

## **CONTRATO 292 CORPOCALDAS – GEOSUB S.A.S**

**IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR LA AMENAZA,  
VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA LA CABECERA MUNICIPAL Y  
LAS ÁREAS DE DESARROLLO RURAL RESTRINGIDO**

### **16. MUNICIPIO DE MARULANDA**

**Manizales, 2013-2014**

## CONTENIDO

<b>16. MUNICIPIO MARULANDA</b> .....	3
<b>16.1. Remoción en Masa</b> .....	3
16.1.1. Localización y Drenaje Superficial .....	3
16.1.2. Uso y Cobertura.....	3
16.1.3. Geología.....	4
16.1.4. Pendiente.....	4
16.1.5. Curvatura .....	5
16.1.6. Aspecto .....	5
16.1.7. Relieve Interno .....	6
16.1.8. Índice de Humedad .....	6
16.1.9. Puntos Críticos .....	6
16.1.10. Mapa de Susceptibilidad por Remoción en Masa.....	7
16.1.11. Mapa de Persistencia de los Procesos erosivos .....	10
16.1.12. Mapa Factor detonante por umbral lluvia.....	10
16.1.13. Mapa de Amenaza por remoción en masa.....	11
<b>16.2. Vulnerabilidad para el Municipio de Marulanda</b> .....	12
<b>16.3. Riesgo</b> .....	14
16.3.1. Riesgo por Remoción en Masa.....	14
<b>16.4. Centros Poblados de Desarrollo Restringido en el Municipio de Marulanda</b> .....	14
16.4.1. Corregimiento de Montebonito.....	15
<b>Mapa de Persistencia de los Procesos erosivos</b> .....	22
16.4.1. Mapa de Amenaza por remoción en masa.....	23

## **16. MUNICIPIO MARULANDA**

En el municipio de Marulanda se tomaron imágenes LIDAR y ortofotos de la cabecera municipal, las cuales sirvieron de base para el análisis geomorfológico de los diferentes factores intrínsecos para la definición de la amenaza y riesgo por remoción en masa y como marco muy detallado para el análisis de la amenaza y riesgo por inundación que afecta a esta cabecera municipal en su sector suroriental. En este informe también se presenta la información relacionada con el corregimiento de Montebonito, único centro poblado de este municipio revisado en este proyecto.

### **16.1. Remoción en Masa**

#### **16.1.1. Localización y Drenaje Superficial**

El municipio de Marulanda se localiza en la parte norte centro del departamento de Caldas, en el Anexo 1, Mapa 16.1, se muestra la ortofoto tomado para la cabecera municipal durante este proyecto.

En el Mapa 16.1 del Anexo 1 se muestra el perímetro urbano de esta cabecera municipal, los drenajes superficiales se localizan al occidente, norte y oriente en las zonas periféricas. Las zonas topográficas más elevadas se localizan al occidente y nortede la cabecera municipal, en el talud norte de la vía de la salida a San Félix, en el camino a la planta de tratamiento de Empocaldas y en los alrededores de la Escuela General Cosme Marulanda, y un pequeño sector en la parte central sur-oriental donde está ubicada actualmente la Iglesia de Nuestra Señora de las Mercedes con un pequeño parque aledaño. El relieve en los alrededores de estas zonas pendientes, que constituyen el resto de la cabecera es en general, ondulado suave.

#### **16.1.2. Uso y Cobertura**

En el Anexo 1, Mapa 16.2 se muestra el uso y cobertura para el casco urbano del municipio de Marulanda, el cual fue elaborado con base en los atributos de la imagen LIDAR, la ortofoto del casco urbano y con corroboración directamente en campo. La zona del perímetro urbano en este mapa de uso y cobertura se amplió en el nor-oriental hasta la carretera de acceso a Marulanda con el fin de incluir todas las zonas con algún tipo de construcción, para contrastar la variación de los perímetros comparar Mapas 16.1 (perímetro oficial) y Mapa 16.2 (perímetro ampliado) del Anexo 1. Sin embargo, en todos los mapas del Anexo 1 se deja el perímetro oficial como referencia.

El perímetro urbano muestra una forma alargada en dirección NW-SE y la mayor consolidación de esta cabecera municipal es principalmente hacia el oriente del perímetro urbano, donde el urbano 2 (construcción en las manzanas entre un 20 y 80%) con un 50% domina sobre el urbano 1 (construcción en las manzanas mayor de un 80%) que tiene un 30% y el urbano 3 (construcciones en las manzanas menores a un 20%) con un 20%. El resto del perímetro está dedicado a pastos, y bosques y en una pequeña proporción a cultivos limpios y semi-limpios.

### **16.1.3. Geología**

En la cabecera municipal del municipio de Marulanda se presenta en la toda la extensión de su perímetro urbano un recubrimiento de una secuencia de depósitos de flujos piroclásticos (Qto), que suprayacen el basamento metamórfico definido por una intercalación de meta-areniscas, meta-limolitas, pizarras y en menor proporción cuarcitas, correlacionables con el Complejo Cajamarca (Pz), ver Anexo 1, Mapa 16.3. Por el espesor de la cubierta piroclástica, el nivel de meteorización del basamento observado principalmente en el casco urbano de Marulanda, corresponde al Nivel I, que es la parte más alta y alterada del perfil de meteorización y se observó en el sur y nor-oriente de la cabecera municipal en pequeños afloramientos.

Los depósitos de flujos piroclásticos que se extienden sobre toda la cabecera municipal de Marulanda están constituidos principalmente hasta por tres capas con un espesor total de hasta 3,2 mincluyendo un horizonte húmico bien desarrollado con un espesor de hasta 1,1 m. El nivel superior de color café con tamaño de grano arena media a gruesa con abundantes fragmentos de pómez dacítica con tamaño lapilli y alcanza un espesor de hasta 1,2 m; luego sigue un depósito piroclástico intermedio de color gris con geometría lenticular, que no siempre fue observado en los cortes estudiados. Luego un depósito de flujo piroclástico de color amarillo de hasta 1 m de espesor, el cual es el horizonte guía de estos depósitos en el oriente de Caldas. Los niveles superior e intermedio están compuestos principalmente de cantidades variables de cristales, líticos y vidrio. El nivel inferior presenta un mayor grado de alteración y el tamaño de grano es limo-arcilla con esporádicos fragmentos pumáceos finos también alterados.

### **16.1.4. Pendiente**

En la realización del mapa de pendientes se usó como base el modelo digital de elevación de terreno obtenido a partir de la imagen LIDAR, se reclasificaron los

rangos de pendientes en los siguientes rangos: 0°-15°, 15°-30°, 30°-45°, 45°-60° y 60°-85°.

En el Anexo 1, Mapa 16.4, se observan las pendientes bajas, entre 0° a 30° en el centro del casco urbano y en los sectores oriental y sur de la periferia de esta cabecera municipal; en la periferia occidental y norte del perímetro urbano se muestra el cambio drástico a pendientes más altas que llegan a valores entre 60° y 85°. En el centro en un pequeño sector del sur-oriente se muestran líneas de pendientes muy altas que definen los taludes del remanente del alto topográfico en los alrededores de la Iglesia Nuestra Señora de las Mercedes.

#### **16.1.5. Curvatura**

En la realización del mapa de curvatura se usó como base el modelo digital de elevación de terreno obtenido a partir de la imagen LIDAR, ver Anexo 1, Mapa 16.5. En este mapa se diferencian claramente los sectores que han sido intervenidos en el proceso de urbanización y consolidación de la cabecera municipal, y se observan con gran detalle los taludes internos alrededor de la iglesia central, las modificaciones del terreno entre la carretera de acceso a Marulanda y el sector oriental del perímetro urbano, y como fueron intervenidos y cortados los drenajes occidentales en el límite urbano-rural de esta cabecera.

En cuanto a los valores de curvatura, el mapa muestra una distribución de valores bajos que muestran las zonas planas, las cuales están delimitadas por valores intermedios principalmente cóncavos dentro del perímetro urbano sobre todo en la parte central del casco urbano de Marulanda, la mayor concavidad combinada con valores medianos se presentan en las periferias occidental y norte del perímetro urbano. En los sectores oriental y sur en la periferia del casco urbano se muestran zonas con dominio de valores medios de convexidad.

#### **16.1.6. Aspecto**

En este mapa realizado a partir del modelo digital de elevación de terreno obtenido a partir de la imagen LIDAR, se muestra el Aspecto, orientación de las pendientes en la cabecera municipal, ver Anexo 1, Mapa 16.6.

En la parte central se muestra claramente la delimitación del parteaguas original donde se localizó esta cabecera municipal que coincide con la localización de la plaza central, hacia el centro oriente la orientación de las pendientes es hacia el Norte y Noreste y algunas hacia el Noroeste, y en el centro occidente la orientación cambia hacia el Sur y Suroeste. En el Norte y Noroccidente las pendientes se orientan hacia el Noroeste y Oeste. En el Sur hasta el límite del

perímetro urbano la orientación es hacia el Sur, Suroeste y Oeste, y en la periferia dominan las pendientes orientadas hacia el Sureste y Este. En la periferia occidental las pendientes se orientan hacia el Oeste, Suroeste y Sur mostrando un control geomorfológico del basamento metamórfico en la orientación de los taludes.

#### **16.1.7. Relieve Interno**

En el mapa de relieve interno, ver Anexo 1, Mapa 16.7, observamos que se delimita muy bien el área de mayor consolidación dentro del perímetro de la cabecera municipal por los valores bajos de relieve interno, y donde se aumentan los valores a intermedios y altos corresponden a las zonas con relieve en toda la periferia del casco urbano. Al igual que en los mapas de pendientes (Anexo 1, Mapa 16.4) y de Curvatura (Anexo 1, Mapa 16.5) se resaltan en la parte central zonas con relieve modificado donde aún algunos taludes con valores altos de relieve se conservan.

#### **16.1.8. Índice de Humedad**

En este mapa se muestra el resultado de la aplicación de la fórmula del índice de humedad:

$$W = \ln(A_s / \tan \beta)$$

Donde  $W$  corresponde a índice de humedad, mientras  $A_s$  es el área aferente, y  $\beta$  es la pendiente calculada (ver Anexo 1, Mapa 16.8.). Las zonas de saturación muy alta y muy alta se localizan preferencialmente en el centro del casco urbano y en el sur donde se localiza la cancha de fútbol, indicando áreas con mayor intervención antrópica. Las zonas con saturación media y baja se localizan sobre todo en la periferia de toda la cabecera debido al relieve montañoso dominante en todas direcciones, ver Mapa de Aspecto (Anexo 1, Mapa 16.6).

#### **16.1.9. Puntos Críticos**

Los puntos críticos presentes dentro de la cabecera municipal del Municipio de Marulanda, ver Anexo 2\_Marulanda, hacen referencia principalmente a sitios críticos máximos y medios por remoción en masa, los cuales fueron identificados directamente en campo y confrontados con lo mostrado en la ortofoto y la imagen LIDAR.

Los puntos más críticos por remoción en masa, ver Anexo 1, Mapa 16.9, se localizan en el Norte y Nororiente, la mayoría de ellos localizados sobre la periferia o en el límite del perímetro urbano y muy pequeñas áreas son afectadas dentro del perímetro urbano, corresponden a eventos de pequeñas dimensiones en áreas y volúmenes.

Puntos con criticidad media por remoción en masa se localizan sobretudo en la periferia oriental, sur y sur-occidental de la cabecera municipal y muy pequeñas áreas dentro del casco urbano, a pesar que la mayoría de ellos no presentan obras de tratamiento la persistencia de la actividad de los eventos es media.

#### **16.1.10. Mapa de Susceptibilidad por Remoción en Masa**

Para elaborar el mapa de susceptibilidad por remoción en masa en la cabecera municipal del municipio de Marulanda se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros intrínsecos:

- Uso y Cobertura
- Geología
- Pendiente
- Curvatura
- Relieve Interno
- Índice de Humedad

Para establecer la valoración de estos parámetros se usó una matriz AHP como se muestra en la Figura 1.1.

El ranking de los factores lo determinó se determinó usando el macro de Excel para el cálculo de la proporción de consistencia (CR) definido por Goepel (2013), ver Figura 1.2.

Matriz		Uso y Cobertura	Geología	Pendiente	Curvatura	Relieve Interno	Índice de humedad	Vector Eigen Principal Normalizado
		1	2	3	4	5	6	
Uso y Cobertura	1	0	1/4	2/9	2 2/7	1 3/5	1 3/5	12,45%
Geología	2	4	0	1 2/9	2 2/7	2 5/8	1 4/9	27,48%
Pendiente	3	4 4/7	5/6	0	4 1/6	2 2/7	2 2/7	30,55%
Curvatura	4	3/7	3/7	1/4	0	1 4/9	1	9,19%
Relieve Interno	5	5/8	3/8	3/7	2/3	0	1 4/9	9,87%
Índice de humedad	6	5/8	2/3	3/7	1	2/3	0	10,46%

**Figura 1.1.** Matriz AHP de pesos para los factores tenidos en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa en la cabecera municipal de Marulanda.

Criterio	Comentario	Pesos	Rk
1	Uso y Cobertura	12,5%	3
2	Geología	27,5%	2
3	Pendiente	30,5%	1
4	Curvatura	9,2%	6
5	Relieve Interno	9,9%	5
6	Índice de humedad	10,5%	4

<b>Eigenvalue</b>	lambda :	<b>6,382</b>
<b>Proporción de Consistencia (CR)</b>	0,37 GCI:	<b>0,22</b>
	CR:	<b>6,1%</b>

**Figura 1.2.** Matriz AHP de pesos, rankings e índices de consistencia en el resumen de los factores tenidos en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa en la cabecera municipal de Marulanda.

El Mapa de susceptibilidad por remoción en masa para la cabecera municipal del municipio de Marulanda se hizo directamente en el ArcGIS con los factores y la ponderación mostrada en cada clase mostrada en la tabla 1.1. El ranking de los factores fue tomado de los resultados de la matriz AHP de la Figura 1.2 y luego clasificados de 1 a 9 teniendo en cuenta los pesos obtenidos.



**Tabla 1.1.** Valoración de factores y clases para la elaboración del mapa de susceptibilidad, en color rojo el peso del mapa y en color negro el peso de cada clase.

Pendiente	9	Geología	7
0°-15°	1	Qto/Pz	5
15°-30°	3		
30°-45°	5		
45°-60°	7		
60°-85°	9	Curvatura radianes/100 m	2
		Cóncavo Valores Máximos	3
Uso Cobertura	4	Cóncavo Valores Intermedios	3
Urbano 1	3	Plano	5
Urbano 2	5	Convexo Valores Intermedios	7
Urbano 3	8	Convexo Valores Máximos	9
Vía Destapada	5		
Vía Pavimentada	3	Relieve Interno (m/12,5 m <sup>2</sup> )	5
Bosque	1	Clase 1: 0- 1,51	3
Pastos	5	Clase 2: 1,51- 2,84	3
Rastrojo	3	Clase 3: 2,84 – 4,36	7
Cultivo Limpio	1	Clase 4: 4,36 – 7,47	7
Cultivo semi-limpio	1	Clase 5: 7,47- 22,68	7
Deportivo	1		
Parque	1	Índice de Humedad	4
Escalas	3	Zona saturación muy baja	6
		Zona de saturación baja	4
		Zona de saturación intermedia	3
		Zona de saturación alta	2
		Zona de saturación muy alta	1

En el Anexo 1, Mapa 16.10 se muestra el mapa de susceptibilidad por remoción en masa para la cabecera municipal del municipio de Marulanda, el mapa de susceptibilidad se reclasificó manualmente observando los cambios drásticos en el histograma generado en el SIG, las zonas con susceptibilidad alta se localizan en los sectores periféricos de la cabecera municipal especialmente en el occidente, norte y sur-oriente; Las zonas con susceptibilidad media se localizan sobre todo en el occidente mezclado con zonas de susceptibilidad alta, y en sectores nor-

orientales y sur-orientales y muy pequeños sectores en el centro del perímetro urbano.

### 16.1.11. Mapa de Persistencia de los Procesos erosivos

En el Anexo 1, Mapa 16.11 se muestra la localización de las principales áreas afectadas por procesos erosivos en la cabecera municipal del municipio de Marulanda, y que fueron clasificados de acuerdo con su persistencia, ver valoración en el apartado de introducción y metodología del informe de avance No. 3. En el Mapa se muestran que los principales eventos de deslizamientos que aún son observables en las imágenes LIDAR, y se localizan principalmente en la periferia occidental del perímetro urbano y en el sur por fuera del límite del perímetro urbano, los más abundantes fueron clasificados como E4, evento activo con moderado avance, y en menor proporción procesos E5, evento activo con fuerte avance que están localizados en el nor-oriental y nor-occidente. Dentro de la cabecera municipal se localizan solo dos eventos principalmente del tipo E2, eventos antiguos en el sector nor-oriental de la cabecera municipal.

### 16.1.12. Mapa Factor detonante por umbral lluvia

En el Anexo 1, Mapa 16.12 se muestra el mapa de factor detonante por umbral lluvia, el cual se construyó reclasificando los factores y asignándolos nuevos pesos de acuerdo con la susceptibilidad de cada factor con respecto a los umbrales de lluvias, estos factores y pesos se muestran en la tabla 1.2. El mapa muestra mayor incidencia por el disparador de umbral de lluvias en el sector oriental de la cabecera urbana en la parte central de la cabecera municipal, por el mayor espesor de los depósitos de flujos piroclásticos. En el sector oriental entre el perímetro urbano y la carretera de acceso están mezcladas las incidencias altas y medias; la incidencia media y baja en el sector occidental del perímetro urbano coincide con el área de menor consolidación de construcciones en esta cabecera.

**Tabla 1.2.** Pesos de los factores para los mapas de factores del mapa factor detonante por umbral de lluvias para el casco urbano de Marulanda

		Peso		
	Uso Cobertura	5		
Impermeables		1		Peso
	Urbano 1		Pendientes en grados	5
	Urbano 2		0 - 10	9
	Urbano 3		10 - 25	4

	Parque		> 25	1	
	Deportivo				
	Escaleras		Geología	8	
	Cementerio		Qto/Pz	3	
	Box Culvert				
Permeables	Bosque	6			
	Pasto				
	Cultivo semi-limpio y limpio		LLUVIAS tr-15	6	
	Rastrojo		90 mm	5	
	Vía Destapada				
	Botadero				
	Río				
	Suelo desnudo		8		

### 16.1.13. Mapa de Amenaza por remoción en masa

En el Anexo 1, Mapa 16.13 se muestra el mapa de amenaza por remoción en masa para la cabecera municipal de Marulanda, el cual se obtuvo cruzando los mapas de susceptibilidad (Anexo 1, Mapa 16.10) y el mapa de persistencia de los procesos erosivos (Anexo 1, Mapa 16.11) y el mapa de factor detonante por umbral de lluvias (Anexo 1, Mapa 16.12), el cruce de mapas fue teniendo en cuenta la valoración de pesos propuesta en la Tabla 1.3. En el mapa se observan las zonas con amenazas altas en las periferias occidentales y norte, y un pequeño sector del sur-oriente. Las zonas consolidadas de la cabecera presentan en general amenaza baja y las zonas de amenaza media se muestran en el occidente y norte en sectores de sobrepastoreo donde las zonas se amoldan al desarrollo de este fenómeno en estas laderas. Esta situación está en concordancia con el despoblamiento de esta cabecera municipal donde no hay presión por el suelo urbano, entonces la intervención antrópica en nuevas áreas no se presenta.

**Tabla 1.3.** Pesos de los Mapas que definen el mapa de Amenazas por remoción en masa en la cabecera urbana del municipio de Marulanda

Mapa	Peso
Persistencia	7
Susceptibilidad	4
Factor Lluvias	2

## 16.2. Vulnerabilidad para el Municipio de Marulanda

Para localizar los datos de las encuestas del Sisben de la cabecera municipal se elaboró un mapa de barrios de acuerdo con la nomenclatura manejada del Sisben, este mapa se muestra en el Anexo 1, Mapa 16.14, todos los datos de la encuesta se ubicaron en este mapa.

La evaluación de la vulnerabilidad del municipio de Marulanda se dividió en dos temas, la física y la Socio-económica, de acuerdo con la metodología se establecieron los factores a evaluar en cada tema y luego se reclasificaron sus pesos, y se procesaron los factores sociales y físicos en ILWIS ver 3.0 y como resultado se definieron los mapas de vulnerabilidad social y física, los cuales con un peso de 0,4 y 0,6 respectivamente se sumaron para obtener un mapa final de vulnerabilidad del municipio.

En esta cabecera municipal, todos los datos del SISBEN, de acuerdo al formato usado por el Departamento Nacional de Planeación se ubican en un solo barrio, entonces todos los datos corresponden a una sola categoría de vulnerabilidad. De acuerdo con las estadísticas de las variables usadas para establecer la vulnerabilidad, ver Tabla 1.5, y en comparación con las estadísticas del Sisben de las otras cabeceras en el oriente de Caldas, proponemos una vulnerabilidad alta para toda el área central del perímetro urbano de Marulanda.

En el **mapa de vulnerabilidad del** municipio de Marulanda, ver Anexo 1, Mapa 16.15 se observa que la vulnerabilidad es alta en toda la parte central consolidada de la cabecera municipal, y la parte no consolidada, sin construcciones presenta una vulnerabilidad media rodeando la zona de vulnerabilidad alta de la parte central.

**Tabla 1.5.** Porcentaje de los valores de los factores en las diferentes categorías de Vulnerabilidad en la cabecera municipal de Marulanda

Vulnerabilidad	
Factores	Alta
<b>SALUD</b>	
Pagada	22
Subsidiada	71
Ninguna	7
<b>INGRESOS</b>	

< 1 SMLV	85
1 - 2 SMLV	11
> 2 SMLV	4
<b>TENENCIA</b>	
Arriendo	26
Propia	52
Otra	23
<b>EDUCACIÓN</b>	
Ninguna	21
Primaria	36
Secundaria	32
Superior	11
<b>GRUPOS ETÁREOS</b>	
Niños	24
Adultos	67
Mayores	9
<b>DENS. POBLAC.</b>	
Personas /m <sup>2</sup>	0,006
<b>TIPOLOGÍA</b>	
Mampostería	16
Bahareque	41
Mixto	43
<b>ALTURAS</b>	
VALOR en m	3-6 m

La vulnerabilidad alta se localiza en la parte central de la cabecera municipal, corresponde a sectores donde la salud es mayoritariamente subsidiada, con ingresos bajos en un 85%, la tenencia de vivienda es principalmente casa propia, con educación primaria predominantemente, pero con un 21% sin educación; los grupos etáreos corresponden principalmente al grupo de personas adultas entre 14 y 65 años, el índice de densidad de población es de un valor de 0,006 personas/m<sup>2</sup>, la tipología de vivienda es mayoritariamente mixta y de bahareque y las alturas de las viviendas varían principalmente entre 3 y 6 m.

## **16.3. Riesgo**

### **16.3.1. Riesgo por Remoción en Masa**

Para la evaluación del riesgo por remoción en masa, se evaluó la exposición de los elementos de la infraestructura de la cabecera municipal seleccionando las zonas urbanas categorizadas como Urbano 1, 2 y 3 en el mapa de uso del suelo (ver Anexo 1, Mapa 16.2). Estas áreas se cruzan con el mapa de amenazas por remoción en masa, Anexo 1, Mapa 16.13 y el mapa de vulnerabilidad, Anexo 1, Mapa 16.15 para obtener el mapa de Riesgo que se presenta en el Anexo 1, Mapa 16.16. Las zonas de riesgo alto por remoción en masa se localizan principalmente en las periferias occidental, norte y un pequeña sector de la periferia oriental del perímetro urbano. Las zonas con riesgo muy alto se localizan en tres zonas, una al norte en el camino a la planta de Empocaldas, y dos centrales, una detrás de la Iglesia de Nuestra Señora de las Mercedes y la otra en la periferia oriental de la cabecera municipal.

La cuantificación de la exposición se hizo mediante el conteo y medición de infraestructura afectada a partir de la ortofoto, ver Anexo 5\_Marulanda, en riesgo alto alcanzan se ubican 3 viviendas y en riesgo muy alto, 3 viviendas. El número de viviendas en riesgo alto y muy alto por estar también localizadas en zonas de vulnerabilidad alta, hace a las comunidades menos resilientes al riesgo por remoción en masa.

Una vez se determinó la posibilidad de disminuir bien sea la amenaza o la exposición en estos sectores por medio de obras de mitigación y/o prevención se re-categorizaron dichas zonas como de riesgo Mitigable, ver Anexo 6\_Marulanda donde se describen las obras que se deberán llevar a cabo para mitigar el riesgo en cada uno de los sectores aledaños a las viviendas en riesgo alto y muy alto. En cuanto a la vulnerabilidad socioeconómica se debe tener muy en cuenta para contextualizar los impactos de las áreas en riesgo teniendo en cuenta la sensibilidad y las capacidades adaptativas con base en los factores definidos en el mapa de vulnerabilidad de la cabecera municipal y tomada de la información suministrada por el Sisben.

### **16.4. Centros Poblados de Desarrollo Restringido en el Municipio de Marulanda**

El corregimiento de Montebonito es el único centro poblado de desarrollo restringido del municipio de Marulanda estudiado en este proyecto.

#### 16.4.1. Corregimiento de Montebonito

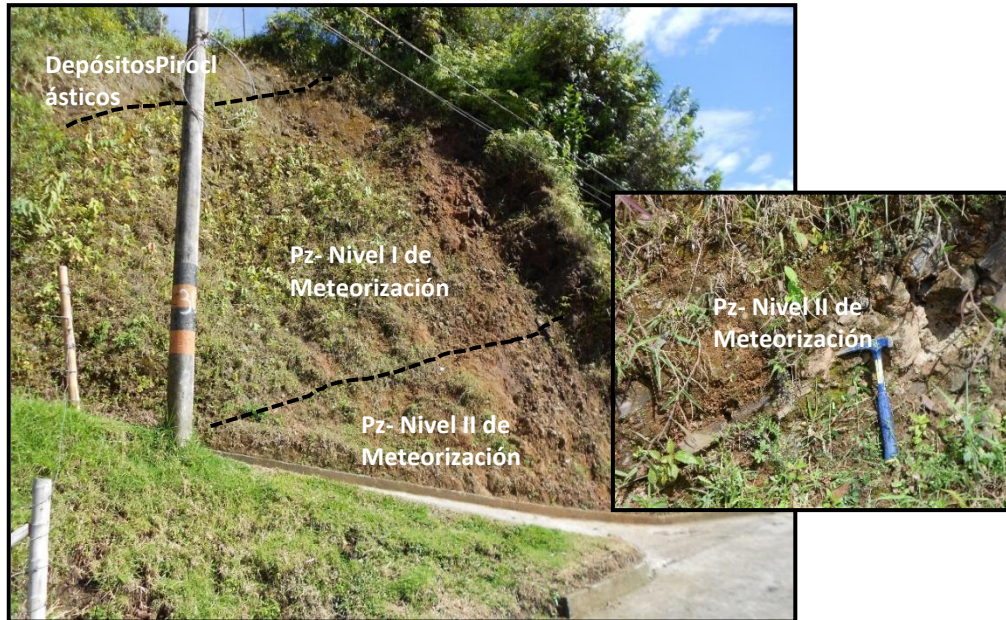
El Corregimiento de Montebonito se localiza en el suroccidente del municipio de Marulanda en la vía que comunica Cerro Bravo con Petaqueros existe un carretable de 9 km que lleva al corregimiento después de cruzar el puente sobre el Río Guarinó, se localiza sobre una cuchilla en la margen derecha del Río Guarinó, como se observa en la Figura 1.3. Ver ortofoto en el Mapa 16.17 del Anexo 1



**Figura 1.3.** Corregimiento de Montebonito. Panorámica en una dirección de la fotografía N290° Fecha de la fotografía: septiembre 30 de 2013. Se observa su localización sobre una cuchilla, donde están localizadas la mayor cantidad de viviendas.

El basamento en el área del corregimiento de Montebonito es el Complejo Cajamarca que está compuesto en esta área principalmente por una alternancia de rocas meta-sedimentarias y pizarras, que de acuerdo con Ruíz (1991) y a pesar de que las rocas han sufrido metamorfismo regional, en sección delgada aún se distinguen relictos de las texturas clásticas. Son correlacionables con las rocas que Ruiz (1991) define informalmente como Metamorfitas de Marulanda en el área de la cabecera municipal. En el corregimiento se observaron los niveles I y II de meteorización y se muestran en la Figura 1.4.





**Figura 1.4.** Perfil Geológico del Corregimiento de Montebonito, se observa hacia la base el Nivel II de meteorización del Complejo Cajamarca suprayacido por un espeso Nivel I de meteorización y una delgada cobertera de depósitos piroclásticos. Localización: entrada Suroeste del corregimiento.

En la parte central del Corregimiento, se observaron espesores de hasta 2m de depósitos de flujos piroclásticos, con iguales características a las observadas en todo el oriente de Caldas. En la Figura 1.5, se muestra el único nivel aflorante, de color café con tamaño de grano arena media a gruesa con abundantes fragmentos de pómez dacítica con tamaño lapilli (ver Figura 1.5 derecha), y alcanza un espesor observable de hasta 1,8 m, con iguales características al observado en la cabecera municipal de Marulanda. En el sector de la Iglesia, el nivel está muy re-trabajado debido a que debió ser un nivel de ocupación pre-colombino por la gran cantidad de material de fragmentos de tiestos que se localizan en él.





**Figura 1.5.** Nivel Café de depósitos de flujos piroclásticos en el sector central del corregimiento, a la derecha detalle de la textura y el tamaño de grano de los depósitos, por debajo del lapicero se observa un nivel de pómez con tamaño lapilli.

#### **16.4.1.1. Amenaza por Remoción en Masa**

El análisis de la Amenaza para el corregimiento de Montebonito se hizo mediante la elaboración de un mapa de susceptibilidad por remoción en masa, un mapa de persistencia de los procesos erosivos y un mapa por incidencia de factor lluvia, luego se sumaron estos mapas con igual metodología que la usada en las demás cabeceras municipales, para establecer la amenaza por remoción en masa.

En el Anexo 1, Mapa 16.18 se muestra el uso y cobertura para el corregimiento de Montebonito obtenido a partir de la ortofoto con verificación de campo, la consolidación general del corregimiento se clasificó como urbano 3 y en todo el perímetro suroriental y noroccidental con uso agrícola principalmente de pastos y en menor proporción de bosques y de cultivos limpios y semi-limpios.

En el Anexo 1, Mapa 16.19 se muestra el mapa geológico del corregimiento, ver en 1.4.1 la descripción de las unidades geológicas. En toda la extensión del perímetro del corregimiento de Montebonito se localizan los depósitos de flujos piroclásticos sobre el basamento metamórfico (Qtz/Pz).

En el Anexo 1, Mapa 16.20, se muestra el mapa de pendientes obtenido a partir del modelo digital de terreno generado a partir de la imagen LiDAR del

corregimiento, se reclasificaron las pendientes en los siguientes rangos: 0°-15°, 15°-30°, 30°-45°, 45°-60° y 60°-85°. El sector consolidado como urbano 3, que define el parteaguas central del corregimiento con pendientes planos y dentro del límite urbano se presentan en todo los alrededores del parteaguas central pendientes planas a medias y por fuera del perímetro urbano en todas las direcciones se aumentan alas pendientes a altas. En el suroriente y noroccidente hay líneas marcadas de pendientes altas mostrando el sobrepastoreo que afecta zonas hasta el propio límite del perímetro urbano del corregimiento.

El mapa de curvatura se realizó con base en el modelo digital de elevación de terreno obtenido a partir de la imagen LIDAR, ver Anexo 1, Mapa 16.21. El mapa muestra en general valores de convexidad intermedios combinado con valores que indican áreas sin curvatura, planas; en el límite del perímetro con el sector rural aparecen valores medios a altos de concavidad delineando los drenajes aledaños al corregimiento.

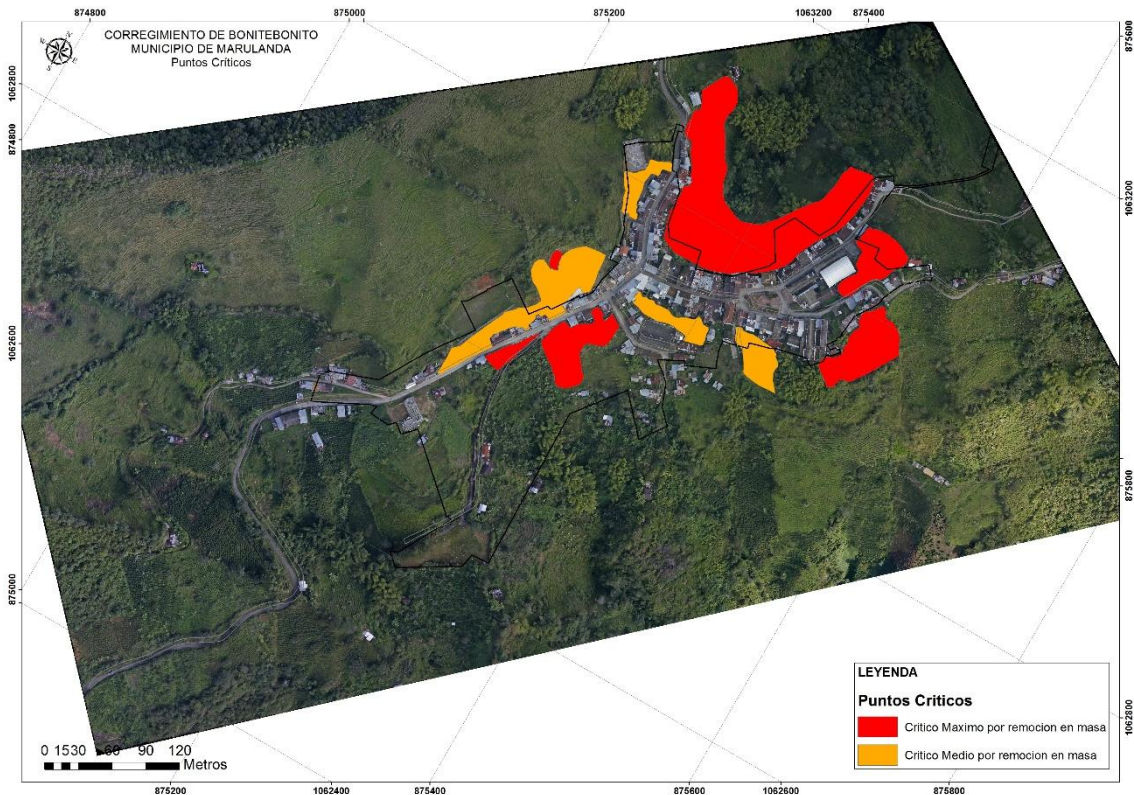
El mapa de Aspecto, muestra la orientación de las pendientes en el corregimiento de Montebonito, ver Anexo 1, Mapa 16.22. El mapa muestra un contraste en el norte del corregimiento, donde un lineamiento geológico separa dos zonas con dirección de pendientes diferentes, en la zona más norte, las pendientes del sector oriental tienen orientación hacia el norte, oeste y suroeste, las del sector occidental en esta zona más norte tienen pendientes hacia el este y noreste, en la zona más sur del corregimiento hay solo un conjunto de pendientes con orientaciones hacia el este, sureste y sur.

El mapa de relieve interno, ver Anexo 1, Mapa 16.23, muestra valores bajos a medios en la parte semi-consolidada del corregimiento, urbano 3 en el mapa de uso y cobertura. Estos valores de relieve interno se extienden hacia todo el límite norte y occidental del perímetro urbano, y los valores altos a muy altos de relieve interno se presentan coincidiendo con las zonas de más altas pendientes, pero ubicados en la zona rural aledaña al corregimiento de Montebonito.

El mapa de índice de humedad, ver Anexo 1, Mapa 16.24 muestra una amplia homogeneidad de zonas de saturación medias a bajas en casi toda la extensión del corregimiento, valores con saturación alta a muy alta solo se presentan a lo largo de la vía central pavimentada y donde se han hecho cortes extensos sobre el parteaguas donde se localiza el corregimiento para la adecuación de sitios para centros educativos y zonas deportivas.

Los puntos críticos en la Figura 1.6 y Mapa 16.25 del Anexo 1 se delimitaron en campo y se mapearon en la ortofoto. Debido a la intervención de la cuchilla central del corregimiento y el desarrollo urbanístico caótico sobre los sectores norte y oriental del corregimiento, se presentan sitios con criticidad alta por remoción en

masa en el norte y nororiente del corregimiento, puntos de criticidad media en el occidente y suroriente del corregimiento, en la parte sur no se identificaron puntos críticos.



**Figura 1.6.** Mapa de Puntos críticos del Corregimiento de Montebonito.

### Mapa de Susceptibilidad por Remoción en Masa

El mapa de susceptibilidad obtenido por la suma algebraica con los pesos definidos de los mapas de pendientes, usos y cobertura, curvatura, geología, índice de humedad y relieve interno, Para establecer la valoración de estos parámetros se usó una matriz AHP como se muestra en la Figura 1.7.

Matriz		Uso y Cobertura	Geología	Pendiente	Curvatura	Relieve Interno	Índice de humedad	Vector Eigen Principal Normalizado
		1	2	3	4	5	6	
Uso y Cobertura	1	0	1 4/9	2/3	3 1/6	2	2	22,28%
Geología	2	2/3	0	1/3	2 5/8	2 5/8	1 4/9	16,89%
Pendiente	3	1 4/9	3 1/9	0	4 1/6	2 2/7	2 5/8	32,68%
Curvatura	4	1/3	3/8	1/4	0	1 4/9	1	8,66%
Relieve Interno	5	1/2	3/8	3/7	2/3	0	4/5	8,88%
Índice de humedad	6	1/2	2/3	3/8	1	1 1/4	0	10,60%

**Figura 1.7.** Matriz AHP de pesos para los factores tenidos en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa.

El ranking de los factores lo determinó se determinó usando el macro de Excel para el cálculo de la proporción de consistencia (CR) definido por Goepel (2013), ver Figura 1.8.

Criterio	Comentario	Pesos	Rk
1 Uso y Cobertura		22,3%	2
2 Geología		16,9%	3
3 Pendiente		32,7%	1
4 Curvatura		8,7%	6
5 Relieve Interno		8,9%	5
6 Índice de humedad		10,6%	4

<b>Eigenvalue</b>	lambda:	<b>6,164</b>
<b>Proporción de Consistencia (CR)</b>	0,37 GCI:	<b>0,10</b>
	CR:	<b>2,6%</b>

**Figura 1.8.** Matriz AHP de pesos, rankings (Rk) y proporción de consistencia en el resumen de los factores tenidos en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa en el corregimiento de Montebonito.

El Mapa de susceptibilidad por remoción en masa para el corregimiento de Montebonitose hizo directamente en el ArcGIS con los factores y la ponderación mostrada en cada clase mostrada en la tabla 1.6. El ranking de los factores fue

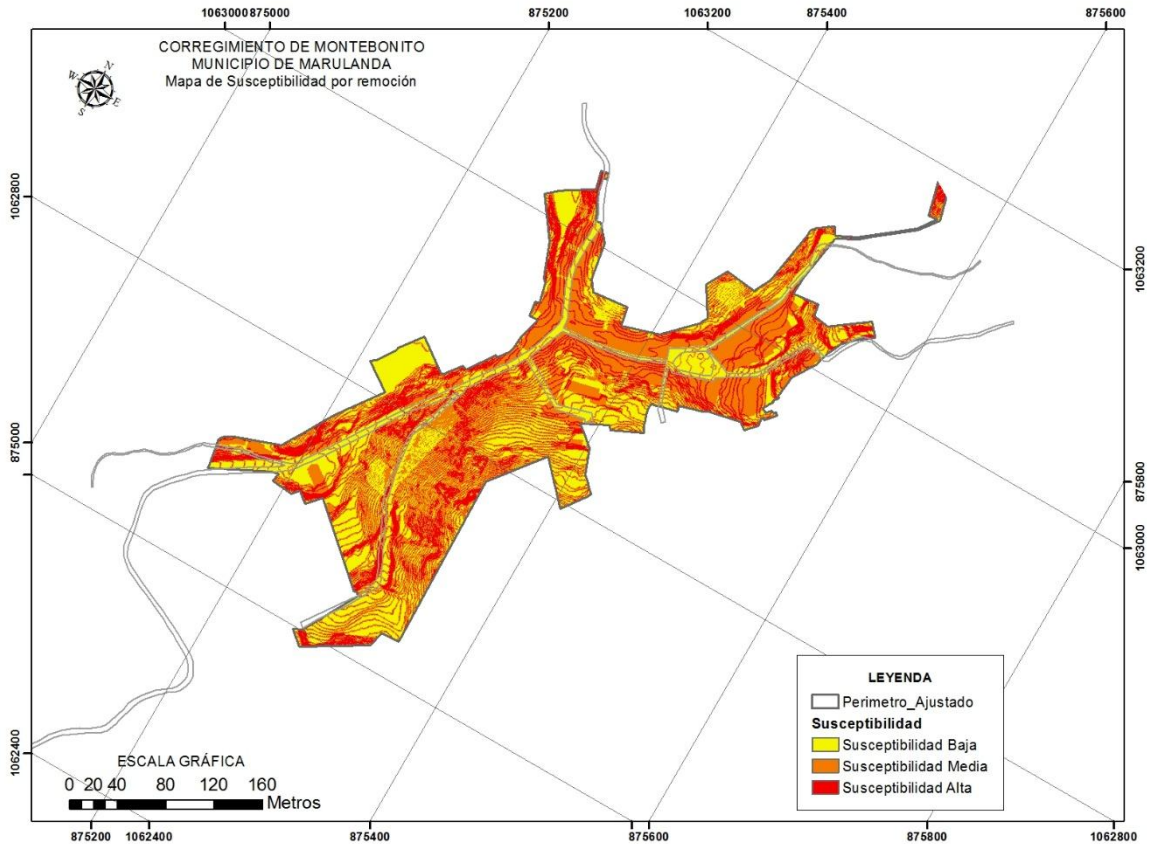


tomado de los resultados de la matriz AHP de la Figura 1.8 y luego clasificados de 1 a 9 teniendo en cuenta los pesos obtenidos.

**Tabla 1.6.** Valoración de factores y clases para la elaboración del mapa de susceptibilidad, en color rojo el peso del mapa y en color negro el peso de cada clase.

<b>Pendiente</b>	<b>9</b>	<b>Geología</b>	<b>5</b>
0°-15°	1	Qto/Pz	5
15°-30°	3		
30°-45°	5		
45°-60°	7		
60°-85°	9		
		<b>Curvatura radianes/100 m</b>	<b>2</b>
		Cóncavo Valores Máximos	3
<b>Uso Cobertura</b>	<b>7</b>	Cóncavo Valores Intermedios	3
Urbano 3	8	Plano	5
Vía Destapada	5	Convexo Valores Intermedios	7
Vía Pavimentada	3	Convexo Valores Máximos	9
Bosque	1		
Pastos	5	<b>Relieve Interno (m/12,5 m<sup>2</sup>)</b>	<b>2</b>
Cultivo Limpio	1	Clase 1: 0- 1,64	3
Cultivo semi-limpio	1	Clase 2: 1,64- 2,98	3
Deportivo	1	Clase 3: 2,98 – 4,11	7
Escalas	3	Clase 4: 4,11 – 6,28	7
		Clase 5: 6,28 – 19,03	7
		<b>Índice de Humedad</b>	<b>3</b>
		Zona saturación muy baja	6
		Zona de saturación baja	4
		Zona de saturación intermedia	3
		Zona de saturación alta	2
		Zona de saturación muy alta	1

En la Figura 1.9 y Mapa 16.26 del Anexo 1, se muestra la susceptibilidad media a alta por remoción en masa en la parte central del corregimiento, en los límites norte, oriental y occidental del perímetro urbano se obtuvieron susceptibilidades altas por remoción en masa pero siempre combinada tanto con susceptibilidades medias como bajas, hacia el sur del corregimiento hay un predominio de susceptibilidades bajas.



**Figura 1.9.** Mapa Resultante de susceptibilidad por remoción en masa para el Corregimiento de Montebonito.

### Mapa de Persistencia de los Procesos erosivos

En el Anexo 1, Mapa 16.27 se muestra la localización de las principales áreas afectadas por procesos erosivos en el corregimiento de Montebonito. En el Mapa se muestran que los principales eventos de deslizamientos que aún son observables en las imágenes LIDAR y verificados en la etapa de campo, eventos activos con moderado avance, E4 se localizan en la parte occidental y nororiental del corregimiento y solo dos eventos E4 de pequeñas dimensiones en la parte central; eventos estabilizados, E2 los cuales afectaron amplias áreas se localizan en el talud occidental de la vía principal y central del corregimiento. Y un evento antiguo, E1 se localiza en el oriente del corregimiento.

En el Anexo 1, Mapa 16.28 se muestra el mapa de factor detonante por umbral lluvia, el cual se construyó reclasificando los factores y asignándolos nuevos pesos de acuerdo con la susceptibilidad de cada factor con respecto a los

umbrales de lluvias, estos factores y pesos se muestran en la tabla 1.7. El mapa muestra mayor incidencia por el disparador de umbral de lluvias baja y media en prácticamente toda la extensión del perímetro urbano del corregimiento, e incidencia alta sólo en pequeños sectores en la periferia de todo el perímetro.

**Tabla 1.7.** Pesos de los factores para los mapas de factores del mapa factor detonante por umbral de lluvias para el corregimiento de Montebonito.

		Peso		
	<b>Uso Cobertura</b>	<b>5</b>		
Impermeables	Urbano 3	1		Peso
	Deportivo		<b>Pendientes en grados</b>	<b>5</b>
	Escaleras		0 - 10	9
	Parque		10 - 25	4
	Institucional		> 25	1
	Cementerio			
			<b>Geología</b>	<b>8</b>
			Qto/Pz	3
Permeables	Bosque	6		
	Pasto			
	Cultivo semi-limpio y limpio			
	Vía Destapada			
			<b>LLUVIAS tr-15</b>	<b>6</b>
			120 mm	6
	Suelo desnudo	8		

#### 16.4.1. Mapa de Amenaza por remoción en masa

En el Anexo 1, Mapa 16.29 se muestra el mapa de amenaza por remoción en masa para el corregimiento de Montebonito y se obtuvo cruzando los mapas de susceptibilidad (Anexo 1, Mapa 16.24) y el mapa de persistencia de los procesos erosivos (Anexo 1, Mapa 16.25) y el mapa de factor detonante por umbral de lluvias (Anexo 1, Mapa 16.26), el cruce de mapas fue teniendo en cuenta la valoración de pesos propuesta en la Tabla 1.8. El mapa se suscribe al perímetro del corregimiento, y muestra en general una amenaza media por remoción en masa, amenaza alta solo en sectores occidental y oriental del talud de la vía

central del corregimiento. Y amenaza baja en el sector del cementerio al suroriente del perímetro urbano del corregimiento de Montebonito.

**Tabla 1.8.** Pesos de los Mapas que definen el mapa de Amenazas por remoción en masa en el corregimiento de Montebonito.

Mapa	Peso
Persistencia	7
Susceptibilidad	4
Factor Lluvias	2

#### 16.4.1.2. Amenaza por Caída de Piroclastos

En la modelación de Hazmap para el Volcán Cerro Bravo (ver informe de Avance No. 3, Zonificación de la Amenaza Volcánica), en el Corregimiento de Montebonito, pueden caer entre 7 y 15 cm de ceniza (depósitos de caída piroclástica) en caso de una erupción de este volcán, que puede ser considerada una amenaza baja. Durante la erupción del 13 de noviembre de 1985 del Volcán Nevado del Ruiz, solo la parte rural del corregimiento fue afectada por la caída de ceniza, pero la gente barrió los techos y tuvieron un manejo adecuado de los pastos para el cuidado del ganado vacuno. En la Figura 1.10 se observan los techos de zinc con un muy bajo ángulo de caída de los mismos, que representan vulnerabilidad en caso de caída de piroclastos con espesores mayores a 5 cm.





**Figura 1.10.** Tipos de techo en la parte central del corregimiento que serían afectados en casa de caídas de piroclastos durante una erupción del Volcán Cerro Bravo.

#### **16.4.1.3. Vulnerabilidad**

Según datos del Sisben a febrero de 2013, el corregimiento de Montebonito del municipio de Marulanda cuenta con 244 habitantes, en la Figura 1.11 se muestran los porcentajes de las diferentes clases de las variables socio-económicas y físicas extractadas de las encuestas del Sisben. Las viviendas son básicamente unifamiliares, de propiedad de los habitantes principalmente y en menor proporción en arriendo, las paredes de las viviendas son en su gran mayoría de tapia pisada o adobe, y los pisos baldosa, vinilo, tableta o ladrillo, las viviendas tienen entre 2 y 4 cuartos y en el 83% de las viviendas habitan entre 1 y 5 personas, el 73% de los habitantes cuenta salud pagada y un 9% sin afiliación; el nivel educativo es principalmente primaria y solo un 2% sin educación. Los ingresos son bajos en un 90%, las edades varían pero predominan los niños y los adultos. Cuenta el corregimiento con los servicios sociales básicos, puesto de salud, centros educativos, Policía y Junta de Acción Comunal.



C  
0.13

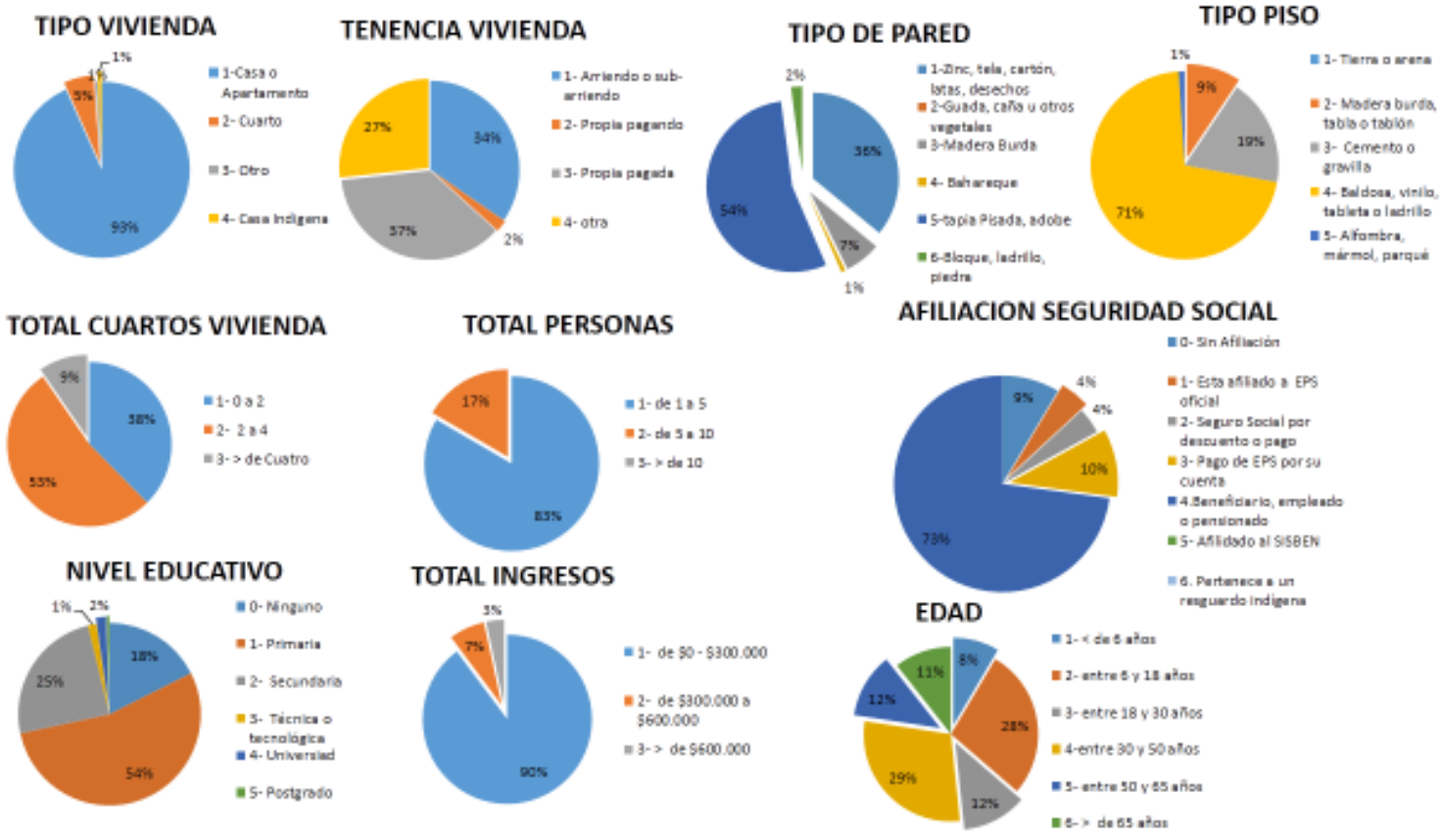


Figura 1.11. . Porcentajes de clases de las variables socio-económicas y físicas del Corregimiento de Montebonito.

#### **16.4.1.4. Riesgo**

El Riesgo por remoción en masa en el corregimiento de Montebonito se puede considerar como bajo, con solo un sector central en el talud occidental de la vía principal donde habría un riesgo alto, pero la vulnerabilidad física es media por la dispersión de las construcciones en el sector.

El Riesgo por caída de piroclastos también se puede considerar bajo para el perímetro urbano del corregimiento, con seguir con las medidas que proponen las unidades municipales de gestión de riesgo en caso de erupción volcánica, los habitantes del corregimiento podrían sobrellevar adecuadamente las consecuencias de la erupción tanto en la salud de las personas con las medidas básicas de protección, como mantener los techos de las viviendas limpios para evitar el colapso de las mismas sobre las viviendas.

Igualmente se deben adelantar acciones estructurales que mejoran las condiciones de sus habitantes como la educación y la seguridad social, ya que mejorando este aspecto junto con las otras condiciones sociales y económicas precarias mostradas en la Figura 1.11, ver: tenencia de vivienda, tipo de paredes, hacinamiento e ingresos, la percepción del riesgo aumentaría en la población, y por lo tanto la resiliencia para eventos de remoción en masa o de caída de piroclastos por una erupción volcánica.