

Santiago de Cali,  
Diciembre de 2011

## RESUMEN EJECUTIVO

# 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

## **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 EJECTUTIVO**

**BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO  
MUNICIPIO DE SEVILLA**

**Santiago de Cali, Diciembre de 2011**

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>2.1. GENERAL</b>	<b>4</b>
<b>2.2. ESPECÍFICOS</b>	<b>4</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>5</b>
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>6</b>
<b>4.1. INFORMES</b>	<b>6</b>
<b>4.2. MAPA DE ESCENARIO DE AFECTACIÓN</b>	<b>6</b>
<b>4.3. ANEXOS</b>	<b>8</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>8</b>
<b>6. RECOMENDACIONES</b>	<b>12</b>
<b>6.1. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN</b>	<b>12</b>
<b>6.2. OBRAS CORRECTIVAS</b>	<b>13</b>
<b>7. GRUPO DE TRABAJO</b>	<b>15</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>17</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las amenazas y riesgos debe establecerse como el punto de partida hacia la intervención en los municipios del Valle del Cauca; sin embargo, la falta de soporte para proyectar el ordenamiento territorial ha generado que hoy en día exista, en términos cualitativos y cuantitativos, un alto número de viviendas 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 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.

## **2. OBJETIVOS**

### **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.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

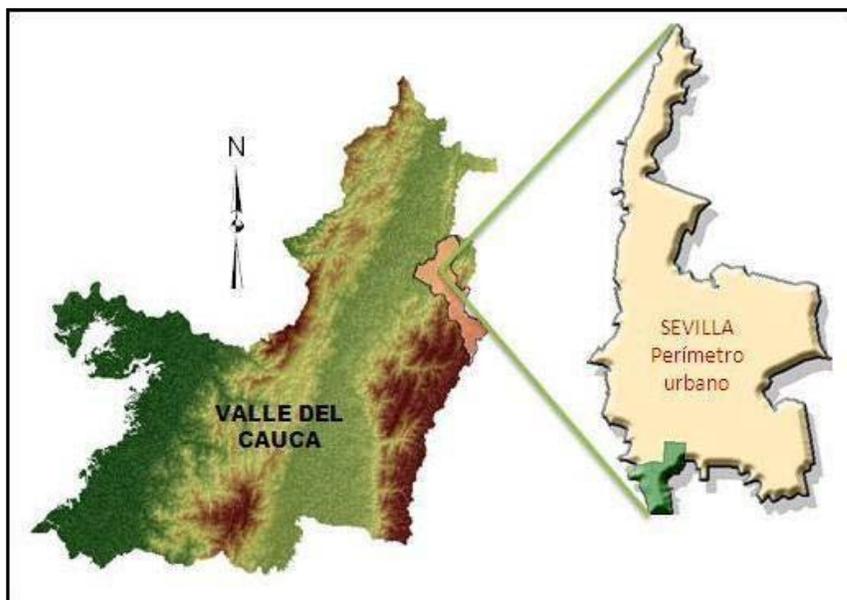
- Recolectar y clasificar la información existente en el Municipio para la realización del estudio de evaluación de la amenaza por movimientos en masa.
- Realizar el levantamiento cartográfico detallado de la zona de afectación por movimientos en masa dentro de la zona de estudio.
- Preparar la información 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.

### 3. ÁREA DE ESTUDIO

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.

El Municipio 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 cual cuenta una trama octogonal desarrollada sobre una topografía quebrada en su mayor extensión, que por su localización en la cordillera es considerado uno de los municipios con balcones incomparables hacia el Valle del Cauca y Quindío, a 1.612 m.s.n.m.

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.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. INFORMES**

Los diferentes estudios y actividades realizadas en el desarrollo del presente proyecto se encuentran consignados en los siguientes informes finales.

- **Volumen 1. Resumen Ejecutivo**

Contiene información precisa sobre los objetivos y alcances del proyecto, en este se listan de manera esquemática los principales volúmenes de los informes correspondientes a los estudios realizados.

- **Volumen 2. Resumen General**

Presenta una descripción de los estudios realizados incorporando los elementos centrales que componen cada una de las actividades correspondientes a la ejecución del proyecto en el Municipio y el listado del personal participante y los grupos que por ejes temáticos se conformaron.

- **Volumen 3. Informe Final**

Este informe contiene inicialmente la descripción y caracterización de la zona de estudio, incluyendo además todo lo relacionado con las actividades y resultados de los estudios temáticos correspondientes a Historicidad, Topografía, Sistemas de Información Geográfica y Cartografía, Geología, Hidrología.

Seguido a este se presentan los estudios de Amenaza por remoción en masa, el cual incluye los capítulos de Geotecnia y Geofísica, el Análisis de Estabilidad y Zonificación de la Amenaza; además, se incluye un capítulo correspondiente al Diseño de obras correctivas en la zona del deslizamiento en el barrio Monserrate, municipio de Sevilla.

Por último, se presenta el estudio de la evaluación de la vulnerabilidad de elementos (corporales y estructurales) expuestos al fenómeno de remoción en masa y la evaluación de los posibles escenarios de afectación o riesgo en la zona de estudio.

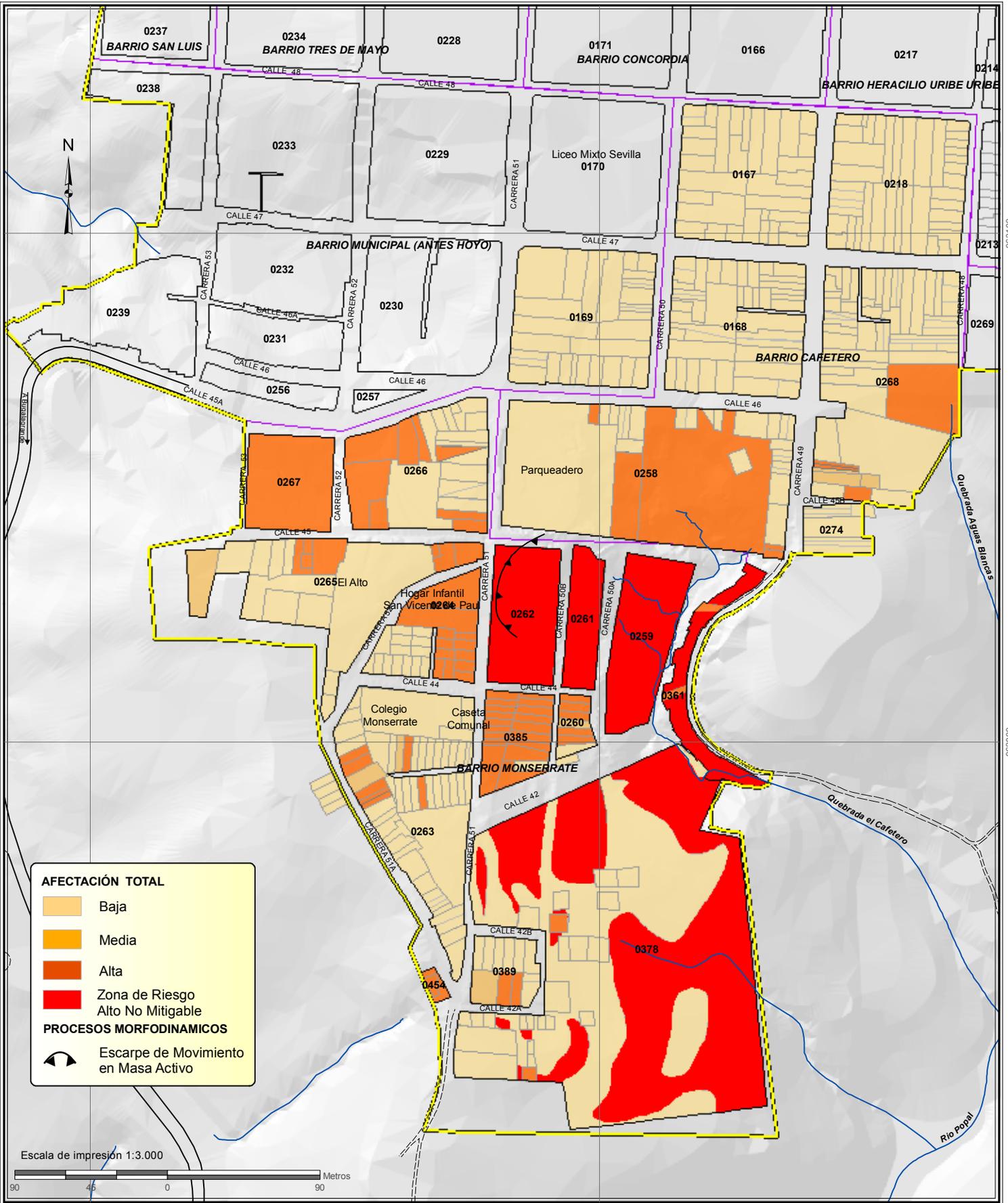
- **Volumen 4. Presenta los anexos del Informe final, los cuales se listan en el numeral 4.3.**

- **Volumen 5. Mapas y Planos**

Contienen la representación de los diferentes escenarios espaciales (básicos y temáticos) correspondientes a los estudios realizados en el municipio, tales como: Mapas base, amenazas, vulnerabilidad, escenarios de afectación, entre otros.

### **4.2. MAPA DE ESCENARIO DE AFECTACIÓN**

Como uno de los resultados principales obtenidos del desarrollo de los estudios, se presenta el mapa de escenarios de afectación por remoción en masa correspondientes al área de estudio (Mapa 1).



**AFECTACIÓN TOTAL**

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

**PROCESOS MORFODINAMICOS**

- Escarpe de Movimiento en Masa Activo

Escala de impresión 1:3.000

90 45 0 90 Metros

**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 2012  
 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**  
**AFECTACIÓN GLOBAL POR REMOCIÓN EN MASA**  
**BARRIOS MONSERRATE Y CAFETERO**

### **4.3. ANEXOS**

- Anexo 1. Certificación del IGAC sobre punto de control del vértice MAGNA GPS-V-T-32 y Np 40-TW-3 para control vertical
- Anexo 2. Fichas técnicas de los equipos utilizados.
- Anexo 3. Fichas de los puntos de coordenadas del levantamiento de secciones batimétricas.
- Anexo 4. Propuesta de Estructuración de la Base de Datos Geográfica.
- Anexo 5. Metadatos Mínimos de la Información Geográfica
- Anexo 6. Informe de visita de campo: Censo y Caracterización de Elementos Corporales.
- Anexo 7. Evaluación Técnica del Estado Estructural de las Viviendas.
- Anexo 8. Anexos en Medio Magnético: Información de estaciones pluviométricas,

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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 sísmica 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.

## **6. RECOMENDACIONES**

### **6.1. 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.

## **6.2. 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 terraseo.

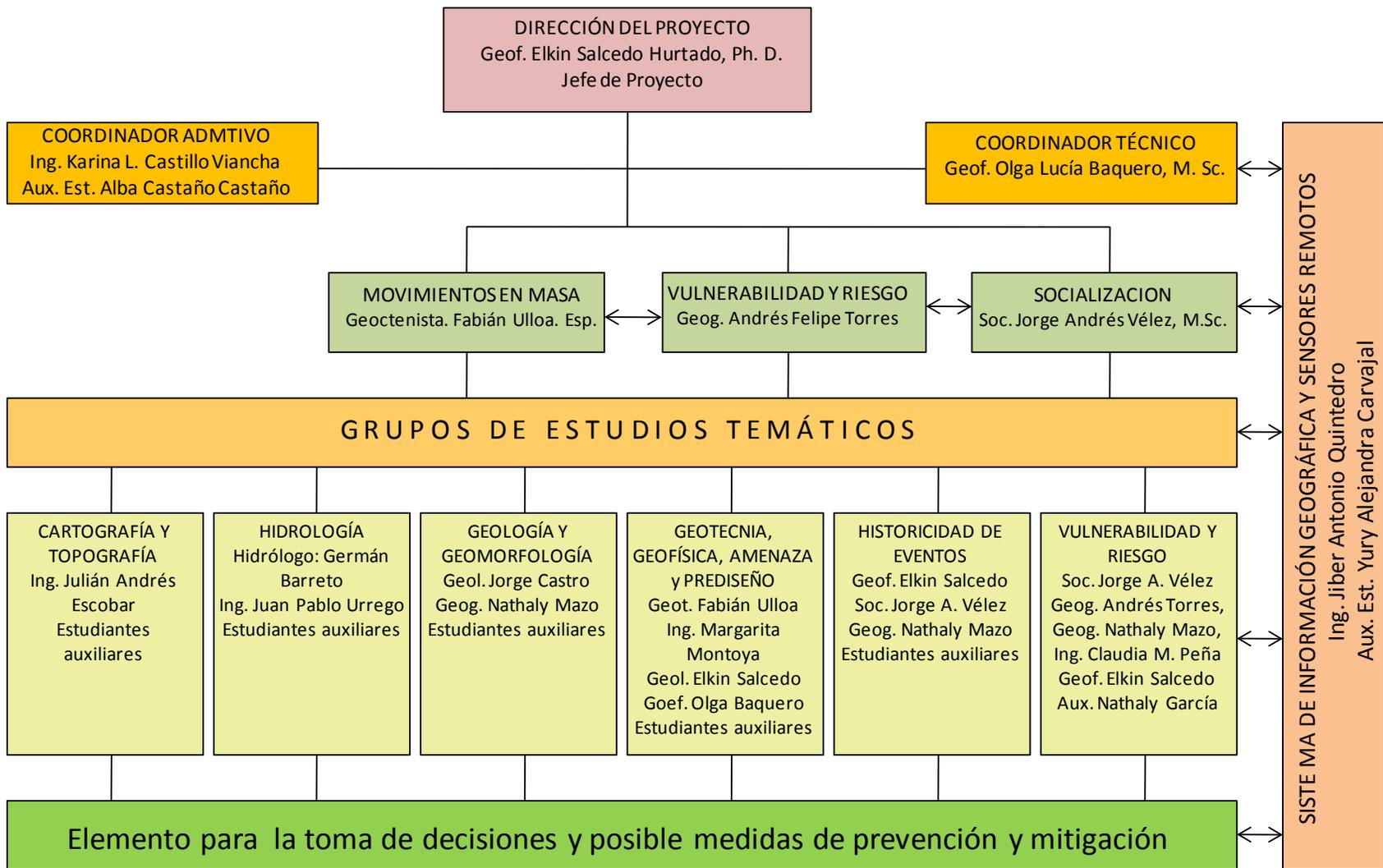
Las obras diseñadas en el presente informe deben construirse en un tiempo de 6 meses. Pasado este tiempo es necesario hacer una revisión de la totalidad de los diseños y las nuevas condiciones de inestabilidad de la ladera. Esta actualización dependerá básicamente de los cambios altimétricos y planimétricos 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.

## **7. GRUPO DE TRABAJO**

En la realización del presente proyecto, participaron funcionarios del Observatorio Sismológico del Suroccidente perteneciente a la Universidad del Valle, complementado con estudiantes y egresados de la Universidad, así como otros profesionales externos que fueron contratados para el desarrollo de algunas actividades específicas. Todos los profesionales y auxiliares participantes fueron agrupados por áreas temáticas según sus especialidades (como se muestra en la Figura 3), lo cual fue fundamental para la organización y desarrollo del proyecto.



**Figura 2.** Esquema de organización del personal profesional y auxiliar en áreas o grupos temáticos por la ejecución del proyecto.

## **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.