

Santiago de Cali,  
Diciembre de 2011

## RESUMEN GENERAL

# ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD, ESCENARIOS DE RIESGO Y DISEÑO DE INGENIERÍA Y TRATAMIENTOS DE MITIGACIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO



## MUNICIPIO DE SEVILLA-VALLE

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO 0252 DE 2011



Universidad  
del Valle

Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente

Departamento de Geografía



Corporación Autónoma  
Regional del Valle del Cauca



Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente  
Hacia una proyección social



## **CONTRATO INTERADMINISTRATIVO CVC – UNIVALLE 0252 DE 2011**

**ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD, ESCENARIOS DE  
RIESGO Y DISEÑO DE INGENIERÍA Y TRATAMIENTOS DE  
MITIGACIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS BARRIOS  
MONSERRATE Y CAFETERO Y SU ENTORNO DEL MUNICIPIO  
DE SEVILLA, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA**

### **RESUMEN GENERAL**

## **BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO MUNICIPIO DE SEVILLA**

**Santiago de Cali, Diciembre de 2011**

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO</b>	<b>4</b>
1.1	INTRODUCCIÓN	4
1.2	OBJETIVOS	5
1.2.1	General	5
1.2.2	Específicos	5
1.3	IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	5
<b>2</b>	<b>ORGANIZACIÓN Y GRUPOS DE TRABAJO</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>8</b>
3.1	LOCALIZACION	8
<b>4</b>	<b>ESTUDIOS REALIZADOS</b>	<b>9</b>
4.1	HISTORICIDAD	9
4.1.1	Eventos de remoción en masa relevantes en los barrios Monserrate y Cafetero	10
4.2	TOPOGRAFÍA	11
4.2.1	Red de control GPS para el levantamiento topográfico	11
4.3	GEOLOGÍA	12
4.3.1	Geología estructural	12
4.3.2	Unidades geológicas superficiales	12
4.3.3	Geomorfología	12
4.4	HDROLOGÍA	13
4.5	GEOFÍSICA	14
4.6	GEOTECNÍA	14
4.6.1	Apiques, perforaciones y ensayos de laboratorio	14
4.7	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	14
4.7.1	Análisis para condición actual sin obras de mitigación	16
4.7.1.1	Condición actual sin sismo	16
4.7.1.2	Condición actual con sismo	17
4.8	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA	18

<b>5</b>	<b>VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE AFECTACIÓN</b>	<b>23</b>
<b>5.1</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD</b>	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>ESTIMACIÓN DEL GRADO DE AFECTACIÓN O DAÑO</b>	<b>29</b>
5.2.1	Determinación de los escenarios de afectación diurno y nocturno	31
<b>6</b>	<b>CARTOGRAFIA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>31</b>
<b>6.1</b>	<b>RECOPIACIÓN, ANÁLISIS, CLASIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA BÁSICA Y TEMÁTICA</b>	<b>31</b>
<b>6.2</b>	<b>ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOGRÁFICA</b>	<b>32</b>
6.2.1	Generación de cartografía	32
6.2.1.1	Mapa Básico	32
6.2.1.2	Mapa Geológico	32
6.2.1.3	Mapa de Unidades Superficiales	32
6.2.1.4	Mapa Geomorfológico y Morfodinámico	33
6.2.1.5	Mapa de Cobertura de Uso	33
6.2.1.6	Mapa de Uso de Suelo Urbano	33
6.2.1.7	Mapa de isoyetas mensuales multianuales y Precipitación máxima con periodos de 24, 48 y 72 horas.	33
6.2.1.8	Mapa de Eventos Históricos	34
6.2.1.9	Modelo Digital de Elevación	34
<b>7</b>	<b>DISEÑO DE OBRAS CORRECTIVAS</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>SOCIALIZACIÓN</b>	<b>34</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>39</b>
	<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>42</b>

# **1 ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El conocimiento de las amenazas y riesgos debe establecerse como punto de partida hacia la intervención en los municipios del Valle del Cauca. Sin embargo, la falta de soportes para proyectar el ordenamiento territorial, ha generado que hoy en día exista, en términos cualitativos y cuantitativos, un alto número de población en zonas de riesgo. A pesar de tal situación, en ocasiones, por falta de estudios técnicos pertinentes, no se toman las medidas decisorias de reubicar a la población que habita bajo el riesgo y, peor aún, se sigue proyectando el crecimiento de centros urbanos y poblaciones sin conocer las condiciones de riesgo en las que se establecen.

Para contrarrestar esta realidad presente para la mayoría de los municipios del Valle del Cauca, la CVC, a través de organizaciones idóneas, viene adelantando estudios técnicos confiables que identifiquen las condiciones naturales que generan los posibles fenómenos peligrosos por la comunidad, y, en segundo lugar, las características intrínsecas de la población que se convierten en vulnerabilidad ante los diversos peligros naturales a los que se encuentran expuestos, para definir los posibles niveles de afectación que pueda sufrir.

Si se acepta que la vulnerabilidad frente a las amenazas se genera a partir de la concentración de la población expuesta, es preciso considerar que las cabeceras municipales son las que presentan mayor incidencia en los desastres naturales, tal como lo confirman las estadísticas. Es por ello que los barrios Monserrate, Cafetero y su entorno en el Municipio de Sevilla en el Valle del Cauca han sido incluidos dentro de las prioridades de atención a las amenazas por parte de la CVC, con el fin de que mancomunadamente con la administración municipal se realicen los estudios técnicos y científicos para establecer las condiciones del riesgo que se presentan por movimientos en masa, en razón a que se han registrado históricamente y se registran en la actualidad procesos de inestabilidad. Estos procesos están relacionados con la condición geológica del sector enmarcada por el origen de la cuenca a partir de un sistema de fallas regional bien reconocido, el cual ha afectado el suelo y roca; a ello se suman aspectos atribuibles a la intervención del hombre como el urbanismo formal o no sobre dicha área y sobre todo la implicación que tiene el manejo de agua por escorrentía y de los alcantarillados.

A partir de los estudios señalados y con el uso de la cartografía base, se han generado los mapas temáticos, de amenaza por remoción en masa, vulnerabilidad y escenarios de afectación para los barrios Monserrate y Cafetero; y los respectivos diseños de obras constructivas en la zona del deslizamiento.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 General**

Realizar el estudio de evaluación de la amenaza y escenarios de riesgo por movimientos y diseñar las posibles obras de ingeniería necesarias para el control de la situación de amenaza resultante en los barrios Monserrate y Cafetero del Municipio de Sevilla perteneciente al departamento del Valle del Cauca.

### **1.2.2 Específicos**

- Recolectar y clasificar la información existente en el Municipio para la realización del estudio de evaluación de la amenaza por movimientos en masa.
- Realizar el levantamiento cartográfico detallado de la zona de afectación por movimientos en masa dentro de la zona de estudio.
- Preparar la información cartográfica y geográficas resultante de este estudio conforme las políticas y estándares que tiene establecida la CVC para garantizar que la información generada en el estudio pueda ser incorporada al SIG de la Institución.
- Realizar la evaluación y modelamiento de la susceptibilidad a movimientos en masa.
- Determinar el factor de seguridad ante movimientos en masa en la zona de estudio, considerando las lluvias y los sismos como posibles factores detonantes de eventos peligrosos.
- Realizar el estudio de evaluación de los posibles escenarios de afectación o daño (riesgo) por movimientos en masa en la zona de estudio.
- Determinar los modos y niveles de afectación y daño de los elementos expuestos en las zonas de amenaza alta y media dentro de la zona de estudio.
- Formular de manera general algunos lineamientos y esquemas particulares para elaborar los planes de prevención y atención de desastres y de contingencia y emergencia a partir de los resultados de los estudio de los estudios de amenaza y escenarios de afectación o daño.
- Elaborar el diseño de las obras requeridas para el control de la situación de amenaza del presente estudio.
- Socializar los resultados del estudio ante las autoridades municipales y la comunidad afectada por posibles movimientos en masa en la zona de estudio.
- Elaborar los informes parciales y final del presente estudio.

## **1.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

El presente estudio es de gran trascendencia para el futuro y la sostenibilidad del municipio de Sevilla, porque proporciona la información y la visión actualizada del estado en que se encuentran los barrios Monserrate y Cafetero en él se implementó una serie de técnicas, modelos y metodologías para la recolección de información y la sistematización de la misma, con el fin de establecer, con alto grado de aproximación, la amenaza, la

vulnerabilidad y los posibles escenarios de riesgo en que se encuentra la población y las estructuras, lo cual constituye material suficiente y válido para que el municipio pueda incorporarlo en la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), el Plan de Desarrollo Sectorial (PDS), el Plan de Gestión del Riesgo y el Plan de Emergencias y Contingencias (PLEC), como instrumentos de planificación esencial en el corto y mediano plazo para la toma de decisiones sobre el futuro económico y social del municipio.

La información que aporta cada una de las etapas de este proyecto constituye fuente obligada y permanente de consulta por parte de las autoridades municipales, los organismos directamente comprometidos con la prevención y atención de desastres y la comunidad en general, ya que en ella podrán encontrar fuentes serias, actualizadas y detalladas que les ayudarán en la solución de temas cruciales como la gestión del riesgos, la participación pública, privada y comunitaria en el desarrollo de los planes de emergencias y contingencias y, por supuesto, el fortalecimiento de las capacidades de la comunidad en general.

Finalmente, se puede decir que el estudio realizado por la Universidad del Valle constituye un aporte significativo en cuanto a las metodologías planteadas y aplicadas para la determinación de amenazas, vulnerabilidad y afectación, ya que son el resultado de la labor investigativa y de consultoría realizada por un grupo calificado de expertos, que se constituye en una referencia para enfrentar este tipo de problemáticas y que puede servir de guía para realizar estudios similares en otros municipios y regiones del país.

## 2 ORGANIZACIÓN Y GRUPOS DE TRABAJO

Para la ejecución del proyecto, la Universidad del Valle seleccionó un grupo de profesionales interdisciplinarios conformado por docentes, contratistas y estudiantes de los últimos años de diferentes programas académicos, quienes integran los distintos grupos de trabajo que han desarrollado las actividades que conforman el proyecto, así:

No	NOMBRE	PROFESION	CARGO
<b>DIRECCION Y ADMINISTRACION</b>			
1	ELKIN SALCEDO HURTADO	Ph.D. en Física-Matemáticas	Director
2	OLGA LUCIA BAQUERO	Ms.c en Geofísica	Coordinadora Técnica y Administrativa
3	KARINA CASTILLO	Ing. Agrícola	Asistente Administrativa
4	ALBA CASTAÑO CASTAÑO	Estudiante Geografía	Auxiliar Administrativa y en vulnerabilidad
<b>GRUPO DE HISTORICIDAD</b>			
5	NATHALY DE LOS ANGELES MAZO	Geógrafa	Historicidad
<b>GRUPO DE GEOLOGIA Y GEOFISICA</b>			
6	JORGE CASTRO	Geólogo	Asesor en Geología
<b>GRUPO DE GEOTECNIA</b>			
7	JESUS RAFAEL GARCIA	Ing. Civil	Coordinador
8	ELKIN FABIAN ULLOA	Ing. Civil Especialista Geotécnista	Ingeniero
9	MARGARITA MONTOYA	Ing. Civil	Ingeniera Auxiliar
<b>GRUPO DE SIG</b>			
10	JIBER QUINTERO SALAZAR	Ing. Topográfico	Coordinador en SIG y Topografía
11	YURY ALEJANDRA CARVAJAL	Ing. Topográfica	Auxiliar en SIG y Topografía
<b>GRUPO TOPOGRAFIA Y CARTOGRAFIA</b>			
12	JULIAN ANDRES ESCOBAR	Ing. Topográfico	
<b>GRUPO DE HIDROLOGÍA</b>			
13	JUAN PABLO URREGO	Ing. Agrícola	Ingeniero
<b>GRUPO DE VULNERABILIDAD</b>			
14	ELKIN SALCEDO HURTADO	Ph.D. en Física-Matemáticas	Coordinador
15	OLGA LUCIA BAQUERO	Ms.c en Geofísica	Vulnerabilidad
16	ANDRES FELIPE TORRES	Geógrafo	Vulnerabilidad
17	JORGE ANDRES VELEZ CORREA	M.Sc. Desarrollo Sostenible	Vulnerabilidad
18	NATHALY DE LOS ANGELES MAZO	Geógrafa	Asistente en Vulnerabilidad
19	CLAUDIA MARCELA PEÑA	Ingeniera Civil	Vulnerabilidad Estructural
20	NATHALIE GARCIA MILLAN	Estudiante de Geografía	Monitora
<b>SOCIALIZACIÓN</b>			
21	JORGE ANDRÉS VELEZ CORREA	M.Sc. Desarrollo Sostenible	Coordinador

El acompañamiento del proyecto por parte de la CVC ha estado a cargo del Geólogo Harbey Millán, los Ingenieros Francisco Torres y Fabio Aristizabal.



### 3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1 LOCALIZACION

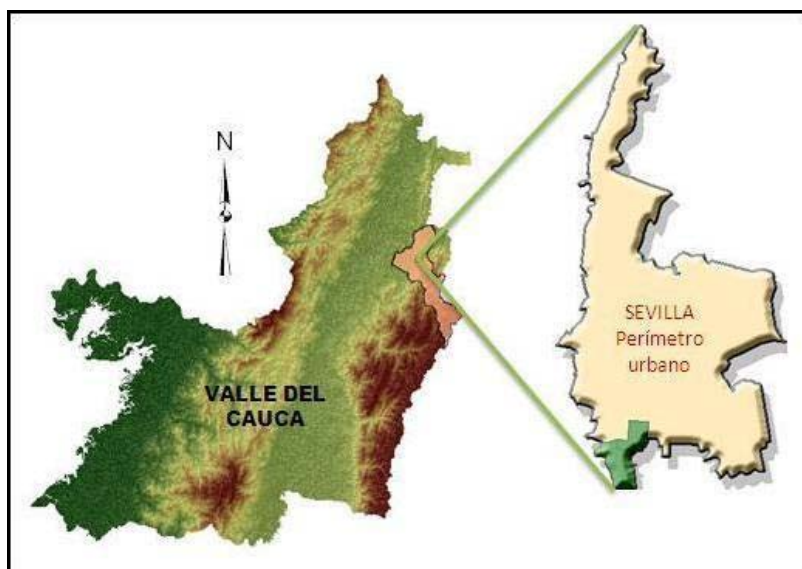
El Municipio de Sevilla está localizado en el flanco occidental de la Cordillera Central, al NE del Departamento del Valle del Cauca, a una distancia de 152 kilómetros de la ciudad de Santiago de Cali. Limita al norte con los Municipios de La Victoria y la Tebaida (Quindío), al sur con los Municipios de Bugalagrande y Tuluá, al oriente con Caicedonia, Génova (Quindío) y Roncesvalles (Tolima) y al occidente con Bugalagrande y Zarzal. Tiene una extensión aproximada de 587,5 Km<sup>2</sup>, de los cuales 3,89 km<sup>2</sup> corresponden a la cabecera municipal. La mayor parte del municipio presenta una topografía quebrada y su altura promedio es de 1612 m.s.n.m.

Por su posición geográfica en el flanco occidental de la Cordillera Central, Sevilla conforma una estrella hídrica donde convergen tres sistemas hidrográficos pertenecientes a la cuenca del río del Cauca y a su vez hacen parte de las Unidades de Manejo de las Cuencas del Río Bugalagrande, Río La Vieja, Río La Paila y Quebrada Las Cañas.

La temperatura media anual del Municipio es de 18.6°C, se presenta la máxima en el mes de agosto 20,2°C y la mínima en noviembre 16,7°C y se presentan dos periodos lluviosos (abril a junio y octubre- noviembre) y dos periodos secos (enero a marzo y julio a agosto); septiembre y diciembre son considerados como de lluvias intermedias.

La cabecera municipal cuenta con 10.5 Km. de cobertura hídrica, perteneciente a la *Microcuenca Quebrada San José*: quebradas La Sanabria, Brasil, Santander, Villa Linda, Aguas Claras y otros ramales sin nombre y *Microcuenca Quebrada Saldaña*: quebradas Aguas Sucias, Municipal, San Luis, Gaitán, Belén y Las Ferias.

La división política del área urbana y rural está definida por el Acuerdo No. 026 de noviembre 24 de 1.998, el cual define el perímetro urbano, y el Acuerdo No. 001 de enero 29 de 1.981 y 035 de diciembre 11 de 1.987, por los cuales se definen la división política del área rural; los barrios Monserrate y Cafetero correspondientes a la zona de estudio se encuentran localizados al Sur del municipio de Sevilla, dentro del perímetro urbano (Figura 1).



**Figura 1** Ubicación geográfica de la zona de estudio en el Municipio de Sevilla.

Los límites de la zona de estudio son, al Norte con la calle 50 y la quebrada La Alhambra; al Sur por la intersección del río Popal con la vía La Uribe-Sevilla; al Oeste limita con la vía La Uribe-Sevilla (elevación 1850 m.s.n.m.) y al Este con la carrera 47.

En la Tabla 1.1 se presentan las coordenadas planas Magna con origen Oeste y el área de la zona de estudio

**Tabla 1.1** Coordenadas planas de la zona de estudio

	<i>Norte</i>		<i>Este</i>		<i>Area Ha.</i>
	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	
Coordenadas planas	962568	963180	1126634	1127120	15

## 4 ESTUDIOS REALIZADOS

### 4.1 HISTORICIDAD

El objetivo de este estudio fue establecer la historicidad de eventos de remoción en masa, evidenciar los factores de ocurrencia, frecuencia y consecuencias de éstos y las respuestas de instituciones como el CLOPAD y entidades oficiales, ante deslizamientos ocurridos en los barrios Monserrate y Cafetero. Para lograr los objetivos, se consultaron documentos como Informes Técnicos sobre Inestabilidad en la zona de estudio disponible en la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, Actas oficiales del CLOPAD, fuentes hemerográficas de diarios regionales y nacionales, ficha de inventario de desastres - DesInventar, Plan de Ordenamiento Territorial, y además, se entrevistaron entidades de apoyo como Bomberos, Defensa Civil, Cruz Roja, organizaciones comunitarias y medios

de comunicación locales. Se recopiló información en visitas de campo y socialización con los habitantes de la zona de estudio para obtener una multiplicidad de escenarios y versiones acerca de los eventos históricos que afectan a la población y así evidenciar una primera aproximación sobre el riesgo asociado a los eventos de remoción en masa.

La búsqueda de información se realizó siguiendo el método intensivista, el cual permite, previo conocimiento de la ocurrencia de un evento determinado y mediante la búsqueda de diversas fuentes, precisar sus datos de hora y lugar de ocurrencia, efectos, daños causados, para así establecer parámetros de medición acerca de la magnitud o intensidad.

Las fuentes utilizadas pueden ser primarias o secundarias y una aproximación inicial consiste en datar eventos históricos asociados a fenómenos de remoción en masa en la zona de estudio y recopilar dichas fuentes mediante fichas para su organización archivística, para su complementación y análisis posterior. Una vez obtenido el registro hemerográfico se contrasta la información con otras fuentes primarias, como testimonios de la comunidad, y secundarias como actas, oficios e informes técnicos, que se constituyen en insumo importante para conocer el proceso asociado a la atención de las emergencias en la zona afectada.

#### **4.1.1 Eventos de remoción en masa relevantes en los barrios Monserrate y Cafetero**

Los eventos históricos asociados al fenómeno por remoción en masa en la zona de estudio se dan en unas condiciones geomorfológicas y climatológicas específicas, la distribución espacial de los barrios evidencian en estos una afectación directa relacionada con el proceso de ocupación de los pobladores en terrenos que antiguamente fueron rellenos. Los deslizamientos son de carácter retrogresivo marcados por grietas paralelas a la corona en el barrio Monserrate, y en el barrio Cafetero también se presenta amenaza por movimiento de masa de las laderas adyacentes y represamiento de la quebrada Aguas Sucias.

El problema actual consiste en la reactivación de deslizamientos de tipo rotacional retrogresivo en la ladera oriental del barrio Monserrate, presentándose en la corona del deslizamientos grietas de tensión. Las principales causas de los eventos han sido la saturación por agua del terreno conformado por material meteorizado y cenizas volcánicas, la fuerte pendiente y la deficiencia en el sistema de evacuación de aguas servidas. Todas las recomendaciones sugieren obras de estabilización de las laderas, manejo de aguas y obras de alcantarillado principalmente las orientadas a canalizar la Quebrada Aguas Sucias, reubicación de la población de las construcciones afectadas, remodelación de las pendientes y creación de barreras vivas para el control de la escorrentía.

En los barrios Monserrate y Cafetero se han presentado tres (3) eventos históricos asociados al fenómeno de remoción en masa, los cuales han causado importantes daños y afectación directa en viviendas, equipamientos, infraestructura y hogares; los cuales datan de hace más de 20 años, tiempo en el cual ha avanzado hacia la parte alta destruyendo viviendas y vías que se encontraban en el sector, tal como se evidencia en el Mapa de Historicidad de Eventos, donde se observan las áreas afectadas acorde con las correspondientes manzanas catastrales. Los primeros registros de este movimiento datan

del año 1988 pero se reportan reactivaciones en los años 1991, 1993, 1994 y 1998. Los principales eventos son caracterizados a continuación.

Evento del 19 de noviembre de 1988, localizado hacia la vertiente derecha de la Quebrada Agua Sucia, afectó 14 viviendas en el barrio Monserrate, obligando a evacuar 7 viviendas del barrio Cafetero.

Evento del 2 de abril de 1994, ocurrido sobre la vertiente derecha de la Quebrada Agua Sucia, ocasionando el desplome de 10 viviendas y averías en 7 más; se originó por la mala instalación del acueducto en una vivienda cuyo daño generó una filtración que a las condiciones de no canalización del caño que bordea el barrio, generó la desestabilización del terreno y provocó la destrucción de las viviendas. Esta situación coloca en evidencia la explanación de un lote que anteriormente era sitio de disposición de escombros y luego acondicionado para lavadero de vehículos, donde había un cruce de la red de alcantarillado y una recámara construida con ladrillo, presentando infiltración de aguas lluvias.

Evento del 19 de noviembre de 2010, se presentó después que, en el año 2010 por la fuerte ola invernal, se alertara sobre la situación de riesgo inminente de la zona de estudio. Para la misma fecha se comenzaron a efectuar obras de estabilización de las laderas sobre la Quebrada Agua Sucia, ejecutadas por la firma CORVESA S.A., que unos meses después ocasionaron mayores afectaciones sobre las viviendas localizadas en la corona del deslizamiento, como el desplome de algunas y la evacuación de otras como medida de prevención. Este evento ocurrió tras una temporada de lluvias prolongadas, las cuales provocaron el colapso de siete (7) viviendas localizadas en la corona del talud. Según los informes técnicos revisados, se describe que el evento ocurrió paulatinamente, de tal forma que el día cinco (5) de noviembre se observaron grietas que evolucionaron hasta el 22 del mismo mes, considerándose que el factor detonante de este evento fue el incremento de las presiones de agua en el interior de la masa de suelo al existir grietas de tracción en la corona del talud. Una vez ocurrido el evento, se recomendó el desalojo inmediato de las viviendas próximas, el manejo de los flujos de agua superficiales y descargas de aguas servidas.

## **4.2 TOPOGRAFÍA**

### **4.2.1 Red de control GPS para el levantamiento topográfico**

Se diseñaron y construyeron dos puntos de control GPS de precisión de 1 a 5 cm, que se amarraron al vértice geodésico de la red Magna Eco pasiva del IGAC **GPS-V-T-32**. Como las líneas base fueron del orden 1 a 3.5 km, se utilizaron receptores de mono-frecuencia y periodos de observación de 1-2 horas. La materialización de los puntos se realizó en el parqueadero Las Vallas en el Barrio Monserrate donde se garantiza el fácil acceso y su permanencia en el tiempo, y se amojonaron con placas de aluminio.

Los levantamientos se realizaron con estación total mediante poligonales de geometría cerrada y los datos se capturaron con cartera electrónica, las cuales fueron procesadas con

el software Topcon Link 7.5 usando el método de los mínimos cuadrados; se generaron curvas de nivel cada 50 cm mediante interpolación con el software AUTOCAD LAND 2009, a partir del cual se elaboró el modelo digital del terreno.

## **4.3 GEOLOGÍA**

### **4.3.1 Geología estructural**

En el casco Urbano del municipio de Sevilla, localizado en el flanco occidental de la Cordillera Central, aflora una faja amplia de rocas basálticas que pertenecen a la Formación Amaime (Ka) compuesta de vulcanitas básicas de edad cretácica. en una serie de basaltos toleíticos masivos con abundantes horizontes de lavas almohadilladas ampliamente distribuidos al oriente del departamento del Valle del Cauca. Estas rocas son afectadas por varias fallas que han formando varios sistemas de diaclasas con densidad mayor a 5 por metro, producto de esfuerzos regionales muy intensos.

La geología estructural regional es compleja y no ha sido estudiada a detalle. Las fallas de mayor importancia que afectan las rocas de la región correspondiente a la Falla de Sevilla que, de acuerdo a los estudios de INGEOMINAS, pasa por el barrio Monserrate donde es cubierta por una espesa capa de suelos residuales y otras fallas que afectan las rocas del sector como la de Quebrada Nueva, que pasa 3 kilómetros al occidente y las de Caicedonía y Romeral cuyos trazos se han definido aproximadamente a 10 y 15 kilómetros.

### **4.3.2 Unidades geológicas superficiales**

Los depósitos cuaternarios (Qm) no consolidados, originados por movimientos en masa recientes y antiguos, se han acumulado en zonas de media ladera; están constituidos por suelos residuales de la formación Amaime y su espesor puede variar entre 1-5 m.

En el recorrido por el área no se encontraron afloramientos de los basaltos de la formación Amaime; sin embargo, se observó una espesa capa de suelos residuales generados a partir de basaltos y diabasas como suelos residuales de basaltos y diabasas (Q/srbd) color naranja rojizo, textura limo-arcillosa de consistencia firme, densos y cohesivos. En algunos sectores se alcanzan a observar diques de basaltos muy alterados. En la parte alta de la carrera 51, los suelos residuales están cubiertos por una capa delgada de cenizas volcánicas que al meteorizarse han formado suelos limo-arcillosos de color pardo de espesor variable hasta de 1 m observados en el escarpe principal del movimiento, que al depositarse se acomodaron a la topografía del terreno. Se ven además algunos llenos antrópicos (Stla)

### **4.3.3 Geomorfología**

El mapa geomorfológico que se presenta se basa en la agrupación de las diferentes formas de la superficie del terreno dentro de una variedad de categorías con base en la similitud de las características del terreno y la pendiente. Los principales orígenes geomorfológicos que se encuentran en el casco urbano de Sevilla son las de origen denudacional y antrópico.

#### 4.4 HDROLOGÍA

Para el estudio hidrológico se utilizaron datos de registros históricos de precipitación de estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas de las redes de medición de CVC, CENICAFE e IDEAM localizadas en las subcuencas cercanas a la zona de estudio.

Usando criterios como cobertura espacial, tiempo de registro (estaciones con 20 o más años de registro) y calidad de la información (% de datos faltantes, gráficas de dispersión, histogramas, análisis de la media y de la varianza), se seleccionaron finalmente 10 estaciones con información de precipitación representativa de la zona de estudio, dentro del período 1980 - 2010.

Para completar los datos faltantes a nivel diario se utilizó el método de doble masa, el cual consiste en la acumulación de los registros tanto de una estación patrón como la estación con datos faltantes durante el mismo periodo de tiempo. Como todas las estaciones presentaron datos faltantes, la estación patrón corresponde a la estación o estaciones más cercanas a la estación objeto de análisis; para el análisis se grafican las lluvias acumuladas de la estación con datos faltantes en función de las lluvias acumuladas de la estación patrón, se determina la ecuación lineal de la resultante y de esta manera se determinan los datos faltantes.

Las variaciones más pequeñas de la precipitación ocurren en julio y agosto mientras que las más grandes en octubre, noviembre y diciembre. En los meses de febrero, marzo y septiembre a diciembre las precipitaciones aumentan en dirección Noroeste – Sureste. Durante los meses de enero y julio la distribución se encuentra de norte a sur y en los meses de abril y mayo la precipitación se reduce en dirección Oeste – Este.

El régimen de humedad fue obtenido con la precipitación media mensual multianual de la estación Heraclio Uribe, ya que es la estación más cercana a la zona de estudio que tiene registros de precipitación. Se puede visualizar comportamiento bimodal de las precipitaciones, con dos periodos secos entre enero – febrero y julio - agosto y dos periodos húmedos marzo – mayo y septiembre - diciembre, siendo agosto el mes más seco donde las precipitaciones son en promedio multianual iguales a 96,7 mm. Los meses con más lluvias corresponden a abril y octubre con 268,2 mm y 271,5 m, respectivamente.

A partir de los datos de 34 años de las estaciones seleccionadas en la zona de proyecto, se calcularon las precipitaciones máximas en 24 horas para los periodos de retorno de 10, 30 y 50 años aplicando la distribución de Gumbel, que es la que mejor se ajusta a la distribución de los datos.

Las precipitaciones máximas para periodos de retorno de 10, 30, y 50 años, en 24 horas, aumentan de Nor-Oeste a Sur-Este con aproximadamente 103,5mm, 126,5 mm, y 136,5 mm en cada período respectivamente; en 48 horas aumentan de Suroeste a Noreste con aproximadamente 141 mm, 178 mm, y 194 mm en cada período respectivamente; en 72

horas aumentan de Oeste a Este con aproximadamente 171 mm, 203 mm, y 218 mm en cada período respectivamente.

## **4.5 GEOFÍSICA**

Para identificar el espesor de los estratos se realizaron 11 líneas sísmicas distribuidas en el área de estudio. Se utilizó un sismógrafo de doce canales Modelo RAS-24, en arreglos de 12 y 24 canales. El equipo utiliza el software RAS-24 y se generó la señal de entrada mediante el golpe a una platina con un “mazo” de 30 libras de peso. Del análisis de las líneas sísmicas se determinaron 3 estratos caracterizados de la siguiente forma: primer estrato con velocidades de ondas planas entre 0-180 m/s, ondas de corte entre 0-190 m/s y una profundidad de 10 m; el segundo presenta velocidades de ondas planas entre 180-350 m/s y velocidades de ondas de corte entre 190 m/s-320 m/s a una profundidad de 10 a 26 m; el tercero, por debajo de 26 m con una velocidad de onda plana mayor a 350 m/s y velocidad de onda de corte superior a 320 m/s. a partir de este último estrato se encuentra roca sana donde las velocidades de corte alcanzan hasta 1350 m/s.

## **4.6 GEOTECNÍA**

### **4.6.1 Apiques, perforaciones y ensayos de laboratorio**

Con el fin de conocer en detalle el perfil estratigráfico del material aflorante en la zona se realizaron 14 apiques y 2 perforaciones mecánicas por percusión hasta una profundidad de 8 y 10 metros, se obtuvieron muestras inalteradas que sirvieron de base para la descripción estratigráfica del depósito; las líneas sísmicas fueron utilizadas como complemento, obteniendo las velocidades de onda y para identificar el espesor de los estratos.

Las muestras obtenidas de los apiques y perforaciones fueron llevadas al laboratorio para los respectivos análisis, que conducen a la caracterización geomecánica de los materiales respecto a la inestabilidad de las laderas. Las muestras fueron sometidas a pruebas de compresibilidad y resistencia.

La mayor parte del material aflorante en la zona se caracteriza por ser materiales de fracción fina (arcillas) de alta plasticidad (CH). Estos conforman la matriz del material arcilloso de la zona. Los parámetros utilizados en el análisis de estabilidad, corresponden a los de resistencia residual, dado que la ladera de la zona de estudio se encuentra en una condición de falla. De los 14 apiques realizados en el área de estudio, el ensayo de corte directo fue realizado para 3 muestras. Esto debido a que en 11 de las muestras obtenidas en los apiques no se pudieron conservar las condiciones inalteradas dadas las condiciones del área de estudio.

## **4.7 ANALISIS DE ESTABILIDAD**

Actualmente, la zona del deslizamiento mide aproximadamente 110 metros de largo, 90 metros de ancho en promedio y 7 metros de altura en el escarpe principal, la corona del

movimiento esta bordeando parte de la carrera 51 entre calles 44 y 45, donde el último evento destruyó varias viviendas del sector. En la esquina de la carrera 51 con calle 45 se observan grietas de tracción que dejan inestable y con alta probabilidad de desprendimiento, un bloque de suelos residuales de cenizas volcánicas y la roca meteorizada de basaltos.

En estas laderas se presentan otros movimientos activos como el de la zona sur oriental donde se han reactivado deslizamientos antiguos contiguos a la quebrada Sucia y otro a menos de 100 metros de la antena de comunicaciones. Se debe brindar especial atención a estos movimientos ya que están activos y que pueden avanzar hacia la parte alta debido a la saturación ocasionada por aguas de escorrentía y servidas que no están canalizadas de manera adecuada.

Para el análisis de estabilidad se usaron los Métodos de equilibrio límite desarrollados por Bishop y Spencer, bajo diferentes condiciones de contorno como: terreno totalmente saturado, con condiciones de sismo y sin sismo, adicional a las sobrecargas generadas por las viviendas del sector.

A partir de las características geológicas y geotécnicas de la zona afectada por los deslizamientos se definieron 3 (tres) secciones de control para el análisis consideradas como las más críticas en las que el análisis de estabilidad puede representar la situación más desfavorable para el área de estudio.

La evaluación de la ladera se realizó mediante métodos de análisis y cálculo de reconocida validez aplicables a los mecanismos de falla que han sido identificados y cuyos requerimientos de información de entrada deben ser coherentes con los parámetros geotécnicos obtenidos en la exploración y ensayo de las muestras obtenidas.

El software para realizar los análisis es el programa SLIDE v5.0, desarrollado por la firma Rocscience. Estos análisis se realizan para la condición actual del terreno y para la condición con obras. Básicamente, se pretende modelar el comportamiento del talud, al verse sometido a un ascenso importante del nivel freático, por lo que el análisis para el primer escenario se realiza para condición saturada y un sismo y del talud con las obras de contención diseñadas para mitigar el riesgo presentado en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos a partir de este análisis, se resumen en superficies de falla con diferentes Factores de Seguridad, definido como:

$$FS = \frac{\text{FUERZAS RESISTENTES}}{\text{FUERZAS ACTUANTES}}$$



A partir de los resultados de los Factores de Seguridad obtenidos en el análisis se realiza la clasificación de la amenaza a la que está expuesta la ladera, de acuerdo a los siguientes criterios<sup>1</sup>.

**Tabla 1.** Clasificación de la amenaza por movimientos en masa de acuerdo al los valores del factor de seguridad.

<b>FS - Escenario 1 – Condición Actual</b>	
Amenaza Baja	>1.9
Amenaza Media	1.2 – 1.9
Amenaza Alta	<1.2
<b>FS - Escenario 2 – Condición extrema</b>	
Amenaza Baja	>1.20
Amenaza Media	1.0 – 1.20
Amenaza Alta	<1.0

Fuente: Dirección de Prevención y Atención de Emergencias (2006)

#### **4.7.1 Análisis para condición actual sin obras de mitigación**

Para la condición actual del terreno se modela el comportamiento de la ladera al verse sometida a un ascenso importante del nivel freático, que es la causa por la cual la ladera del Barrio Monserrate y Cafetero falló. A partir de las visitas de campo durante el tiempo que se realizó el proyecto, se pudo apreciar como la temporada invernal afectó la zona de estudio, generando el fenómeno de remoción en masa de tipo rotacional. La zona de estudio carece de obras para el manejo de estas aguas superficiales y flujos subsuperficiales, lo que generó la saturación total del terreno presentándose la falla en la ladera.

Con el fin de determinar la influencia de los diferentes factores detonantes, se analizaron dos escenarios para la condición actual, cada uno con condiciones de contorno diferentes; el primero fue analizado con la condición actual del terreno, es decir, saturación total sin sismo, y un segundo más crítico, tuvo en cuenta la saturación total y se adicionó una fuerza sísmica. En la parte alta de las secciones se ubican las viviendas de los barrios Monserrate y Cafetero; por esta razón fue necesario adicionar a los análisis de estabilidad una sobrecarga debida a las viviendas. La magnitud de la sobrecarga se calculo de acuerdo al avalúo de cargas que presenta la NSR-10 (Norma Sismo Resistente).

El análisis de estabilidad para las secciones definidas se realiza en el flanco izquierdo de la quebrada dado que la parte derecha no hace parte de la zona de estudio.

##### **4.7.1.1 Condición actual sin sismo**

Para cada una de las secciones definidas en el presente estudio, se realizó un análisis de estabilidad mediante el software Slide v5.0. Este análisis se realizó con condición de

---

<sup>1</sup>Tomado de la Resolución 227 del 13 de Julio de 2006 de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias.

saturación total, teniendo en cuenta lo evidenciado en la zona de estudio y una fuerza de aceleración sísmica  $A_a=0$ , dado que para una condición actual el sismo no es un evento frecuente en la zona de estudio.

El análisis de estabilidad para esta condición demuestra que el terreno falla debido al ascenso del nivel freático ya las bajas propiedades geomecánicas del suelo. El factor de seguridad mínimo calculado por el método Bishop fue de 0.12, lo cual concuerda con la situación actual de la zona de estudio, falla total de la ladera. Es importante destacar el factor detonante que es el ascenso del nivel freático, en este sector se presenta alta ocurrencia de precipitaciones, razón por la cual la modelación de la situación actual del sector se realizó con nivel freático en condición saturada.

Sección 1 - Esta sección se encuentra ubicada en la parte norte del deslizamiento presentado en los barrios Monserrate y Cafetero. A partir del análisis de estabilidad realizado se evidencia una falla en ladera que para este escenario corresponde únicamente al efecto del agua sobre la misma. Estas superficies de falla cuentan con un factor de seguridad menor a 1, lo que clasifica esta zona del área de estudio como de amenaza alta.

Sección 2 – Para la sección 2 se evidencia una falla contundente de la ladera; esta sección se encuentra ubicada en la parte media del deslizamiento, considerándose la sección más crítica, y siendo esto corroborado con los resultados del análisis de estabilidad, donde el factor de seguridad mínimo fue de 0.12. Así mismo, igual que la Sección 1, las superficies de falla presentadas corresponden a superficies de falla con factores de seguridad menor a 1.

Sección 3 – Para la sección 3 se evidencia una actividad un poco menor que la sección 2, sin embargo, el factor de seguridad menor fue de 0.477, este es un valor muy bajo, que representa una amenaza alta en la ladera. Es importante mencionar que las superficies de falla corresponden a superficies con factores de seguridad menores que 1.

#### **4.7.1.2 Condición actual con sismo**

El análisis de estabilidad es realizado para la condición actual adicionando un sismo como factor detonante y manteniendo el nivel freático en condición saturada, situación que representa una condición más desfavorable para la zona de estudio.

Para la consideración de la condición con sismo, el coeficiente de aceleración horizontal usado fue  $2/3 A_a$ . El valor del coeficiente que representa la aceleración pico efectiva se tomó de la NSR – 10 (Norma Sismo Resistente) del Título A, apéndice A-4 – Valores de  $A_a$ ,  $A_v$ ,  $A_e$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos. Para el municipio de Sevilla se obtiene un coeficiente de aceleración de 0.25g (ubicándose este municipio en una zona de amenaza Sísmica Alta). por lo que la aceleración utilizada en los análisis de estabilidad fue de 0.16g, que corresponde a  $2/3$  de 0.25g.

A partir del análisis de estabilidad para la condición definida por ese escenario se demuestra que el terreno falla debido al ascenso del nivel freático y a las bajas propiedades geomecánicas del suelo, adicional a la saturación de masas de suelo superficiales, lo que aumenta su peso y disminuye las propiedades mecánicas de los materiales más cercanos a la superficie.

La condición de saturación total disminuye la capacidad de respuesta del suelo ante las condiciones de contorno evaluadas, y las masas superficiales saturadas son más pesadas, facilitando el movimiento del suelo superficial sobre una capa de arcillolita estable. A continuación se explica cada una de las secciones analizadas bajo la presente condición.

Sección 1 – Para esta sección es evidente que al adicionar un sismo de 0.16g los parámetros geomecánicos del suelo disminuyen, ya que los factores de seguridad de la superficie de falla disminuyen y la extensión de superficies de falla con factor de seguridad menor a uno aumentan. De acuerdo a lo anterior, en caso de presentarse un evento sísmico en la ladera se presentaría una falla evidente.

Sección 2 – En esta sección se evidencia un aumento de la amenaza alta a la que se encuentra sometida la ladera; las superficies de falla corresponden a superficies de falla con factores de seguridad de 0.5. Esta sección es considerada la más crítica en la zona de estudio teniendo en cuenta que se encuentra en el centro del cuerpo del deslizamiento.

Sección 3 - En esta sección se evidencia un factor de seguridad mínimo de 0.313, dado este factor de seguridad es evidente el efecto del sismo como factor detonante, igual que una saturación total del terreno. Como resultado se observa que las superficies de falla presentan un factor de seguridad menor en esta condición que para la condición sin sismo, así mismo la extensión de las superficies de falla es mayor para esta condición, ampliando la amenaza alta que se presenta en la ladera.

#### **4.8 ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA**

Para la zonificación de amenaza se utilizó el método de talud infinito, considerando 3 posibles escenarios como son: saturado – sin sismo (condición actual), saturado con sismo, y parcialmente saturado con sismo. Cada una de estas zonificaciones generadas tiene en cuenta los efectos de las sobrecargas que actúan sobre ella, como viviendas, tráfico sobre la vía que se encuentra en la parte alta del deslizamiento y demás acciones presentes en el terreno que generan una sobrecarga en el talud.

Involucra en su evaluación, el conocimiento claro del tipo de movimiento en masa amenazante activo o potencial, así como estimativos de su magnitud, recurrencia y localización geográfica. Para ello se realizó un análisis complejo que involucra la información recogida a partir de los estudios realizados en este proyecto, como: topografía, cobertura y usos del suelo, geología (geología para ingeniería, estratigrafía, geología estructural) geomorfología, clima, hidrología, parámetros geomecánicos de materiales e intensidad y probabilidad de ocurrencia de factores detonantes como lluvias y sismos. De

esta manera, se elaboró un mapa probabilístico de amenaza por deslizamiento, que toma como referencia el cálculo del factor de seguridad en las laderas, expresado de la siguiente forma (Jibson, 1998<sup>2</sup>):

$$FS = \frac{c}{\gamma t \sin \alpha} + \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} - \frac{m\gamma_w}{\gamma \tan \alpha} \quad \text{ECUACIÓN DEL USGS}$$

Donde:

C' = Cohesión efectiva.

Φ = Angulo efectivo de fricción.

α = Ángulo del talud.

γ = Peso unitario del suelo.

γ<sub>w</sub> = Peso unitario del agua.

t = Espesor de estrato deslizante.

m = Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado.

---

<sup>2</sup>Randall W. Jibson, A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps: An Example from the Los Angeles, California Area. Open File Report 98-113, USGS

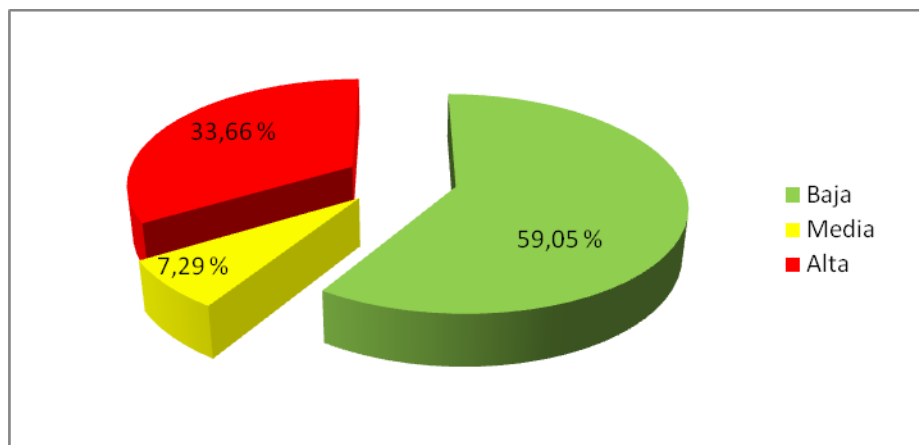
Así, el mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa se considera tres niveles de amenaza caracterizados por los valores que adquiere el factor de seguridad, los cuales son descritos como se especifica en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Descripción de niveles de amenaza por remoción en masa en la zona de estudio

NIVEL	AMENAZA
<b>BAJO</b>	<p>Zonas que se localizan dentro del rango de FS mayor o igual a 2.1 dentro del polígono suelo de protección, y 1.9 en las zonas aledañas; estas zonas se caracterizan por presentarse en la parte alta del deslizamiento, con presencia de arcillolitas y areniscas con alta cohesión.</p> <p>En general son zonas estables con pendientes menores a 12 grados, que no presentarán problemas en el evento de un sismo o lluvias fuertes. Debido a la ubicación del municipio de Sevilla en zona de amenaza sísmica alta, se recomienda a las autoridades exigir que las construcciones sean de diseño sismo-resistentes, acorde con la normatividad colombiana.</p>
<b>MEDIO</b>	<p>Zonas que se localizan dentro del rango de FS entre 1.1 y 2.1 (Suelo de protección) o 1.2 y 1.9 (Zonas Aledañas); estas zonas se caracterizan por ser suelos fino-granulares sueltos como areniscas y arcillas, pero en gran medida, son suelos residuales o depósitos fluvio-glaciales o de deslizamientos antiguos; con niveles freáticos cercanos a los 10.0m de profundidad.</p> <p>Corresponde a zonas con pendientes entre 12 y 25 grados. Es necesario manejar estas zonas con precaución, debido a que a largo plazo se pueden convertir en zonas de amenaza alta. En ellas se recomienda la revisión del estado de acueducto y alcantarillado, ya que hay indicios de que la tubería se encuentra rota, inyectando agua a los depósitos e incrementando los problemas de inestabilidad. En general, no se recomienda el desarrollo de proyectos urbanísticos en estas zonas, a menos que se implementen previamente las obras de estabilización del terreno.</p>
<b>ALTO</b>	<p>Zonas que se localizan dentro del rango de FS menor o igual a 1.1 (Suelo de Protección) o 1.2 (Zonas Aledañas); estas zonas se caracterizan por presentar superficies de falla de grandes radios (en el caso de movimientos del tipo rotacional), y suelos residuales o materiales de deslizamiento, con niveles freáticos en promedio a 15m de profundidad.</p> <p>Corresponden a las zonas más empinadas del sector, con inclinaciones superiores a los 25 grados. Son zonas de deslizamientos activos como el del barrio Monserrate. Estos sectores se caracterizan por la falla de los taludes en el evento de un sismo y lluvia fuerte. En general, se recomienda intervenir estas zonas mediante obras de mitigación para disminuir el nivel de amenaza. Debido a que los depósitos tienen espesores relativamente grandes, las obras de mitigación implican la construcción de estructuras de contención profundas tipo pilotes. La mayor parte de estas zonas han sido intervenidas y los bosques primarios han sido destruidos para la siembra de cultivos limpios acelerando los problemas de erosión. Es importante destacar el efecto negativo de la Quebrada El Cafetero, que ha generado graves problemas de socavación lateral, por tanto es necesario canalizar en el tramo de estudio. Debido a la alta probabilidad de falla de estas zonas ante agentes externos como la lluvia y los sismos se recomienda la restricción del uso del suelo. Es importante revisar todo el sistema de acueducto y alcantarillado de esta zona, ya que se detectaron tuberías rotas que incrementan los procesos de inestabilidad.</p>

Como resultado se obtiene que el escenario 3 es considerado el *más crítico* sobre el cual se deben tomar las medidas de prevención y mitigación por parte de la administración municipal; se plantea como factores detonantes la saturación total del terreno y la ocurrencia de un sismo con aceleración mínima de 0,16 g (Mapa 1).

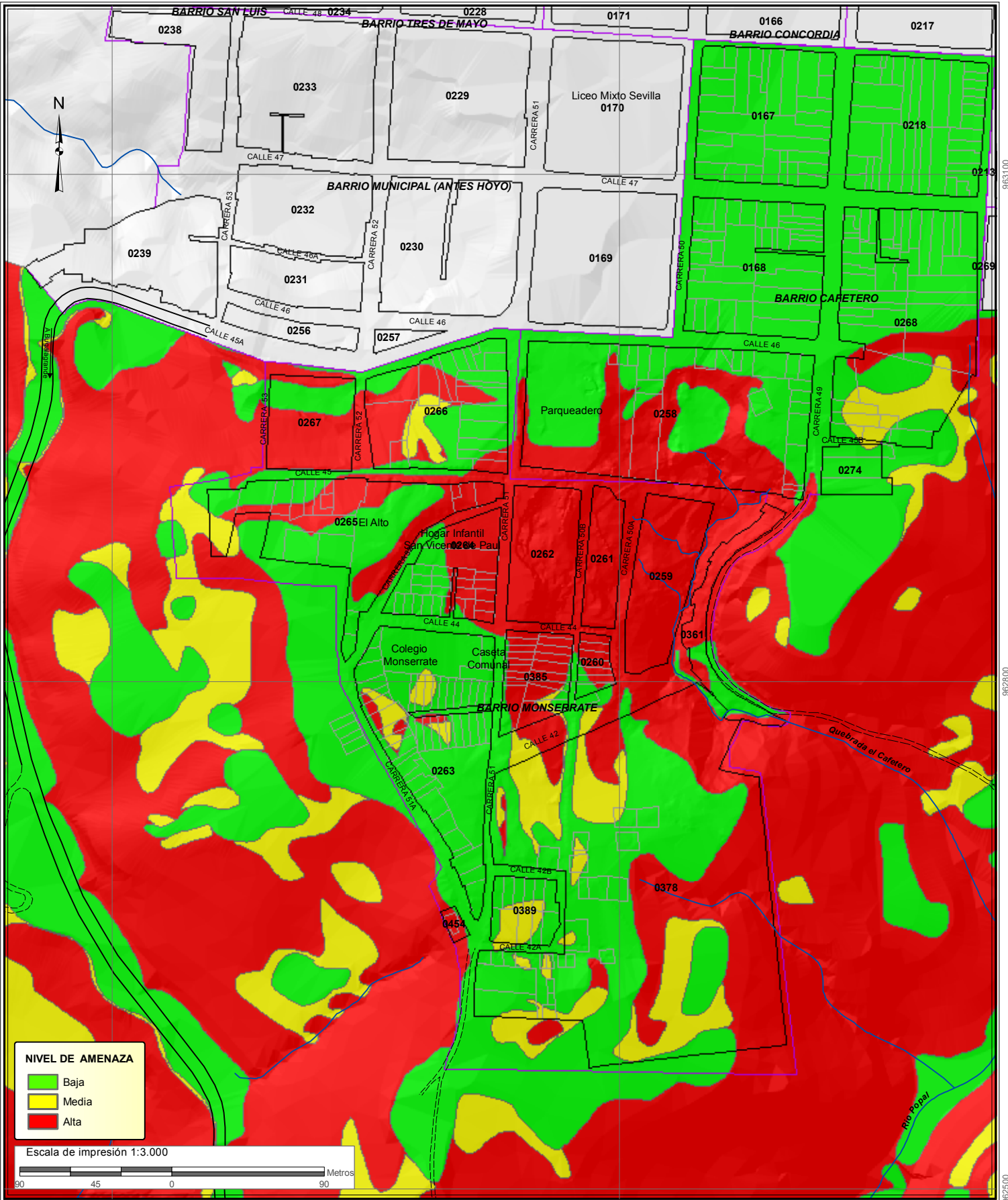
En la Figura 2 se esquematiza el porcentaje del área comprometida de acuerdo a los niveles de amenaza aquí definidos. Así, se establece que de manera aproximada el 34 % de la zona de estudio está siendo afectada con amenaza alta, el 7% corresponde a zona de amenaza media, mientras que el 59% está en amenaza baja.



**Figura 2.** Distribución de porcentajes de área amenazada, Escenario 3

La zona del deslizamiento ocurrido en el barrio Monserrate se encuentra en amenaza alta, como era de esperarse.

Estos resultados indican que el área bajo estudio tiene fuertes condiciones de inestabilidad del suelo, caracterizado principalmente por las condiciones naturales del suelo, la pendiente de la ladera y el régimen de precipitación local que contribuye al aceleramiento del fenómeno, así como las diferentes actividades humanas presentes que crean sobrecarga, y el mal manejo de las aguas servidas.



**NIVEL DE AMENAZA**

- Baja
- Media
- Alta

Escala de impresión 1:3.000

90 45 0 90 Metros

- CONVENCIONES**
- Perímetro Urbano
  - Camino
  - Perímetro Barrio
  - Perímetro de Manzana
  - Predios
  - ~ Drenaje sencillo
  - Carretera principal
  - Vía Secundaria o sin pavimentar



UNIVERSIDAD DEL VALLE  
 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA  
 Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente



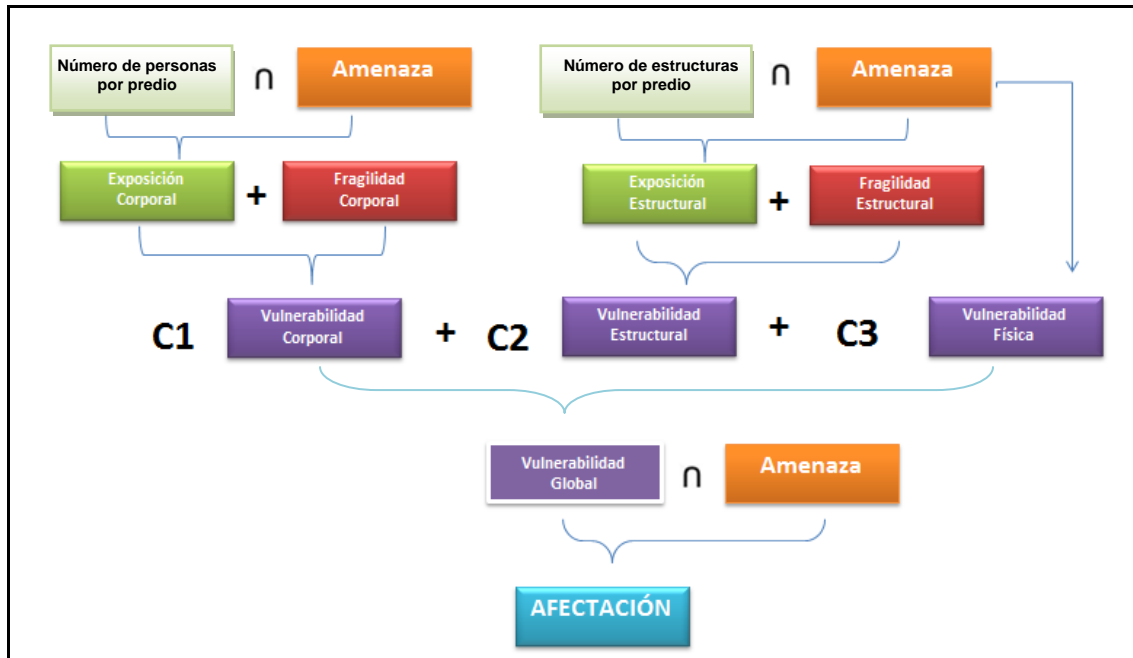
FECHA: Diciembre de 2011  
 SISTEMA DE REFERENCIA  
 Datum: Magna Origen de la Zona: Oeste  
 Elipsoide: GRS80 Proyección: Gauss - Kruger  
 FUENTE DE LA INFORMACIÓN  
 Cartografía Básica: IGAC. Escala 1:2.000,  
 CVC. Escala 1:5.000 (Datum Bogotá),  
 Planeación Municipal de Sevilla Valle.

**MAPA 1**  
**AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA**  
**ESCENARIO 3 (CON SISMO Y SATURADO)**  
**BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO**

963100  
962800  
962500

## 5 VULNERABILIDAD Y ESCENARIOS DE AFECTACIÓN

La vulnerabilidad ha sido definida en este proyecto como una condición intrínseca de una comunidad en términos del grado de exposición y del nivel de fragilidad frente a la ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino; la exposición hace alusión contacto entre el elemento expuesto y la amenaza; la fragilidad es una medida de la capacidad de un elemento para anticipar, responder, sobrevivir y recuperarse de los efectos causados por un fenómeno. La Figura 3 esquematiza el proceso mediante el cual se evaluó la vulnerabilidad y los escenarios de afectación en la zona de estudio.



*Figura 3. Diagrama conceptual para la evaluación de la afectación*

$$V = C_1 V_{(est)} + C_2 V_{(corp)} + C_3 V_{(física)}$$

$$V_{(est)} = Exp_{(est)} + Frag_{(est)}$$

$$V_{(corp)} = Exp_{(corp)} + Frag_{(corp)}$$

Donde:

$C_1$  es el coeficiente de importancia para la vulnerabilidad estructural normalizada  $V_{(est)}$ .

$C_2$  es el coeficiente de importancia para la vulnerabilidad corporal normalizada  $V_{(corp)}$ .

$C_3$  es el coeficiente de importancia para la vulnerabilidad física del suelo normalizada  $V_{(física)}$ .



$Frag_{estr}$  y  $Frag_{corp}$  representan la fragilidad de las estructuras y de la población, respectivamente.

$Exp_{est}$  y  $Exp_{corp}$  corresponden al grado de exposición para las estructuras y la población, respectivamente.

$Vul_{(física)}$  Corresponde a la vulnerabilidad física del suelo, la cual se mide en términos de la probabilidad de falla del terreno.

Una vez obtenida la vulnerabilidad, se adoptó una escala numérica que indica los grados de vulnerabilidad, para su respectiva clasificación de la misma, descrito de la siguiente manera (Tabla 3).

**Tabla 3.** Escala numérica para la clasificación de los grados de Vulnerabilidad

Grado de vulnerabilidad	Rango	Descripción
Baja (I)	[0-30]	Elementos con un nivel de exposición relativamente bajo, con una fragilidad baja caracterizada por una tipología estructural resistente y en buen estado y una población socioeconómicamente capaz de recuperarse ante un cambio drástico en su medio.
Media (II)	(30-60]	Elementos con un nivel de exposición moderado, con una fragilidad intermedia caracterizada por elementos estructurales cuyo estado físico y resistencia son aceptables y una población con limitaciones desde el punto de vista socioeconómico para responder y adaptarse a los cambios generados por un evento.
Alta (III)	(60-100]	Elementos con un nivel de exposición elevada y fragilidad elevada caracterizada por elementos estructurales poco dúctiles, sistemas constructivos inadecuados y estado de deterioro avanzado y una población incapaz de sobreponerse por sí mismos a los efectos provocados por un fenómeno.

Posteriormente, se determinan los niveles y modos de afectación para evaluar los modos de daño o grados de afectación esperados para los elementos expuestos según el nivel de amenaza dado. Esta evaluación se realiza acorde con las opciones presentadas en las tablas 4, 5 y 6.

**Tabla 4.** Índices de afectación

		Grado de vulnerabilidad			Modo de daño ó Afectación
		I	II	III	
Grado de Amenaza	I	I	I	II	
	II	I	II	III	
	III	II	III	III	

**Tabla 5.** Modo de daño o afectación por Fenómenos de Remoción en Masa

<b>ELEMENTOS EXPUESTOS</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>MODO DE DAÑO o AFECTACIÓN</b>
<b>HABITANTES</b>	I	Heridas leves sin secuelas
	II	Heridas importantes (fracturas, invalidez)
	III	Fallecimiento en el sitio
<b>CONSTRUCCIONES (viviendas)</b>	I	Daños ligeros no estructurales (estabilidad no afectada)
	II	Daños importantes Fisura y agrietamiento
	III	Daños graves, destrucción parcial y/o total de las estructuras

Para modelación de escenarios de afectación, cuantificación de daños y pérdidas potenciales, se efectúa el cruce de información correspondiente al modo de daño con la densidad de personas en la vivienda por escenario (diurno y nocturno), tal como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Relación entre modo de daño y densidad de población/escenario

		<b>DENSIDAD DE POBLACIÓN/ESCENARIO D-N</b>		
		<b>ALTA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>BAJA</b>
<b>MODO DE DAÑO</b>	<b>ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>
	<b>MEDIO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>
	<b>BAJO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>BAJO</b>	<b>BAJO</b>
		<b>ESCENARIO DE AFECTACIÓN</b>		

## **5.1 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

Los mapas de amenaza representan para los estudios de vulnerabilidad y afectación, uno de los insumos principales a partir de los cuales se puede determinar cuáles son las áreas y los elementos que se encuentran expuestos ante los distintos niveles de peligrosidad determinados.

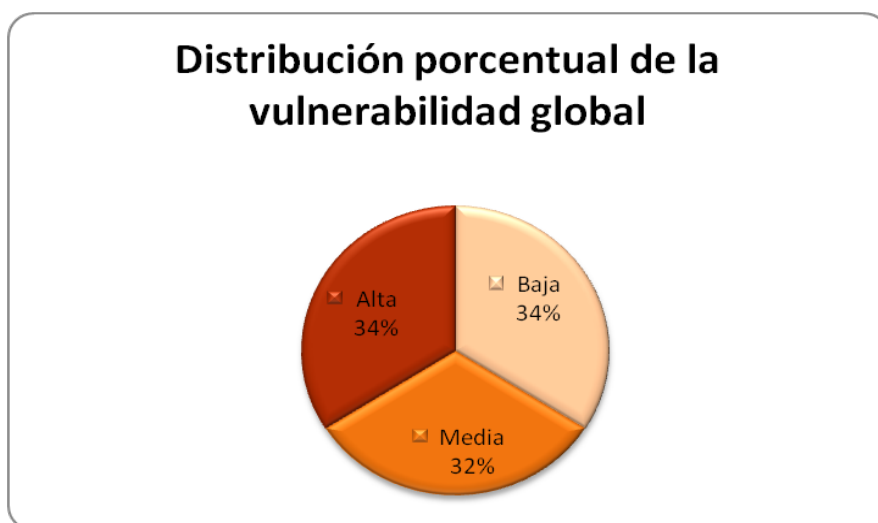
De acuerdo con los alcances del proyecto, los elementos expuestos se clasifican en dos grupos: por una parte, corporales (los habitantes) y, por otra parte, estructurales, correspondiente a las viviendas; sin embargo, se hace una breve mención del grado de exposición de otros elementos estructurales de tipo institucional-dotacional tal como colegios públicos.

El análisis de la información sobre los distintos elementos que se consideran expuestos o que se encuentran localizados dentro del área de influencia se realizó mediante un inventario, que incluyó la localización espacial y la caracterización de dichos elementos, como base para la estimación de la exposición y la fragilidad. Los datos se obtuvieron de diferentes fuentes, entre ellas la Oficina de Hacienda, Planeación Municipal y SISBEN-2011, complementada con un completo trabajo de campo planificado en el que se recopiló la información pertinente para caracterizar y localizar los distintos elementos expuestos dentro del área de estudio.

Entre otras actividades, el trabajo de campo contempló la inspección ocular de las viviendas, identificando su estructura física y estado de conservación, y la entrevista con un informante idóneo, por cada vivienda, capaz de suministrar la información necesaria para el análisis.

Se realizó una caracterización de la población y una aproximación del estado estructural de las viviendas encuestadas en toda el área de estudio; la localización y caracterización de los elementos corporales expuestos se hizo a través del número de personas por predio. Se asume la hipótesis de que existe una fuerte correlación espacial positiva entre este indicador y los niveles de exposición, para lo cual encontramos niveles de exposición elevados cuando existe una alta densidad de población en el área de influencia de una amenaza. A partir de los datos obtenidos se pudo caracterizar demográficamente la población en función del número de personas por predio.

En términos globales, la vulnerabilidad de todos los elementos estudiados en el área de estudio es bastante crítica; aproximadamente el 70% de la zona presenta niveles moderados y altos de vulnerabilidad, lo que señala una limitación fuerte por parte de los habitantes y sus viviendas a la hora de afrontar una emergencia por deslizamientos (ver Mapa 2 y Figura 4).



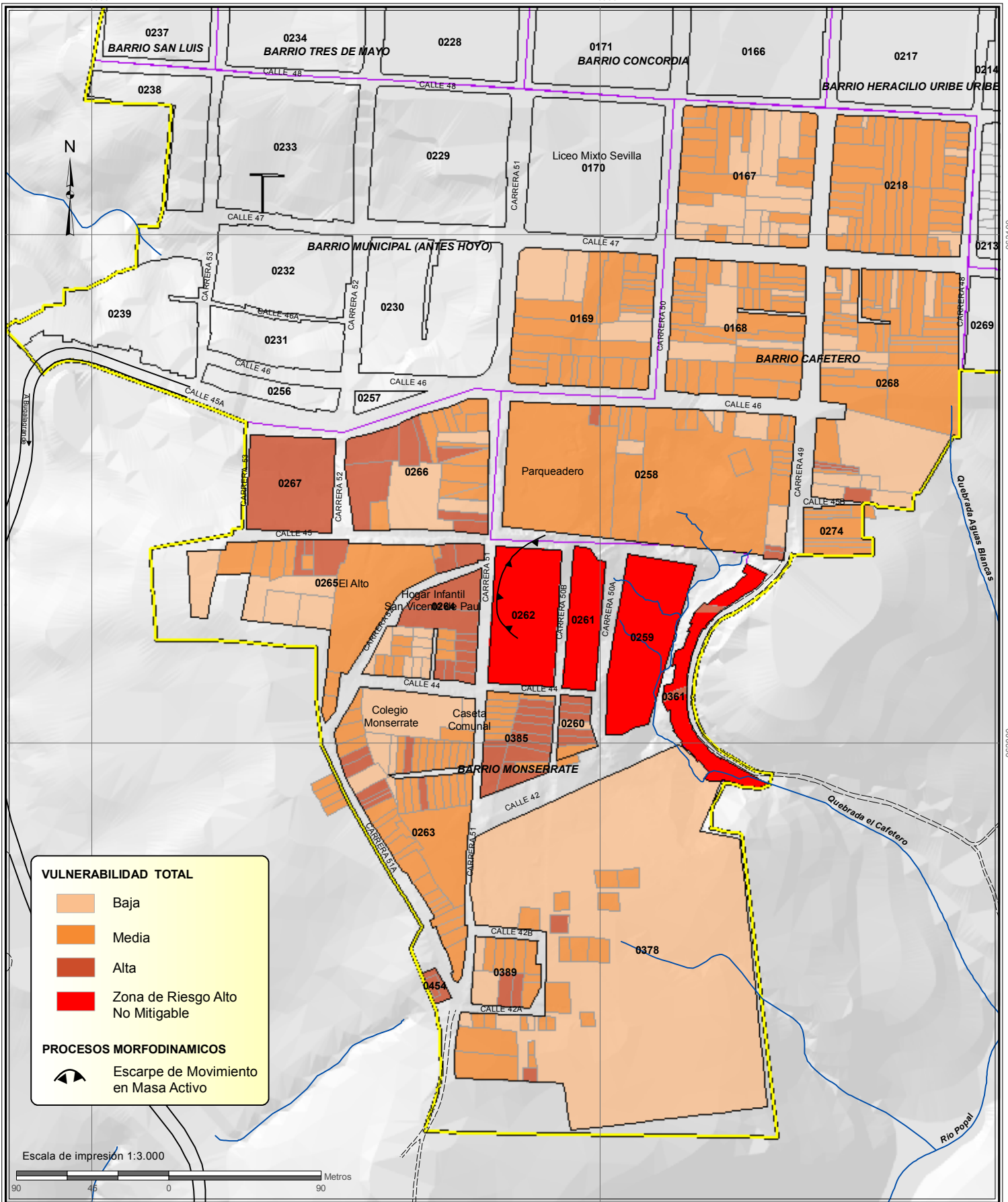
*Figura 4. Distribución porcentual de la vulnerabilidad global*

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio se presentan tres grados de vulnerabilidad, a saber:

- *Vulnerabilidad Baja:* Corresponde a zonas donde los elementos tanto corporales como estructurales presentan unos niveles de exposición relativamente bajos ante la amenaza (no se encuentran en contacto directo con las zonas de deslizamiento activo); presenta condiciones de fragilidad baja caracterizada por una tipología de las viviendas buenas estructuralmente que las hace resistentes, la población, desde el punto de vista socioeconómico, muestra condiciones de tener capacidad de recuperarse ante la eventualidad de una emergencia.

- *Vulnerabilidad Media:* Los elementos presentan un nivel de exposición moderado ante la amenaza, con unos niveles de fragilidad intermedio caracterizados por viviendas cuyo estado físico y resistencia son aceptables, una población puede tener limitaciones socioeconómicas para responder y adaptarse a los cambios generados por un evento dañino.

- *Vulnerabilidad Alta:* Los elementos presentan un nivel de exposición elevado ante la amenaza (se encuentran en contacto directo con las zonas de deslizamiento activo) y condiciones de fragilidad alta, caracterizadas por tipologías estructurales poco dúctiles, sistemas constructivos inadecuados y en estado de deterioro avanzado; igualmente, presenta una población que socioeconómicamente refleja ser incapaz de sobreponerse por sí misma a los efectos provocados por un fenómeno de remoción en masa que cause daños.

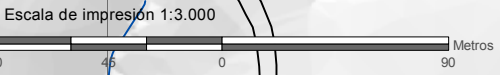


**VULNERABILIDAD TOTAL**

- Baja
- Media
- Alta
- Zona de Riesgo Alto No Mitigable

**PROCESOS MORFODINAMICOS**

- Escarpe de Movimiento en Masa Activo



- CONVENCIONES**
- Perímetro Urbano
  - Perímetro Barrio
  - Perímetro de Manzana
  - Predios
  - Drenaje sencillo
  - Carretera principal
  - Vía Secundaria o sin pavimentar

=== Camino



UNIVERSIDAD DEL VALLE  
 CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA  
 Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente



FECHA: Diciembre de 2011  
 SISTEMA DE REFERENCIA  
 Datum: Magna Origen de la Zona: Oeste  
 Elipsoide: GRS80 Proyección: Gauss - Kruger  
 FUENTE DE LA INFORMACIÓN  
 Cartografía Básica: IGAC. Escala 1:2.000,  
 CVC. Escala 1:5.000 (Datum Bogotá),  
 Planeación Municipal de Sevilla Valle.

**MAPA 2**  
**VULNERABILIDAD GLOBAL POR REMOCIÓN EN MASA**  
**BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO**

## 5.2 ESTIMACIÓN DEL GRADO DE AFECTACIÓN O DAÑO

La relación entre el peligro de un fenómeno natural y las condiciones vulnerables creadas por una comunidad en su entorno físico y social es lo que determina el grado de afectación que pueda sufrir la misma. La importancia de elaborar un mapa de afectación, en la zona de estudio del municipio de Sevilla, por fenómenos de remoción en masa a partir del desarrollo de la metodología propuesta en este estudio, se ve reflejada en el gran aporte que realiza al presentarse espacialmente los escenarios de riesgo como un paso inicial para estructurar y aplicar acciones que eviten, en la medida de lo posible, pérdidas humanas y materiales, como consecuencia de la acción de dichos fenómenos.

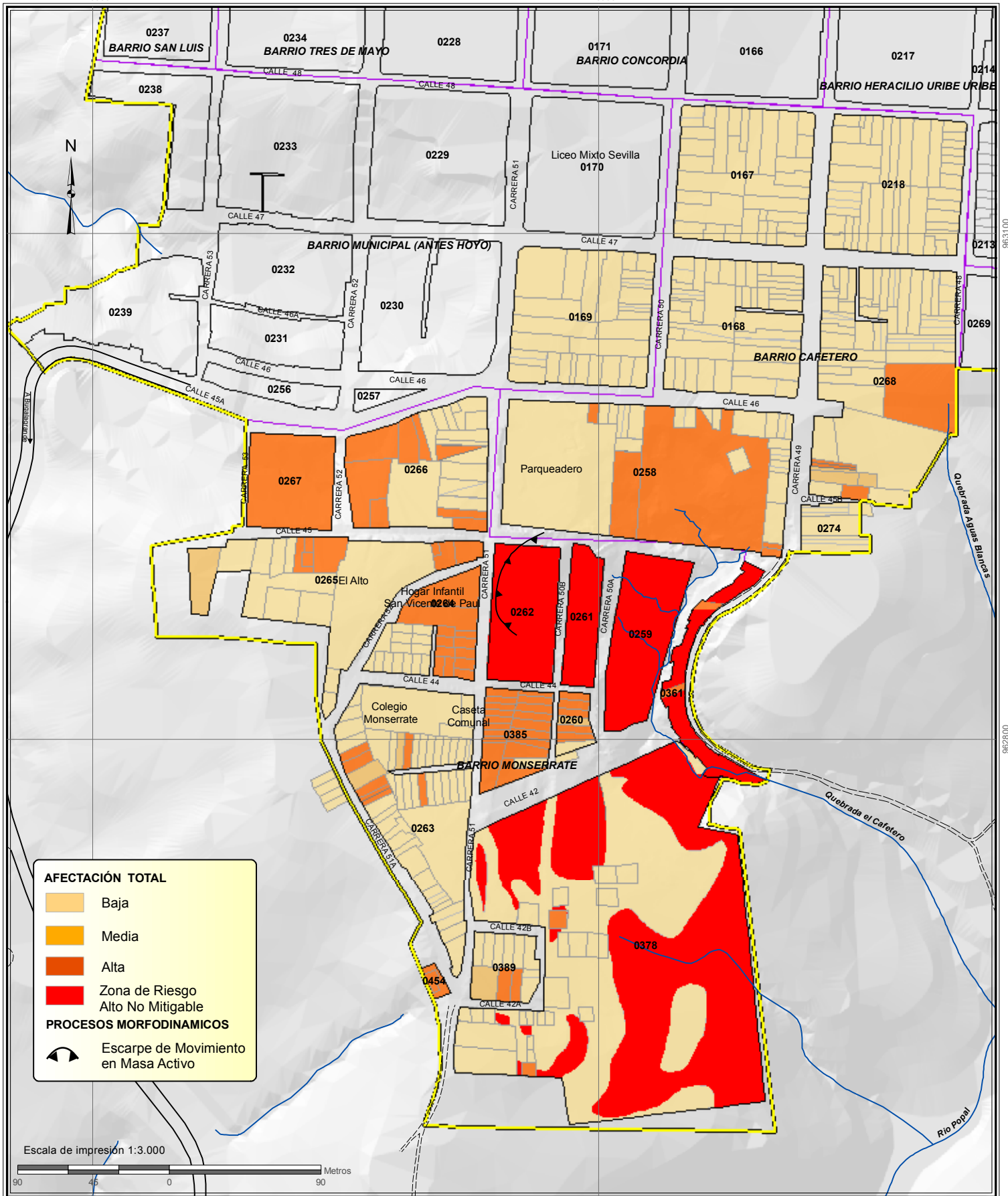
Los resultados arrojados por la evaluación de la afectación se clasificaron en tres niveles:

- *Afectación Baja: Nivel de amenaza baja y condiciones de vulnerabilidad bajas.* Los daños que pueden presentarse en las viviendas son ligeros (no estructurales) sin que se vea afectada la estabilidad de las mismas.

- *Afectación Media: Amenaza moderada y vulnerabilidad socioeconómica y estructural relativamente moderada.* Deben realizarse pequeñas obras de mitigación para eliminar la amenaza y desarrollarse programas tendientes a la reducción de la vulnerabilidad de la población y la adecuación de las viviendas que presentan problemas estructurales considerables

- *Afectación Alta:* La zona se caracteriza por presentar unas condiciones de amenaza peligrosas para los elementos expuestos, además de una vulnerabilidad alta caracterizada por viviendas inadecuadas y en mal estado y una población con poca o nula resiliencia. Se recomienda la reubicación inmediata de la población sobre esta zona y el traslado de toda actividad que se desarrolle sobre la misma. Los daños que pueden presentarse son la destrucción parcial o total de las viviendas y pérdidas de vidas humanas en el sitio.

De acuerdo con el Mapa 3 el barrio Monserrate se encuentra en una zona de afectación alta y deberá pensarse en planes de reubicación para evitar futuros escenarios de desastre.



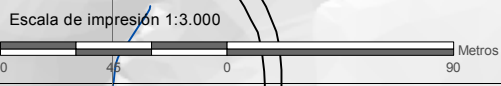
963100  
962800

**AFECTACIÓN TOTAL**

- Baja
- Media
- Alta
- Zona de Riesgo Alto No Mitigable

**PROCESOS MORFODINAMICOS**

- Escarpe de Movimiento en Masa Activo



<p><b>CONVENCIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px solid yellow; margin-right: 5px;"></span> Perímetro Urbano</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px solid purple; margin-right: 5px;"></span> Perímetro Barrio</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px solid black; margin-right: 5px;"></span> Perímetro de Manzana</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Predios</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Drenaje sencillo</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px solid blue; margin-right: 5px;"></span> Carretera principal</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Vía Secundaria o sin pavimentar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Camino</li> </ul>	<p><b>UNIVERSIDAD DEL VALLE</b>  <b>CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA</b>      Observatorio Sismológico y Geofísico del SurOccidente</p>		<p><b>FECHA:</b> Diciembre de 2012  <b>SISTEMA DE REFERENCIA</b>      Datum: Magna Origen de la Zona: Oeste      Elipsoide: GRS80 Proyección: Gauss - Kruger  <b>FUENTE DE LA INFORMACIÓN</b>      Cartografía Básica: IGAC. Escala 1:2.000,      CVC. Escala 1:5.000 (Datum Bogotá),      Planeación Municipal de Sevilla Valle.</p>
--	--	--	--	---

**MAPA 3**  
**AFECTACIÓN GLOBAL POR REMOCIÓN EN MASA**  
**BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO**

### 5.2.1 Determinación de los escenarios de afectación diurno y nocturno

Debido a la complejidad de los fenómenos naturales y la dinámica espacial que presentan los elementos corporales espacio-tiempo, existe una variedad de posibilidades de manifestación del daño. En este sentido se adopta la propuesta de complementar el análisis mediante la concepción de escenarios de afectación, lo que nos permitirá aproximarnos al daño específico en función del número o porcentaje de personas damnificadas y viviendas afectadas. Para generar dicho modelo se efectúa el cruce de información correspondiente al modo de daño con el número de personas en la vivienda por escenario (diurno y nocturno). La Tabla 7 muestra el número de habitantes por escenario y el número total de viviendas que se encuentran bajo algún nivel de afectación por deslizamientos.

**Tabla 7.** Habitantes por escenario y viviendas en riesgo

Hab/día	Hab/noche	Viviendas
763	1100	500

## 6 CARTOGRAFIA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En el presente trabajo se ha establecido un flujo de procesos que parten de la captura de información primaria a través de levantamientos topográficos y de campo realizados por profesionales de diferentes grupos como historicidad, geología, geotecnia e hidrología; toda esta información se integra para su edición y estructuración SIG y finalmente obtener los mapas temáticos con la especificaciones solicitadas por la CVC.

### 6.1 RECOPIACIÓN, ANÁLISIS, CLASIFICACIÓN Y ADAPTACIÓN DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA BÁSICA Y TEMÁTICA

La información cartográfica recopilada y disponible en formato digital es la correspondiente al plan de ordenamiento territorial (POT) del municipio, la suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y aquella que se encuentra en un geovisor que contiene la información catastral de la zona urbana del IGAC.

La información cartográfica del POT se encuentra disponible en formato DWG y a escala de impresión 1:5.000 del año 2000.

La información cartográfica disponible en CVC a escala 1:5000 es producto de la restitución fotogramétrica realizada en el año 1999 con la utilización de las fotografías aéreas de los vuelos FAL 407 F-01 a escala 1:12.500 del año 1998 y FAL 180 F-E a escala 1:10.000 del año 1995.

La información obtenida del geovisor se encuentra disponible a escala 1:2.000, el cual es producto de la restitución fotogramétrica realizada por el IGAC utilizando fotografías aéreas correspondientes al vuelo C-2758 F-1 Y F-2 a escala 1:10.000 del año 2005.



## **6.2 ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOGRÁFICA**

La información geográfica y cartográfica generada en el proyecto a través de las diferentes actividades realizadas se estructura conforme a las políticas y estándares establecidos tanto a nivel nacional por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), como por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

La información cartográfica obtenida y generada en el sistema de referencia con datum Bogotá es migrada al nuevo sistema de Referencia Nacional MAGNA, conforme a la política nacional se utiliza el modelo MolodenskyBadekas y los parámetros de transformación de la región VI. A toda la información producida cartográficamente se le hizo metadatos y se estructuró la geodatabase.

### **6.2.1 Generación de cartografía**

#### **6.2.1.1 Mapa Básico**

El mapa básico de los barrios Cafetero y Monserrate de la zona urbana del municipio de Sevilla, se realizó a partir de la información secundaria cartográfica a escala 1:200, 1:2.000 y 1:5000, la información primaria que se encuentra contenida en el área de estudio fue generada producto de un levantamiento topográfico detallado a escala 1:200 y la información georeferenciada que se encuentra alrededor de la misma fue tomada a partir de las planchas a escala 1:5000 del IGAC. Para la generación de las curvas de nivel se integraron los puntos topográficos (cogo) generados a partir de los levantamientos topográficos realizados en el área de estudio y las curvas de nivel a escala 1:5.000 de CVC, esto con el propósito de generar el modelo digital a resolución espacial de 0.5m, el cual a su vez nos permitió generar curvas de nivel cada 0.5 metros representadas en el mapa básico cada 2 metros.

#### **6.2.1.2 Mapa Geológico**

Este mapa ha sido elaborado incluyendo las unidades geológicas identificadas por el grupo de geología, la representación geométrica de ésta temática se realizó a partir de la conversión y edición de la cartografía digital en formato dwg que posteriormente fue transformada a formato shape (shp) realizada por este grupo, a esta información georeferenciada se le hizo control topológico de Gaps y Overlaps necesarios para asegurar la calidad de las entidades geométricas, posterior a ello realizar la asignación de atributos, producto del trabajo de campo y fotointerpretación de fotografías aéreas disponibles del año 2005 (IGAC) y modelo digital de elevación de 0.5 metros de resolución. Este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:200 (topografía) e impreso a escala 1:1.000 por ser la escala del trabajo de campo.

#### **6.2.1.3 Mapa de Unidades Superficiales**

Presenta las unidades geológicas superficiales dentro de las cuales se identifican suelo residual de basaltos y diabasas, y suelos de llenos antrópicos, los cuales coinciden con las unidades geológicas identificadas previamente y se presenta sobre la base cartográfica. Este

mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica a escala 1:2.000 e impreso a escala 1:1.000 por ser la escala del trabajo de campo.

#### **6.2.1.4 Mapa Geomorfológico y Morfodinámico**

Partiendo de la compilación realizada por el grupo de geología de la información de interés sobre deslizamientos, erosión, reptación, entre otros, este grupo realizó la fotointerpretación de los procesos morfodinámicos y su verificación con trabajo de campo realizando la cartografía de ésta temática, integrando estos procesos a las unidades geomorfológicas identificadas por el grupo de geología. Al igual que el mapa de geología a la cartografía se le hace edición y control topológico para tener una mayor precisión de la información georeferenciada. Este mapa es realizado sobre la base cartográfica a escala 1:200 e impreso a escala 1:1.000 por ser la escala del trabajo de campo.

#### **6.2.1.5 Mapa de Cobertura de Uso**

Este mapa es el producto del trabajo de campo del grupo de Hidrología, la representación georeferenciada se tomó a partir de la digitalización de los mapas realizados a escala 1:3000, en estos mapas se utilizó la información catastral suministrada por la oficina de planeación de Sevilla y se adjuntaron zonas a partir de los levantamientos de campo que habían sido ocupadas para afinar y precisar más el análisis de los usos del uso y cobertura. Cabe anotar que en este estudio se digitalizó la información correspondiente a los barrios Monserrate y Cafetero e información del barrio municipal y zona rural para que esta cartografía sirviera como insumo importante en los análisis de vulnerabilidad. Este mapa es realizado en el sistema de referencia Magna sobre la base cartográfica digital a escala 1:200.

#### **6.2.1.6 Mapa de Uso de Suelo Urbano**

Al igual que el mapa de cobertura de uso, para la generación de la cartografía de uso se tomó el trabajo de campo realizado por el grupo de hidrología y se procedió a digitalizar esta información en el sistema de referencia magna sobre la cartografía digital a escala 1:200 (topografía), luego se hizo control de topología para posteriormente generar estos usos a nivel predio y ser impresos a escala 1:1.000.

#### **6.2.1.7 Mapa de isoyetas mensuales multianuales y Precipitación máxima con periodos de 24, 48 y 72 horas.**

Presenta isoyetas mensuales, anual e isolíneas con valores de precipitación máxima de períodos de 24, 48 y 72 horas, cada uno con tasas de retorno de 10, 30 y 50 años sobre la base cartográfica a 1:4.000. Esta información fue generada como geometría de tipo línea y fue necesario generar entidades con geometría de tipo polígono para representar regiones con promedio de precipitación entre isolíneas. Los mapas de precipitaciones máximas de 24, 48 y 72 horas se presentan por período con las tasas de retorno de 10, 30 y 50 años en tamaño doble carta a escala 1:10.000.

#### **6.2.1.8 Mapa de Eventos Históricos**

Este mapa contiene los sitios identificados por el grupo de historicidad, en los cuales se tiene evidencias y registros de zonas afectadas por deslizamientos en diferentes épocas; también se muestran aquellas manzanas que por medidas de prevención del gobierno local se han declarado como aéreas en desalojo. Se evidencia algunos elementos que hacen parte de procesos morfodinámicos y que permiten desarrollar un análisis multitemporal de la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa. Este mapa está impreso a escala 1:1.000.

#### **6.2.1.9 Modelo Digital de Elevación**

El modelo digital de elevación que se presenta en el mapa es producto de la integración de las curvas de nivel generadas como producto de los levantamientos topográficos a detalle de la zona de estudio y aéreas de influencia y las curvas de nivel de las planchas 1:5.000 de CVC, con resolución de 0.5 metros; este MDE es utilizado como insumo para los grupos de geología y geotecnia para los respectivos análisis para la determinación de la amenaza por fenómenos de movimientos en masa.

### **7 DISEÑO DE OBRAS CORRECTIVAS**

Las diferentes obras de mitigación propuestas para disminuir el problema de inestabilidad y erosión en los Barrios Monserrate y Cafetero, incluyen obras como:

- Movimientos de Tierra
- Terraceo
- Muros en Cantiliever
- Pilotes.
- Obras para el control de la erosión.
- Obras para el manejo de aguas superficiales.

Es importante destacar que para garantizar el adecuado comportamiento de la ladera, es necesario que la opción complementada incluya la totalidad de las medidas de mitigación propuestas, ya que las obras han sido diseñadas para que trabaje monolíticamente. Las anteriores obras propuestas han sido el resultado de muchos análisis, escogiéndose finalmente la opción más segura.

En los anexos presentados en medio digital se encuentran los “Planos de Diseño”, los cuales presentan las obras y medidas de mitigación propuestas, para cada una de las zonas susceptibles a fenómenos de remoción en masa que puede comprometer la vía. Ver el informe completo de las obras propuestas en el documento correspondiente.

### **8 SOCIALIZACIÓN**

Como actividad final correspondiente a los términos de referencia del proyecto se llevó a cabo la socialización de resultados, la cual se desarrolló el día 25 de febrero de 2012, por medio de una amplia convocatoria que realizó la Alcaldía Municipal a todos los actores

institucionales y sociales de la localidad. La oficina de Planeación Municipal, mediante oficio, invitó a funcionarios representantes de los diversos organismos interesados en conocer la situación de amenaza y afectación de los barrios Monserrate y Cafetero, tales como funcionarios de la alcaldía, Bomberos, Defensa Civil, líderes comunitarios y población en general.

Se presentaron los resultados de los estudios de amenaza, vulnerabilidad y afectación, en un ambiente de dialogo con todos los asistentes. Finalmente se hicieron las recomendaciones pertinentes sobre las manzanas que se encuentran en estado de afectación alto y deberían ser reubicadas sus poblaciones.

## **9 CONCLUSIONES**

En los barrios Monserrate y Cafetero se encuentran evidencias históricas que permiten determinar las condiciones de afectación generadas por complejos problemas de inestabilidad de suelos asociados a factores físicos, sociales y ambientales que en diferentes periodos han impactado con rigor los escenarios de vida de algunos de sus pobladores.

En la zona de estudio se han presentado 3 eventos principales por remoción en masa, (19 de noviembre de 1988, 2 de abril de 1994 y 19 de noviembre de 2010) los cuales aportan elementos importantes a tener en cuenta en los estudios de geotecnia y geofísica debido al progresivo avance de las tensiones presentes en la ladera que podrían impactar de manera directa a otras viviendas expuestas, las cuales se encuentran evacuadas por orden de la Administración Municipal como medida de precaución. Estos estudios son una fuente de información vital para la toma de decisiones que las autoridades del municipio deberán tomar en términos de gestión del riesgo en los barrios Monserrate y Cafetero.

Una premisa fundamental de los estudios de historicidad es que ninguna población está condenada a sufrir las consecuencias de fenómenos como los ocurridos en los barrios Monserrate y Cafetero cuando se tiene el registro de episodios pasados. Esto quiere decir que si existen registros que permiten evidenciar la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa que impactaron en el pasado las laderas de la zona descrita resulta lógico pensar que estos fenómenos podrán ocurrir nuevamente, lo cual demanda la acción inmediata de la población y las autoridades que les representan para evitar afectaciones y pérdidas lamentables.

En cuanto a la Geología de la zona de estudio se puede concluir que, las rocas de la Formación Amaime presentan meteorización profunda e intenso fracturamiento debido a las condiciones geológicas y climáticas de la zona, situación que sumada a las características morfológicas y acción antrópica (falta de manejo de aguas servida y de escorrentía, agricultura en zonas de alta pendiente) ofrecen condiciones favorables para la ocurrencia de movimientos en masa.

La ladera tiene una predisposición natural a permitir el ingreso de agua y a retenerla en algunos de los estratos que la conforman, generando así sobrecarga y fluidificación. El efecto se manifiesta mediante el desplazamiento de la masa inestable a grandes distancias hasta alcanzar su ángulo de reposo.

Durante los meses de enero y febrero la distribución espacial de las lluvias aumenta en dirección Norte a Sur y varía entre 116 mm y 120 mm; en los meses de marzo, abril y mayo las lluvias aumentan de Oeste a Este y varían entre 187 mm y 265 mm. Para los meses de junio, julio y agosto la distribución espacial aumenta de Noroeste a Sureste con láminas entre 101 mm y 141 mm. Finalmente, para los meses de septiembre a diciembre las precipitaciones aumentan de Noroeste a Sur Este con variaciones de 170 mm y 266 mm.

La región presenta un comportamiento bimodal con dos periodos secos correspondientes a enero – febrero y julio – agosto y dos periodos húmedos, marzo – mayo y septiembre – diciembre, siendo agosto el mes más seco, mientras que los meses con más lluvias corresponden a abril y octubre.

Las precipitaciones máximas en 24 horas para periodos de retorno de 10, 30, y 50 años aumentan de Noroeste a Sureste con aproximadamente 103,5 mm, 126,5 mm, y 136,5 mm respectivamente. Las precipitaciones máximas en 48 horas para periodos de retorno de 10, 30, y 50 años aumentan de Suroeste a Noreste con aproximadamente 141 mm, 178 mm, y 194 mm, respectivamente. Las precipitaciones máximas en 72 horas para periodos de retorno de 10, 30, y 50 años aumentan de Oeste a Este con aproximadamente 171 mm, 203 mm, y 218 mm, respectivamente, sobre la zona de estudio.

En la zona de estudio se observaron eventos con alta intensidad de precipitación, que se corrobora con la curva IFD de la estación La Sirena para periodos de retorno de 10, 30 y 50 años; por lo que debido al deficiente drenaje de la zona se observan altos flujo de agua sin un adecuado manejo. Por tanto, se recomienda la implementación de superficies permeables que reduzcan los picos de los eventos lluviosos.

En general, en la zona de estudio se encuentran velocidades de infiltración básica lentas lo que aumenta la escorrentía superficial; sin embargo, en la zona del deslizamiento en el barrio Monserrate la infiltración es alta debido a la intervención por las obras realizadas. Mientras que el sistema de drenaje sub-superficial es deficiente por lo que afecta la estabilidad de las obras.

El uso del suelo predominante es agrícola con un 67,42 %, seguido por el uso residencial con un 21,06 %; los usos comerciales aparecen en menor porcentaje 3,03%, de igual forma que el uso mixto con 2,94 %.

De acuerdo al estudio de coberturas del suelo, el área levantada se encuentra cubierta principalmente por pastos, 32,19%, los cuales se localizan en su mayoría entre el barrio Monserrate y en el área próxima a la vía Sevilla – La Uribe, y el 21,84% por cultivos de plátano y café. Se observa una alta tasa de cambio de cobertura del suelo sin un control

adecuado, lo que a futuro puede incrementar la inestabilidad del terreno y aumento de inundaciones en la parte baja o la escasez del recurso hídrico.

Acerca de las mediciones geofísicas y geotécnicas en el área de estudio se realizaron 11 líneas sísmicas para definir la profundidad de los estratos; de estas se utilizaron las líneas sísmicas LS3, LS8, LS9 y LS10 dentro del área de deslizamiento en el barrio Monserrate. A partir del análisis de las líneas sísmicas se determinaron 3 estratos de profundidades variables con velocidades de ondas planas entre 0 y 180 m/s para el primero, entre 180 m/s y 350 m/s para el segundo y velocidades mayores a 350 m/s para el tercero. En cuanto a las velocidades de corte, los estratos se caracterizan por velocidades entre 0 y 190 m/s para el primero, 190 m/s a 320 m/s para el segundo y mayores a 320 para el tercero.

Las profundidades de los 3 estratos fueron agrupadas a partir de las velocidades planas y de corte, obteniendo para el primero una profundidad promedio de 10 m, para el segundo una profundidad de 26 m y a una profundidad mayor a los 26 m se encuentra un estrato sano donde las velocidades de corte alcanzan hasta 1350 m/s.

Además, se realizaron 14 apiques con el fin de determinar las propiedades del suelo aflorante en el área de estudio. De los ensayos realizados a las muestras extraídas se obtuvieron materiales con bajas propiedades cohesivas y con pérdida del ángulo de fricción ante alteraciones del suelo producidas por el fenómeno de remoción en masa. La mayor parte del material aflorante en la zona se caracteriza por ser de fracción fina, arcillas de alta plasticidad.

El estudio de amenaza por remoción en masa se realizó considerando, por un lado, el análisis de estabilidad para 3 secciones definidas cubriendo el área del deslizamiento en el barrio Monserrate; por otro lado, la zonificación de amenaza en todo el área de estudio. En ambos casos, se consideraron 3 escenarios, el primero contempla la saturación total del terreno (condición actual); el segundo, un terreno parcialmente saturado adicionando un sismo con aceleración pico de 0,16 g y, para el último, el suelo se encuentra totalmente saturado con un sismo de igual aceleración (condición extrema).

En el análisis de estabilidad para los 3 escenarios se obtuvieron valores del factor de seguridad menores que 1,0. Se evidencia un gran espesor de la masa inestable (10 metros en promedio), motivo por el cual la solución de corrección y mitigación más adecuada corresponde a la implementación de pilotes que atraviesen la superficie de falla.

Mientras que, en la zonificación de amenaza, los escenarios evidencia una alta amenaza en la zona del deslizamiento; en el escenario más crítico (terreno saturado con sismo) para todo el área de estudio, el nivel de amenaza alta corresponde a 33,7%, medio al 7% y baja al 59%. Estos resultados indican que el área bajo estudio tiene fuertes condiciones de inestabilidad del terreno, caracterizado principalmente por las condiciones naturales del suelo, la pendiente de la ladera y el régimen de precipitación local que contribuye al

aceleramiento del fenómeno, así como las diferentes actividades humanas que crean sobrecarga y el mal manejo de las aguas servidas.

En el área de estudio se presentan niveles de afectación diferenciados, donde los más altos corresponden a aquellas áreas contiguas a la zona de deslizamiento activo cuyas características propias del fenómeno y las condiciones de vulnerabilidad estructural y corporal las convierten en sectores de alto riesgo por fenómenos de remoción en masa; los daños esperados en este sector son máximos, es decir, posible pérdida de vidas y destrucción o total de las viviendas.

Lo anterior indica la existencia de zonas que pueden considerarse poco propicias para la localización de asentamientos humanos, al igual que se encuentran viviendas y grupos humanos muy expuestos frente a la presencia de fenómenos de remoción en masa activos, lo cual constituye posibles escenarios de desastre.

Es importante anotar que las zonas de afectación moderada y baja no están excluidas del ejercicio responsable de desarrollar procesos de gestión del riesgo, por el contrario dichos sectores del municipio pueden ser escenarios de atención temporal ante la presencia de un desastre, lo cual conlleva una responsabilidad igual o mayor a la que poseen quienes viven en lugares de mayor afectación.

La utilización de los diferentes mapas de amenaza, vulnerabilidad y escenarios de afectación que se presentan como producto fundamental del estudio se constituyen en una valiosa herramienta para la construcción de nuevos espacios de planificación y sostenibilidad en el municipio de Sevilla. Los procesos de gestión que se adelanten a partir de los resultados obtenidos, deberán estar orientados a la planificación rigurosa de los espacios de vida de las poblaciones y a desarrollar procesos de mitigación en aquellas zonas que lo ameriten; sin embargo, esto no quiere decir que el trabajo se oriente desde la lógica exclusiva de la administración o de las autoridades, en el proceso debe quedar inmersa la población en tanto pueda empoderarse para transformar el entorno a la luz de la gestión local del riesgo.

La gran cantidad de información recopilada sobre los elementos que pueden ser afectados por deslizamientos y los posibles daños provocados, así como su análisis y modelación sistemática, han sido los factores más importantes que han permitido el desarrollo pleno de la metodología planteada para la elaboración de los distintos escenarios de afectación con un sentido cuantitativo y cualitativo; sin embargo, y en cualquier caso, la estimación de las futuras consecuencias directas de los deslizamientos (destrucción de elementos materiales o pérdidas de vidas) presenta una serie de incertidumbres, las cuales se incrementan para el caso de las pérdidas indirectas (todas aquellas que se producen sobre actividades económicas, etc.), que en este estudio no se han tomado en cuenta, lo que requiere de una información y análisis adicional, pues las pérdidas derivadas de la interrupción en las actividades diarias no se restringen al área afectada por el evento, sino que pueden tener efectos a escala municipal.

Un aspecto de suma importancia que se presenta como aporte a los procesos de gestión local del riesgo, corresponde a la zonificación de escenarios de afectación diurno y nocturno, ello debe tenerse en cuenta para su incorporación en los planes, debido a que las afectaciones son diferentes en función de la cantidad de población que se encuentra en las viviendas y que las pérdidas calculables en este aspecto difieren de manera significativa.

## **10 RECOMENDACIONES**

### ***Escenarios de afectación***

La importancia de conocer los escenarios de afectación o riesgo de un fenómeno en particular constituye uno de los mecanismos y herramientas de planificación más importantes de la Administración y los tomadores de decisiones, puesto que así se podría mitigar los efectos de la ocurrencia de un evento desastroso y evitar pérdidas humanas y materiales.

Con respecto a la evaluación de los elementos expuestos en el área de estudio se encontró que un número considerable de viviendas se encuentran en riesgo de afectación alta debido a su ubicación en una zona de amenaza alta y al mal estado estructural que presentan, que se caracterizan por la deficiencia de los materiales del que están construidas, los malos diseños en las cimentaciones, y a que su configuración no brindan la seguridad necesaria para resistir un evento de remoción en masa peligroso.

Los problemas por humedades son los más frecuentes en los predios analizados, lo cual afecta gravemente la integridad estructural de las viviendas al debilitar los elementos portantes. Se debe buscar la forma de crear barreras impermeables en el suelo y canalizaciones en los techos para evitar infiltraciones.

Posterior a las obras de estabilización de la ladera, las viviendas deberían cumplir con todos los requerimientos de la NSR-10 (Norma Sismoresistente -2010) una vez puedan ser rehabilitadas, y que todas estas actividades sean avaladas y supervisadas por un ingeniero civil o arquitecto.

La Institución Educativa “Liceo Mixto Sevilla” presenta fisuras y grietas en los muros en mampostería ubicados en los salones de la parte sur de las instalaciones, las cuales se deberían a sobreesfuerzos. Es por esto, que al tratarse de una estructura tipo III, de acuerdo con la definición de la norma NSR-10, se propone que se realice un análisis detallado de todo el complejo, revisando cálculos de diseño, planos constructivos y pruebas específicas.

Las manzanas que presentan mayor grado de posible afectación son las 267, 266, 264, 258, 385 y la 260. Estas manzanas deben ser priorizadas dentro de los programas de reubicación de viviendas debido a las condiciones estructurales de las mismas y a las características



físicas del terreno sobre el que se asientan; involucra, además, no solo el cambio en el uso del suelo sino el monitoreo permanente de las autoridades para controlar la ocupación de nuevos asentamientos.

Se debe restringir la construcción de nuevas viviendas que se están llevando a cabo de manera ilegal en algunos predios correspondientes a la manzana 378 esto con el fin de evitar que el impacto generado sobre el terreno continúe agravando las condiciones del mismo y se puedan prever eventos de movimientos en masa.

Lo anterior no significa que el control y monitoreo deba realizarse única y exclusivamente en las áreas de afectación alta, ya que los efectos de los movimientos en masa pueden extenderse a otras zonas de afectación media y baja en las cuales se deben considerar algunas restricciones en la densificación de viviendas y aparición de nuevas construcciones, número de pisos, obras para el adecuación y manejo de aguas. Estas recomendaciones deben aplicarse directamente en la totalidad de las manzanas del barrio Monserrate y en el barrio Cafetero en las manzanas 258 y 268, respectivamente.

En cuanto al manejo de aguas servidas en la zona, se debe introducir un sistema de acueducto y alcantarillado adecuado de manera que éstas sean canalizadas y eviten los procesos de erosión de la ladera que se están presentando actualmente, si estos continúan progresivamente puede acelerar las condiciones de inestabilidad y provocar procesos de remoción en masa que tornen peligrosos para la población.

Debido a las condiciones de inestabilidad que actualmente presenta la ladera, se recomienda que se evite el tráfico de vehículos pesados sobre las vías ubicadas en la parte alta del deslizamiento, lo mismo que cualquier otro tipo de actividades que genere vibraciones o sobrepeso en el terreno.

### ***Obras Correctivas***

Considerando los resultados del análisis de estabilidad, se realizó el prediseño de obras de mitigación del riesgo que incluyen muros de contención cimentados sobre pilotes, una red de drenaje para controlar las aguas subsuperficiales y superficiales, terraceo y obras de bioingeniería. De esta forma, se hizo un nuevo análisis de estabilidad obteniéndose valores del factor de seguridad mayores que 1.5, que corresponden a una pendiente segura en cuanto a posibles deslizamientos.

Debido a que los pilotes estarán sometidos a elevados esfuerzos cortantes, se recomienda que sean pre-excavados y fundidos en el sitio, penetrando el Basalto inalterado, al menos 4.0 metros. Por ningún motivo los pilotes podrán quedar embebidos en esta capa de basalto fracturado. El suelo sobre la cual van a quedar embebidos los pilotes, se caracteriza por su alta resistencia en condición natural; sin embargo, durante su exposición al medio ambiente sufre una pérdida importante de resistencia. Esto implica que no es recomendable dejar este suelo expuesto al ambiente durante largos periodos de tiempo, es decir, una vez realizada la perforación del pilote se deberá proceder a la fundida del mismo.

En general, si las paredes de la excavación son estables, no se recomienda el uso de bentonita, debido a que se debe restringir a sectores donde la alteración y fracturamiento del material no permitan la estabilidad de la excavación.

Es importante destacar que el material se encuentra en unas condiciones precarias de estabilidad, por lo que se recomienda que la construcción de los pilotes se haga con la mínima cantidad de agua, ya que grandes inyecciones de este fluido podrán generar problemas de inestabilidad hacia la parte inferior del talud. Este hecho se va a manifestar por un incremento de los flujos de agua que actualmente se desplazan por la ladera. Debido a lo anterior, la excavación del pilote se deberá realizar en seco y con balde rotatorio.

Dado que el material es muy permeable, es propenso a la infiltración de agua superficial, lo cual podrá generar problemas de inestabilidad para el material comprendido entre el muro en Cantiliver (pilotes de 17 metros) y el muro en gaviones ubicado en la parte inferior. Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda la construcción de filtros temporales, para mantener estable la plataforma donde quedará ubicada la piloteadora.

Una vez construidos los pilotes se debe proceder a la construcción de la viga de amarre, la cual se deberá realizar en el menor tiempo posible, debido a que los pilotes están diseñados para trabajar en grupo. La demora en esta actividad puede generar que durante una lluvia fuerte un pilote se vea sometido a cargas excesivas produciéndose el cabeceo del mismo. En general, una vez construidos las hileras de cuatro pilotes, se deberá proceder a construir la zarpa.

El sistema de drenajes y subdrenajes es fundamental para el adecuado manejo tanto de las aguas superficiales como subterráneas. Debido a que estas obras se pueden colmatar fácilmente con la disposición de basuras por parte de los moradores del sector, se hace necesario realizar un mantenimiento periódico de las mismas.

Los geomantos son necesarios para eliminar eventuales procesos erosivos que afecten la estabilidad de los taludes. Adicionalmente, estos deberán proteger las semillas propuestas de especies nativas. Debido a los fuertes periodos de sequía que afectan periódicamente a la vía, es necesario realizar un riego permanente de los taludes, con el fin de evitar la resequedad de las plántulas. Es importante recordar que el talud es necesario protegerlo de la erosión eólica y pluvial, es por esto que el talud deberá permanecer protegido con especies nativas de la región.

Remover todo el material de relleno de escombros y basuras detectados durante la fase de reconformación de los taludes. Esto es de suma importancia, ya que este material se puede convertir en una superficie potencial de debilidad, y por tanto eventuales deslizamientos se podrán presentar a través de ellos.

En el evento de utilizar bentonita se recomienda aprovecharla para impermeabilizar los canales temporales que se están construyendo actualmente. En el evento de sobrar este

material, se puede utilizar para la protección de los taludes finales que se vayan obteniendo durante el terraceo.

Las obras diseñadas en el presente informe deben construirse en un tiempo de 6 meses. Pasado este tiempo es necesario hacer una revisión de la totalidad de los diseños y las nuevas condiciones de inestabilidad de la ladera. Esta actualización dependerá básicamente de los cambios altimétricos y planimétricos que haya sufrido el terreno hasta ese momento debido a la actividad del deslizamiento.

Para garantizar el adecuado comportamiento de las obras que se proponen, estas deben construirse simultáneamente en su totalidad, debido a que estas actúan de manera integral. El hecho de dejar estructuras a medias, incompletas o no construidas, podrá afectar la estabilidad general de la ladera y las obras propuestas en el presente estudio.

Cabe mencionar, que en la medida que se tarde el inicio de las obras, los costos tendrán que ser actualizados de acuerdo al Decreto No. 0533 del 20 de junio de 2011 de la Gobernación del Valle del Cauca, que establece el Listado de Precios Unitarios Oficiales de referencia para la contratación de obras de infraestructura en la modalidad de menor cuantía del Departamento del Valle del Cauca, o en su defecto el Decreto que establezcan para el mismo.

## **AGRADECIMIENTOS**

La Universidad del Valle, específicamente el Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano, expresa su agradecimiento a todas las entidades y personas que en una u otra forma aportaron en la ejecución y desarrollo del proyecto, logrando con ello, el estricto cumplimiento de los objetivos propuestos.

A la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC por la confianza depositada en la Universidad del Valle, representada en el Observatorio Sismológico al asignarle la ejecución del estudio y el apoyo que todas sus dependencias en todo momento prestaron.

De manera particular a los funcionarios de la Alcaldía Municipal del municipio, a CENICAFE por su colaboración al facilitarnos información de sus estaciones hidrológicas, a los líderes comunitarios de los Barrios Monserrate y Cafetero por su acompañamiento permanente y la hospitalidad que nos prestaron durante los trabajos de campo y son buena disponibilidad en las reuniones de socialización.

A los directivos y funcionarios de la Universidad del Valle que en el cumplimiento de su labor hicieron posible los tramites administrativo internos necesarios para el desarrollo del proyecto.