIAL NACIONAL
  -  RED VIAL DEPARTAMENTAL
  -  DRENAJE DOBLE
  -  DRENAJE SENCILLO

- LEYENDA**
- AMENAZA POR LLUVÍAS (AL<sub>lu</sub>) + AMENAZA POR SISMO (As)
-  12
  -  13
  -  14
  -  15
  -  16
  -  17



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 135.** Mapa de amenaza por movimientos en masa para el área rural del municipio de Vélez (R-15).



Fuente: Elaboración Propia

#### 10.4. CALIBRACIÓN DEL MAPA DE AMENAZA

Con el fin de validar el resultado de la zonificación de amenaza por movimientos en masa del área rural del municipio de Vélez, se tuvieron en cuenta los puntos inestables del catálogo e inventario de deslizamientos descritos en el numeral 6.9.

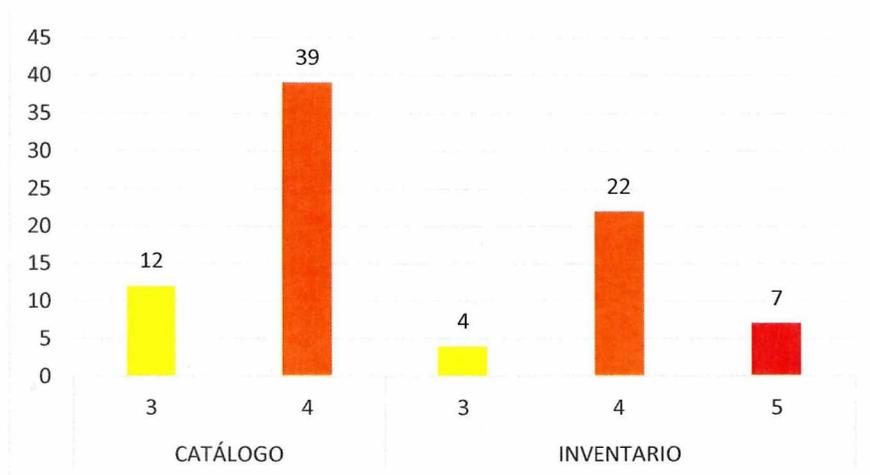
Estos puntos, que corresponden a las zonas inestables, se compararon con el resultado de la amenaza (sitios o zonas potencialmente inestables; es decir, para eventos aún no ocurridos) con el fin de encontrar los porcentajes de coincidencia y definir si se acepta el resultado de la zonificación de amenaza por movimientos en masa.

Según el mapa de la figura 137 se observa que en la zona central de Vélez, entre las veredas Salandas, Cuba, Gualilo y Alto Jordán, se inventariaron siete movimientos en masa que coinciden en zonas categorizadas con amenaza muy alta, muchos de ellos asociados a los cortes viales y laderas adyacentes a la carretera Nacional Vélez-Landázuri, mientras que veintidós movimientos en masa del inventario se ubican dentro de zonas con amenaza alta, una decena de ellos distribuidos entre Paloblanco y Vélez (dominando en la vereda Monte Oscuro), así como cuatro en la salida hacia Barbosa (vereda Aco Peña Blanca), tal cual señala la figura 136.

Por su parte se observa una gran coincidencia dentro de las zonas con amenaza alta con treinta y nueve sitios inestables, según el catálogo comunitario.

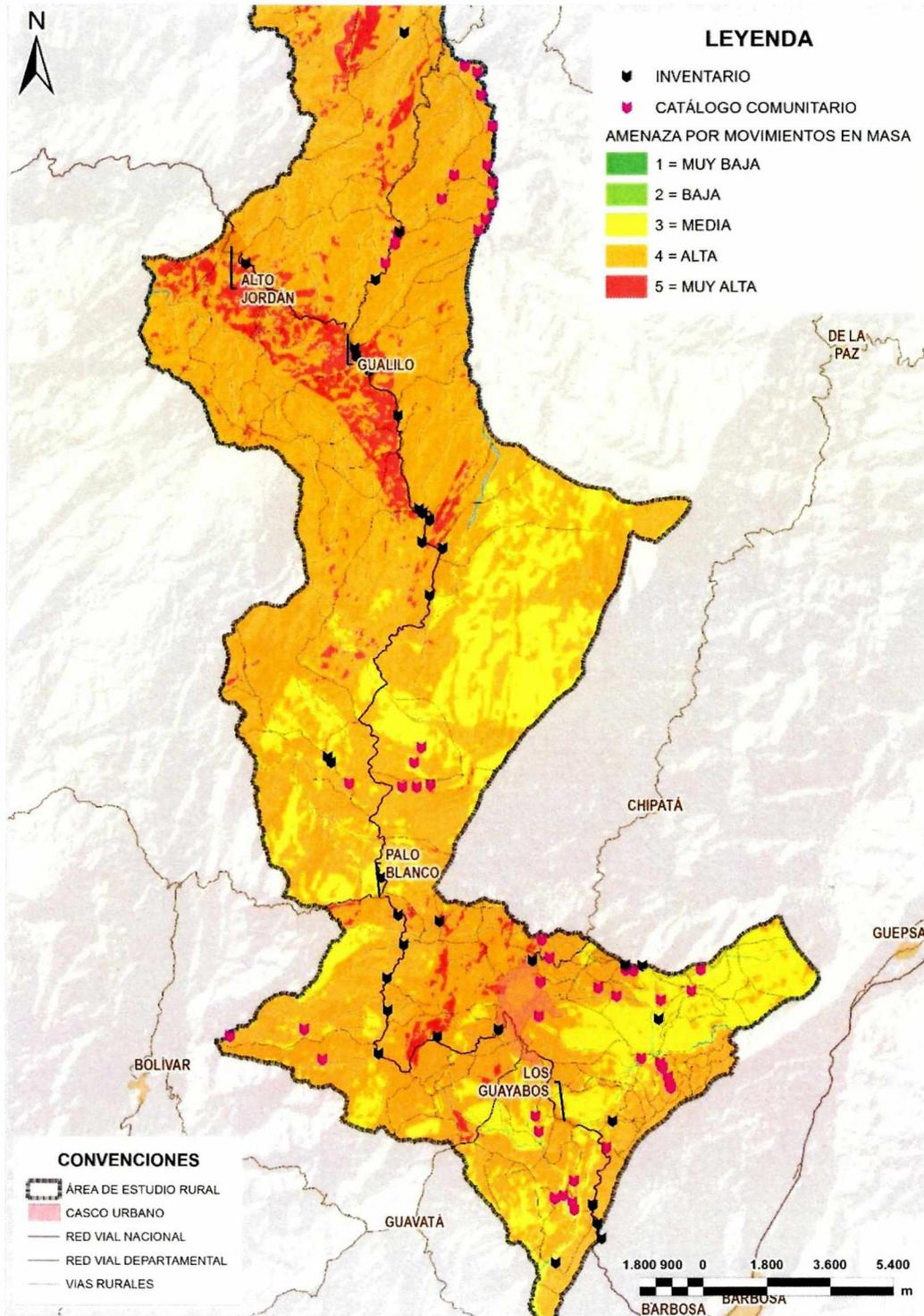
Esto permite corroborar que el modelo espacial (o zonificación) de la amenaza rural por movimientos en masa es acertado, pues señala zonas muy altas y altas en donde en realidad si ocurren inestabilidades, conforme al inventario y el catalogo comunitario.

**Figura 136.** Distribución de movimientos en masa inventariados y catalogados por zona de amenaza.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 137.** Calibración del mapa de amenaza para el área rural del municipio de Vélez.



Fuente: Elaboración propia

## 11. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se establece que el 80% del territorio municipal se encuentra en un grado de Amenaza Alta, 12% bajo Amenaza Media y un 8% del territorio en Amenaza Muy Alta.

Por otra parte, el 81% de los movimientos en masa ocurridos dentro del territorio que han sido catalogados e inventariados, caen dentro de las zonas establecidas como de Amenaza Alta y Muy Alta, lo que sugiere una buena aproximación con la situación observada en el área de estudio.

Es importante mencionar que dentro de las zonas calificadas de amenaza alta y muy alta, se encuentran ubicados los centros poblados de Gualilo y Alto Jordán, además de varios caseríos ubicados a lo largo de la vía nacional y dispersos en la porción centro-septentrional del territorio municipal, por lo cual se considera que deben establecerse canales de comunicación permanentes entre la cabecera municipal y los presidentes de Juntas de Acción Comunal, con el fin de obtener información que permita emitir alertas tempranas para aplicación de las medidas que sean necesarias.

Así mismo, la vía Vélez – Landázuri hace su recorrido casi en su totalidad sobre terrenos que se encuentran en zona de amenaza alta, destacándose especialmente el sector de amenaza muy alta, comprendido entre la vereda Salandas y el centro poblado de Alto Jordán, donde se inventariaron varios movimientos.

De acuerdo a lo anterior, las zonas catalogadas como de amenaza alta y muy alta, y especialmente las que se ubiquen en proximidad de infraestructuras, centros poblados o viviendas, deben ser objeto de monitoreo permanente y de estudios detallados, con el fin de prevenir la ocurrencia de movimientos y su consecuente afectación.

En estas áreas deberá evitarse, en lo posible, la construcción de nueva infraestructura, y se deberá promover el desarrollo de actividades productivas compatibles con las características del entorno, como la reforestación, entendida como el establecimiento de plantaciones forestales para su aprovechamiento sostenible, prácticas de agroforestería y la conformación de áreas de protección ambiental.

## 12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Acosta, E. (2002). Structural tectonics and 3D modelling of the Western Cordillera Foothills and Middle Magdalena Valley, Colombia. Thesis Ph.D. College of Science, Technology and Medicine, University of London.
- Altimir, J.; Copons, R. et al. (2001). Zonificació del territori segons el grau de perillositat d'esllavissades al Principat d'Andorra. En *1es Jornades del Centre de Recerca en Ciències de la Terra (CRECIT) - La gestió dels riscos naturals* (págs. 119-131). Andorra la Vell.
- Alvarez, M., & Bueno, E. (1994). Evaluación geotecnia y mapa de aptitud para el uso urbano del municipio de Vélez, Santander. Tesis de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Can, T.; Nefeslioglu, H. et al. (2005). Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, V. 72.
- Carrara, A.; Cardnali, M.; Guzetti, F.; & Reinchenbach, P. (1995). GIS technology in mapping landslide hazard. Netherlands.
- Corominas, J.; Copons, R. et al. (2003). Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the Principality of Andorra. *Natural Hazards* 30.
- Cruden, D. & Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. En K. Turner, & R. Schuster, *Landslides investigation and mitigation. National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247* (págs. 36-75). Washington D. C.
- Cruz, E. &. (2007). Laboratorio de sedimentología. Universidad Industrial de Santander.
- Cuanalo, O. & Oliva, A. (2012). Inestabilidad de laderas. Análisis geotécnico y evaluación de riesgos. Editorial Académica Española. Saarbrücken.
- Deere & Patton. (1971). Slope stability in residual soil. En *Conferencia Panamericana de mecánica de suelos e ingeniería de fundaciones. Vol. 1* (págs. 93-175). San Juan de Puerto Rico.
- Eisbacher, G., & Clague, J. (1984). Destructive mass movements in high mountains: hazard and management. En *Geological Survey of Canada. Paper 84-16* (pág. 35). Quebec.
- FAO. (2006). Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Evapotranspiración del cultivo. En *Estudios FAO Riego y Drenaje* (pág. 323). FAO.
- FAO, AECID, CENTA, MAG. (s.f.). Nota Técnica 1. La Microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales. En *Apoyo a la rehabilitación productiva y el*

*manejo sostenible de microcuencas en municipios de Ahuachapán a consecuencia de la tormenta Stan y la erupción del volcán Llamatepec.*

- Fernández- Coppel, I. & Herrero Llorente, E. (s.f.). El satélite LANDSAT, análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite LANDSAT. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Universidad de Valladolid.
- Flageollet, J. C. (1999). Landslide hazard – a conceptual approach in risk viewpoint. En R. Casale, & C. Magottini, *Floods and landslides, integrate risk assessment*. Berlín: Spring-Verlag.
- García L., M. (1986). Clasificación de movimientos de falla de taludes. En *Manual de Deslizamientos* (pág. 30). Bogotá.
- García, R. y. (2005). Debris flow of December 1999 en Venezuela. En M. Jakob, & O. Hungr, *Debris flow hazard and related phenomena* (págs. 519–538). Chichester, England: Springer-Praxis.
- Glade, T y Crozier, M. J. (2005). A review of scale dependency in Landslide hazard and risk analysis. En T. e. Glade, *Landslide hazard and risk* (págs. 75–139). Chichester, England: John Willey & Sons.
- Gómez, J., & Nivia, A. e. (2007). Geological map of Colombia. Scale 1:1.000.000. INGEOMINAS. Santafé de Bogotá.
- Gonzales de Vallejo, Ferrer; Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica. Madrid: Pearson.
- Guardado L., R. y Carrión M., P. (2008). Gestión de riesgos por deslizamientos. En *Jornadas Iberoamericanas sobre gestión de riesgos por deslizamientos - 2007*. Cartagena de Indias, Colombia: GEDES .
- Guinau, M., Pallàs, R.; Vilaplana, J. M. (2005). A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch. En *Engineering Geology 80* (págs. 316–327).
- Guinau, M.; Vilajosana, I. y Vilaplana, J. M. (2007). GIS-based debris flow source and runout susceptibility assessment from DEM data – a case study in NW Nicaragua. En *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 7* (págs. 703–716).
- Hansen, M. J. (1984). Strategies for classification of landslides. En D. B. Prior, *Slope instability*. Chichester, England: John Wiley & Son.
- Hauser Y., A. (1993). Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería – Chile, Boletín No. 45. Santiago de Chile.
- Hermelin, M. (1996). Medio ambiente y plan de desarrollo Municipal. Medellín.
- Hernández Camacho, J. (s.f.). *Síntesis de los biomas de Colombia*. Obtenido de [Bibliotecavirtual.minambiente.gov.co](http://Bibliotecavirtual.minambiente.gov.co)

- Hincapié, G. & Veloza, J. (2009). Informe hidrogeológico mesa de Barichara – Curití, Provincia Guanentá (Santander). Bogotá.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Leyenda Nacional de Cobertura de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover adoptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá, D.C.: IDEAM .
- IDEAM. (2008). Guía Técnico Científica para la Ordenación de las cuencas hidrográficas en Colombia. Segunda versión.
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Cobertura de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover adoptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá, D.C.
- IDEAM, consultores FAO. (2002). Estado actual de la información sobre recursos forestales y cambio en el uso de la tierra. En *Estado de la Información Forestal en Colombia* (págs. 191-228). Santiago de Chile: FAO.
- INGEOMINAS. (1984). Geología de la Plancha 170 Vélez, escala 1:100.000. Por C. Ulloa y E. Rodríguez. Bogotá.
- INGEOMINAS. (1997). Mapa geológico generalizado del Departamento de Santander. Escala 1:400.000.
- INGEOMINAS. (1997). Mapa geológico generalizado del Departamento de Santander. Escala 1:400.000.
- INGEOMINAS. (2001). Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. Guía metodológica. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2001). Evaluación del riesgo por movimientos en masa: Guía metodológica. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- INGEOMINAS. (2007). Atlas Geológico de Colombia, Plancha 5-09, escala 1:500.000. Servicio Geológico. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2008). Formulación de una guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo de la cuenca de la quebrada la Negra en el municipio de Utica, Cundinamarca. Tomos I, II y III. Bogotá: Servicio Geológico.
- INIGEMM – Instituto Nacional de investigación geológico minero metalúrgico. (2013). Memoria descriptiva del mapa de zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa, zona Zaruma-Paccha, escala 1:50 000. Fase I. República del Ecuador.
- Iqbal M.F., Khan I.A. (2014). Spatiotemporal Land Use Land Cover change analysis and erosion risk mapping of Azad Jammu and Kashmir. En *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* (págs. 209-229). Pakistan.
- Kim D., Im S., Lee C., Woo C. (2013). Modeling de contribution of tres to shallow landslide development in a steep, forested watersheed. En *Ecological Engineering* (págs. 658-668).

- Lan, H. X., Martin, C. D., Froese; C. R., Kim; T. H., Morgan et al. (2009). A web-based GIS for managing and assessing landslide data for the town of Peace River, Canada. En *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9 (págs. 1433–1443).
- Lizarralde, J. A. (1995). Estabilidad de taludes y laderas en carreteras. Santafé de Bogotá: Subdirección de Conservación, Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: MAVDT. (2010). Metodología general para la presentación de estudios ambientales. Textos elaborados por: González H., C. V. et al. Bogotá D.C.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte - Sociedad Colombiana de Geotecnia: MOPT-SCG. (s.f.). Guía técnica para el inventario de taludes y laderas inestables de la red vial nacional. Comisión de deslizamientos. Bogotá.
- Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías: MT-INVIAS. (1998). En *Manual de estabilidad de taludes. Geotecnia vial* (pág. 333). Bogotá.
- Mojica, J. & Franco, R. (1990). Estructura y evolución tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana* 17. Bogotá.
- Montero, O., J. (1991). Procesos y causas de inestabilidad de taludes y laderas. En *Seminario sobre inestabilidad de taludes y laderas, MOPT, SCG/CCD*. Bogotá.
- Mora C., S., & Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. En *Association of Engineering Geologists Bulletin, Vol. XXXI, No. 1* (págs. 49-58).
- Mora, S. & Vahrson, W. (1991). Determinación a priori de la amenaza de deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando indicadores morfodinámicos. En *Memoria sobre el Primer Simposio* (págs. 259-273). Bogotá.
- Morales, C. (2010). Geología de la región central del departamento de Santander. Resultados de la exploración de aguas subterráneas. Ponencia con diapositivas. Bucaramanga.
- Porras, I. & Vianan, F. (2013). Cartografía geológica, geomorfológica y geotécnica preliminar a escala 1:5000 del casco urbano del municipio de Vélez y su área rural perimetral. Tesis de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- PREDECAN. (2009). Guía técnica para la interpretación y aplicación de análisis de amenazas y riesgo para propósitos de planificación y gestión territorial. Resultado 3: planificación y desarrollo. Financiado por la Comisión Europea y la Comunidad Andina. Bogotá.
- Preti, F. (2013). Forest protection and protection forest: Tree root degradation over hydrological shallow landslides triggering. En *Ecological Engineering* (págs. 633-645).
- Pulido G., O. (1985). Geología de la plancha 135 San Gil. Escala 1:100.000. Bogotá: Ingeominas.

- Reyes M., G. A. (2011). Atención técnica, inventario y gestión del riesgo por procesos morfoodinámicos en áreas rurales estratégicas de los andes del norte: El caso de la cuenca hidrográfica del río las Ceibas, Huila (Colombia). En *Memoria máster en geología, especialidad riesgos geológicos* (pág. 230). Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Reyes M., G. A. (2012). Evaluación multitemporal y gestión del riesgo por deslizamientos: el caso del río las Ceibas (Neiva - Colombia). En *IV Simposio Panamericano de Deslizamientos IVSPD. Paipa, 31 de octubre al 2 de noviembre de 2012* (págs. 10-14).
- Reyes, G. & Álvarez, M. (2007). Bucaramanga. En M. Hermelin, *Entorno Natural de 17 Ciudades de Colombia*. Sociedad Colombiana de Geología – Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – Fondo Editorial EAFIT.
- Reyes, G. (2012). Geología, amenazas y riesgos de Utica. Documentos de diagnóstico del EOT de Utica; dimensión biofísica del suelo rural y urbano. Bogotá: Cideter Ltda., Municipio de Utica – Gobernación de Cundinamarca.
- Reyes, G. (2013). Informes y cartografía de las vías Galán–puente Punteadero–Berlín, Páramo–vereda Hoya de San José–Socorro y La Cantera (Charalá)–Encino. En *Estudios geológicos, geomorfológicos y zonificación geológico-geotécnica para el mantenimiento y pavimentación de 54 km de vías terciarias de Santander*. Bucaramanga.
- Reyes-Mendoza, G. A. (1998). Updating the DTM-based model for shallow landslide hazard assessment to account for talus deposits. Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Laboratorio IDEA (Idrologia, Difesa del Suolo, Ecologia e Ambiente). Legnaro, Padova (Italia).
- Reyes-Mendoza, G. A. (2001). El manejo de las emergencias por fenómenos de remoción en masa en áreas rurales: aciertos y desaciertos en el caso Saladoblanco, Huila (Colombia). En *III Simposio Panamericano de Deslizamientos. Cartagena de Indias, julio de 2001* (pág. 230).
- Royero, J. & Clavijo, J. (2001). Mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1:400.000. Memoria explicativa. Bucaramanga: Ingeominas.
- Saaty, T. L. (1990). Multicriteria decision making – the analytic hierarchy process. AHP Series, Vol. I. New York: McGrawHill.
- Selby, M. J. (1993). Hillslope materials and processes. Second edition. Oxford University Press.
- SERRADA, R. (2008). Apuntes de silvicultura. Madrid: Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal.

- Servicio Geológico Colombiano. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Versión No.2. Bogotá.
- Servicio Geológico Colombiano. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Versión No.2. Bogotá D.C.
- Servicio Geológico Nacional e Inventario Minero Nacional. (s.f.). Geología del Cuadrángulo I -11 Cimitarra. Escala 1:200.000.
- Servicio Geológico Nacional e Inventario Minero Nacional. (s.f.). Geología del Cuadrángulo I -11 Cimitarra. Escala 1:200.000.
- SNGM, S. N. (2007). Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas. En *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, preparado como una iniciativa interinstitucional, a través del Grupo de Estándares para Movimientos en Masa (GEMMA)*. (pág. 404). Canadá: Publicación geológica multinacional No.4.
- Soeters, R., y VanWesten, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. En K. y. Turner, *Landslides investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report* (págs. 129-177). Washington D.C.: National Academy Press.
- Suárez D., J. (1992). Estabilidad de taludes en zonas tropicales. Segunda edición. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Suárez D., J. (1994). Mecanismos de activación de deslizamientos en ambientes tropicales. En *Memorias V congreso colombiano de geotecnia y medio ambiente* (págs. 1-34). Medellín.
- Toboaada, A.; Rivera, L. A. et al. (2000). Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). En *Tectonics*, v. 19, No. 5 (págs. 787-813).
- TRAGSA, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. (1998). Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. En *Ingeniería Medio Ambiental. Unidad Temática 1: El bosque en la restauración de cuencas torrenciales* (págs. 11-40). Madrid: Ediciones Mundiprensa.
- Turner, A. K. (2010). Landslides. Investigation and mitigation. Special Report 247. Washington: Transportation Research Board, National Research Council.
- United States Geological Survey - USGS. (Febrero de 2015). *Frequently Asked Questions about the Landsat Missions. What are the band designations for the Landsat satellites?* Obtenido de Landsat: <http://landsat.usgs.gov>
- Universidad Industrial de Santander, División de Asesorías y Servicios Especializados. (2002). Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Vélez.

- Van Zuidam, R. (1985). Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. The Hague: Smits Publishers.
- Vargas C., G. (1999). Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa. Cooperación Colombo-Alemana. Proyecto Río Guatiquía. Villavicencio.
- Vargas, C.A.; Pujades, L. et al. (2002). Estado de deformación y esfuerzos en el territorio Colombiano. En *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Vol. XXVI (100) (págs. 373-391).
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In . En L. L. Schuster, *Landslides, analysis and control. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report, No. 176* (págs. 11-33). Washington D.C.