



**EVALUACIÓN DEL RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN EL  
SECTOR SUR OCCIDENTE DE LA COMUNA 18 DE SANTIAGO DE CALI**

**EMERITA MARÍA RUBIO SIMANCA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA  
SANTIAGO DE CALI  
2015**



**EVALUACIÓN DEL RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN EL  
SECTOR SUR OCCIDENTE DE LA COMUNA 18 DE SANTIAGO DE CALI**

**EMERITA MARÍA RUBIO SIMANCA  
CÓDIGO 200934830**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFA**

**Director:  
Elkin de Jesús Salcedo Hurtado  
Doctor en Física y Matemáticas  
Director del Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente  
Colombiano, OSSO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA  
SANTIAGO DE CALI**

**2015**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Santiago de Cali, \_\_\_\_\_ de 2015

## DEDICATORIA

A tu infinita comprensión,  
paciencia y amor, por tu bondad y  
apoyo incondicional para que  
pudiera alcanzar uno de mis más  
preciados sueños, este logro es de  
los dos porque sé que diste lo  
mejor de ti para fortalecerme en  
esos momentos de desesperanza.  
Gracias por hacer parte de mi  
vida y ayudarme a ser mejor  
persona, amado esposo, Luis  
Arley Cerón<sup>2</sup>.

A mis padres y hermanos por ser  
el pilar de mi vida.

A mi hermana Merly por ser mi  
ejemplo de lucha y constancia.

## AGRADECIMIENTOS

Al profesor Elkin de Jesús Salcedo Hurtado. Director del Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano, OSSO por darme la oportunidad de contar con su valiosa colaboración en este proceso.

A la comunidad Nasa, especialmente a Juan Carlos Chindicué, Por su disponibilidad y acompañamiento en el trabajo de campo.

A todas las personas que contribuyeron de una u otra forma para la realización del proyecto.

A mi esposo y toda mi familia, mil gracias por su invaluable apoyo emocional.

## CONTENIDO

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN</b>                                                             | <b>14</b> |
| <b>0. INTRODUCCIÓN</b>                                                     | <b>17</b> |
| <b>1. ANTECEDENTES</b>                                                     | <b>18</b> |
| <b>1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b>                                        | <b>22</b> |
| <b>1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>                                          | <b>23</b> |
| 1.2.1 General                                                              | 23        |
| 1.2.2 Específicos                                                          | 23        |
| <b>1.3 JUSTIFICACIÓN</b>                                                   | <b>24</b> |
| <b>1.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO</b>                                         | <b>25</b> |
| 1.4.1 Recopilación de la información.                                      | 26        |
| 1.4.2 Caracterización del área de estudio.                                 | 26        |
| 1.4.3 Identificación y caracterización de la susceptibilidad y la amenaza. | 27        |
| 1.4.4 Evaluación y análisis de la vulnerabilidad.                          | 29        |
| 1.4.5 Evaluación del riesgo.                                               | 29        |
| <b>2. MARCO TEORICO</b>                                                    | <b>30</b> |
| <b>2.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (PRM)</b>                              | <b>30</b> |
| 2.1.1 Clasificación de los procesos de remoción en masa.                   | 30        |
| 2.1.1.1 Caídas                                                             | 32        |
| 2.1.1.2 Deslizamientos                                                     | 32        |
| 2.1.1.3 Volcamientos                                                       | 33        |
| 2.1.1.4 Flujos                                                             | 33        |
| 2.1.1.5 Extensión lateral                                                  | 33        |
| <b>2.2 SUSCEPTIBILIDAD A LOS PRM</b>                                       | <b>34</b> |
| <b>2.3 AMENAZA</b>                                                         | <b>34</b> |
| <b>2.4 VULNERABILIDAD</b>                                                  | <b>35</b> |
| 2.4.1 Vulnerabilidad de los asentamientos irregulares.                     | 36        |
| <b>2.5 RIESGO ESPECÍFICO</b>                                               | <b>36</b> |
| 2.5.1 Riesgo.                                                              | 36        |
| 2.5.2 Riesgo aceptable.                                                    | 37        |
| 2.5.3 Mitigación del riesgo.                                               | 38        |
| 2.5.4 Prevención.                                                          | 38        |
| <b>2.6 ASENTAMIENTOS HUMANOS</b>                                           | <b>39</b> |
| 2.6.1 Asentamientos humanos regulares.                                     | 39        |
| 2.6.2 Asentamientos humanos irregulares.                                   | 40        |
| <b>2.7 EROSIÓN</b>                                                         | <b>40</b> |
| 2.7.1 Erosión natural y progresiva.                                        | 40        |

|            |                                                                         |           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.7.2      | Erosión en cárcavas.                                                    | 41        |
| <b>3.</b>  | <b>DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL SECTOR DE ESTUDIO</b>                     | <b>42</b> |
| <b>3.1</b> | <b>DIVISIÓN POLÍTICA DE LA COMUNA 18</b>                                | <b>42</b> |
| <b>3.2</b> | <b>LOCALIZACIÓN Y LÍMITE DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>                      | <b>42</b> |
| <b>3.3</b> | <b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>                                          | <b>44</b> |
| 3.3.1      | Geología superficial.                                                   | 44        |
| 3.3.2      | Litología.                                                              | 44        |
| 3.3.3      | Geología estructural.                                                   | 45        |
| 3.3.4      | Hidrología.                                                             | 45        |
| 3.3.5      | Pendientes.                                                             | 47        |
| 3.3.6      | Geomorfología.                                                          | 47        |
| 3.3.6.1    | Procesos erosivos.                                                      | 48        |
| 3.3.7      | Coberturas del terreno.                                                 | 48        |
| <b>3.4</b> | <b>CARACTERÍSTICAS SOCIALES DE LA COMUNA 18 Y DEL SECTOR DE ESTUDIO</b> | <b>49</b> |
| 3.4.1      | Historia y proceso de ocupación.                                        | 49        |
| 3.4.2      | Población de la comuna 18.                                              | 51        |
| 3.4.3      | Viviendas de la comuna 18.                                              | 51        |
| 3.4.4      | Salud en la comuna 18.                                                  | 51        |
| 3.4.5      | Educación a nivel de comuna.                                            | 52        |
| 3.4.6      | Aspectos económicos de la comuna 18.                                    | 52        |
| 3.4.7      | Sistema vial de la comuna.                                              | 53        |
| 3.4.7.1    | Vías de acceso al sector.                                               | 53        |
| 3.4.8      | Población del sector de estudio.                                        | 54        |
| 3.4.9      | Vivienda en el Sector Sur Occidente.                                    | 55        |
| 3.4.9.1    | Servicios básicos del Sector Sur Occidente.                             | 56        |
| 3.4.10     | Actividades económicas Sector Sur Occidente.                            | 57        |
| 3.4.11     | Hidrología Sector Sur Occidente.                                        | 57        |
| <b>4.</b>  | <b>EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y LA AMENAZA POR PRM</b>            | <b>58</b> |
| <b>4.1</b> | <b>EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A PRM</b>                           | <b>58</b> |
| 4.1.1      | Metodología para el cálculo de la susceptibilidad a PRM.                | 58        |
| 4.1.2      | Análisis y resultados de las capas temáticas.                           | 60        |
| 4.1.2.1    | Historicidad e inventario de eventos morfodinámicos.                    | 60        |
| 4.1.2.2    | Unidades geológicas.                                                    | 64        |
| 4.1.2.3    | Procesos morfodinámicos.                                                | 67        |
| 4.1.2.4    | Pendientes.                                                             | 75        |
| 4.1.2.5    | Coberturas del terreno.                                                 | 77        |
| 4.1.3      | Susceptibilidad total.                                                  | 80        |
| 4.1.3.1    | Muy Alta.                                                               | 80        |
| 4.1.3.2    | Alta.                                                                   | 80        |
| 4.1.3.3    | Media.                                                                  | 80        |
| 4.1.3.4    | Baja.                                                                   | 80        |

|            |                                                                                |            |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.2</b> | <b>EVALUACIÓN DE LA AMENAZA A PRM</b>                                          | <b>84</b>  |
| 4.2.1      | Evaluación del factor detonante por precipitación.                             | 84         |
| 4.2.1.1    | Precipitación en el sector de estudio.                                         | 85         |
| 4.2.1.2    | Precipitaciones como factor detonante de los PRM.                              | 90         |
| 4.2.1.3    | Calculo de la amenaza por detonante precipitaciones.                           | 93         |
| 4.2.1.4    | Resultados de la amenaza por precipitación.                                    | 94         |
| 4.2.2      | Evaluación del factor detonante por sismicidad.                                | 97         |
| 4.2.2.1    | Metodología para el cálculo de la amenaza sísmica.                             | 97         |
| 4.2.2.2    | Sismicidad histórica con efectos para Santiago de Cali.                        | 99         |
| 4.2.2.3    | Análisis de la vulnerabilidad sísmica.                                         | 99         |
| 4.2.2.4    | Probabilidad de ocurrencia de un sismo de intensidad VIII en Santiago de Cali. | 106        |
| 4.2.2.5    | Resultados de la amenaza por sismicidad.                                       | 107        |
| 4.2.3      | Amenaza total por factores detonantes.                                         | 110        |
| 4.2.3.1    | Análisis y resultados de la amenaza total.                                     | 114        |
| <b>5.</b>  | <b>EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO A PRM</b>                          | <b>116</b> |
| <b>5.1</b> | <b>EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A PRM</b>                                   | <b>116</b> |
| 5.1.1      | Indicadores de la vulnerabilidad.                                              | 118        |
| 5.1.1.1    | Valoración de los indicadores seleccionados.                                   | 118        |
| 5.1.2      | Resultados evaluación de la vulnerabilidad global.                             | 124        |
| 5.1.2.1    | Vulnerabilidad física.                                                         | 124        |
| 5.1.2.2    | Vulnerabilidad social.                                                         | 129        |
| 5.1.2.3    | Vulnerabilidad económica.                                                      | 135        |
| 5.1.2.4    | Vulnerabilidad cultural.                                                       | 139        |
| 5.1.2.5    | Vulnerabilidad educativa.                                                      | 144        |
| 5.1.3      | Vulnerabilidad global.                                                         | 147        |
| 5.1.3.1    | Análisis de la vulnerabilidad global.                                          | 148        |
| <b>5.2</b> | <b>EVALUACIÓN DEL RIESGO A PRM</b>                                             | <b>152</b> |
| <b>5.3</b> | <b>POSIBLES MEDIDAS DE MITIGACIÓN</b>                                          | <b>155</b> |
| <b>6.</b>  | <b>CONCLUSIONES</b>                                                            | <b>157</b> |
| <b>7.</b>  | <b>RECOMENDACIONES</b>                                                         | <b>162</b> |
| <b>8.</b>  | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                                            | <b>164</b> |
| <b>9.</b>  | <b>ANEXOS</b>                                                                  | <b>172</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1. Diagrama metodológico para la evaluación del riesgo por PRM.....              | 25  |
| Figura 2. Tipos de remoción en masa .....                                               | 32  |
| Figura 3. Mapa de localización del Sector Sur Occidente de la comuna 18. ..             | 43  |
| Figura 4. Mapa Hidrológico del Sector Sur Occidente de la comuna 18.....                | 46  |
| Figura 5. Metodología para evaluar la susceptibilidad a los PRM.....                    | 59  |
| Figura 6. Cárcavas .....                                                                | 63  |
| Figura 7. Poblamiento del área de las cárcavas.....                                     | 64  |
| Figura 8. Mapa Unidades Geológicas Sector Sur Occidente comuna 18 .....                 | 66  |
| Figura 9. Identificación de procesos morfodinámicos, (A), (B) y (C) .....               | 69  |
| Figura 10. Mapa de Procesos Morfodinámicos .....                                        | 74  |
| Figura 11. Mapa de pendientes .....                                                     | 76  |
| Figura 12. Mapa de Coberturas del Sector Sur Occidente Comuna 18.....                   | 79  |
| Figura 13. Mapa de áreas susceptibles a sufrir PRM.....                                 | 83  |
| Figura 14. Diagrama metodológico para evaluación de la amenaza .....                    | 84  |
| Figura 15. Ubicación de estaciones meteorológicas con respecto al área de estudio ..... | 86  |
| Figura 16. Precipitación anual estación Cañaveralejo PG .....                           | 87  |
| Figura 17. Precipitación anual estación Cañaveralejo Edificio.....                      | 88  |
| Figura 18. Precipitación anual estación La Fonda.....                                   | 89  |
| Figura 19. Precipitación anual estación Meléndez.....                                   | 89  |
| Figura 20. Mapa de precipitación Sector Sur Occidente comuna 18 .....                   | 96  |
| Figura 21. Fallas geológicas que atraviesan a Santiago de Cali. ....                    | 97  |
| Figura 22. Zonificación de respuesta sísmica de Santiago de Cali.....                   | 100 |
| Figura 23. Microzonificación Sísmica comuna 18.....                                     | 109 |
| Figura 24. Mapa de amenaza a PRM por factor detonante 1 (precipitación) ..              | 112 |
| Figura 25. Mapa de amenaza por factor detonante 2 (sismicidad) .....                    | 113 |
| Figura 26. Mapa, Amenaza total por remoción en masa.....                                | 115 |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Figura 27. Diagrama metodológico para evaluar la vulnerabilidad ante PRM .....</b> | <b>117</b> |
| <b>Figura 28. Material utilizado en la construcción de las viviendas .....</b>        | <b>125</b> |
| <b>Figura 29. Año en el que se construyó su vivienda .....</b>                        | <b>126</b> |
| <b>Figura 30. Mapa Vulnerabilidad Física .....</b>                                    | <b>128</b> |
| <b>Figura 31. Edad del jefe del hogar .....</b>                                       | <b>130</b> |
| <b>Figura 32. Número de niños menores de 10 años por vivienda .....</b>               | <b>132</b> |
| <b>Figura 33. Mapa Vulnerabilidad Social .....</b>                                    | <b>134</b> |
| <b>Figura 34. Ingresos familiares (S.M.M.L.V) .....</b>                               | <b>136</b> |
| <b>Figura 35. Mapa Vulnerabilidad Económica .....</b>                                 | <b>138</b> |
| <b>Figura 36. Nivel de escolaridad alcanzado por el jefe del hogar .....</b>          | <b>146</b> |
| <b>Figura 37. Mapa Vulnerabilidad Global .....</b>                                    | <b>151</b> |
| <b>Figura 38. Mapa de riesgo por fenómenos de remoción en masa .....</b>              | <b>154</b> |

## LISTA DE CUADROS

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Cuadro 1. Clasificación de remociones en masa (Varnes, 1978).....</b>        | <b>31</b>  |
| <b>Cuadro 2. Barrios, urbanizaciones y sectores de la comuna 18. ....</b>       | <b>42</b>  |
| <b>Cuadro 3. Cantidad de habitantes por barrios comuna 18. ....</b>             | <b>51</b>  |
| <b>Cuadro 4. Estratificación socio-económica Comuna 18. ....</b>                | <b>53</b>  |
| <b>Cuadro 5. Características de las capas temáticas. ....</b>                   | <b>59</b>  |
| <b>Cuadro 6. Grados de susceptibilidad.....</b>                                 | <b>60</b>  |
| <b>Cuadro 7. Historicidad de procesos de remoción en masa .....</b>             | <b>61</b>  |
| <b>Cuadro 8. Unidades geológicas.....</b>                                       | <b>65</b>  |
| <b>Cuadro 9. Tipos de Procesos Morfodinámicos .....</b>                         | <b>73</b>  |
| <b>Cuadro 10. Pendientes. ....</b>                                              | <b>75</b>  |
| <b>Cuadro 11. Coberturas del Terreno. ....</b>                                  | <b>78</b>  |
| <b>Cuadro 12. Precipitación máxima esperada .....</b>                           | <b>92</b>  |
| <b>Cuadro 13. Periodos de retorno de precipitaciones extremas .....</b>         | <b>93</b>  |
| <b>Cuadro 14. Ponderación factor precipitaciones.....</b>                       | <b>93</b>  |
| <b>Cuadro 15. Sismicidad histórica de Cali.....</b>                             | <b>99</b>  |
| <b>Cuadro 16. Parámetros de los espectros de diseño .....</b>                   | <b>101</b> |
| <b>Cuadro 17. Grados de intensidad de un sismo .....</b>                        | <b>102</b> |
| <b>Cuadro 18. Grado de amenaza causado por un sismo de intensidad VIII ....</b> | <b>107</b> |
| <b>Cuadro 19. Grados amenaza por factor detonante 1 y 2 .....</b>               | <b>110</b> |
| <b>Cuadro 20. Grado de amenaza total: Cruce de los factores detonante 1 y 2</b> | <b>114</b> |
| <b>Cuadro 21. Materiales usados en la construcción de la vivienda .....</b>     | <b>119</b> |
| <b>Cuadro 22. Año en el que fue construida su vivienda .....</b>                | <b>119</b> |
| <b>Cuadro 23. Número de pisos de la vivienda .....</b>                          | <b>119</b> |
| <b>Cuadro 24. Edad del jefe del hogar .....</b>                                 | <b>119</b> |
| <b>Cuadro 25. Estado de salud del jefe del hogar.....</b>                       | <b>120</b> |
| <b>Cuadro 26. Número de habitantes por vivienda.....</b>                        | <b>120</b> |
| <b>Cuadro 27. Número de niños menores de 10 años por vivienda .....</b>         | <b>120</b> |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Cuadro 28. Porcentajes de desempleados (jefe del hogar).....</b>                          | <b>120</b> |
| <b>Cuadro 29. Ingreso familiar (S.M.M.L.V) .....</b>                                         | <b>121</b> |
| <b>Cuadro 30. Acceso a servicios públicos (Agua y energía).....</b>                          | <b>121</b> |
| <b>Cuadro 31. Acceso a servicios públicos (alcantarillado) .....</b>                         | <b>121</b> |
| <b>Cuadro 32. Nivel de escolaridad alcanzado por el jefe del hogar.....</b>                  | <b>121</b> |
| <b>Cuadro 33. Porcentaje de la población que ha recibido capacitación sobre los PRM.....</b> | <b>122</b> |
| <b>Cuadro 34. Participación de la mujer en actividades de mitigación PRM ....</b>            | <b>122</b> |
| <b>Cuadro 35. Toma de medidas preventivas contra los PRM.....</b>                            | <b>122</b> |
| <b>Cuadro 36. Participa o gestiona actividades preventivas de los PRM.....</b>               | <b>122</b> |
| <b>Cuadro 37. Ponderación de los niveles de vulnerabilidad .....</b>                         | <b>123</b> |
| <b>Cuadro 38. Resumen de la vulnerabilidad física.....</b>                                   | <b>127</b> |
| <b>Cuadro 39. Resumen vulnerabilidad social .....</b>                                        | <b>133</b> |
| <b>Cuadro 40. Resumen vulnerabilidad económica .....</b>                                     | <b>137</b> |
| <b>Cuadro 41. Resumen vulnerabilidad cultural .....</b>                                      | <b>144</b> |
| <b>Cuadro 42. Resumen de la vulnerabilidad educativa .....</b>                               | <b>147</b> |
| <b>Cuadro 43. Resultados generales vulnerabilidad global.....</b>                            | <b>148</b> |
| <b>Cuadro 44. Método de evaluación del riesgo a fenómenos de remoción en masa.....</b>       | <b>152</b> |

## LISTA DE FOTOS

|                                                                                                        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Foto 1. Callejones de acceso a las viviendas del sector de estudio .....</b>                        | <b>54</b>  |
| <b>Foto 2. Viviendas características del sector.....</b>                                               | <b>55</b>  |
| <b>Foto 3. Viviendas soportadas sobre pilotes .....</b>                                                | <b>56</b>  |
| <b>Foto 4. Quebrada El Entamborado, receptora de las aguas servidas.....</b>                           | <b>57</b>  |
| <b>Foto 5. Vivienda que presenta riesgo de derrumbarse.....</b>                                        | <b>62</b>  |
| <b>Foto 6. Deslizamientos antiguos (círculo rojo) aprovechados para construcción de viviendas.....</b> | <b>68</b>  |
| <b>Foto 7. Viviendas sobre la antigua mina de carbón.....</b>                                          | <b>72</b>  |
| <b>Foto 8. Erosión por la pendiente .....</b>                                                          | <b>73</b>  |
| <b>Foto 9. Niños de la comunidad indígena Nasa.....</b>                                                | <b>131</b> |
| <b>Foto 10. Mujeres realizando tareas en igualdad con el hombre. ....</b>                              | <b>140</b> |
| <b>Foto 11. Participación de la mujer en el trabajo físico.....</b>                                    | <b>140</b> |
| <b>Foto 12. Construcción de mitigación sector SA1 .....</b>                                            | <b>142</b> |
| <b>Foto 13. Obras de mitigación sector SA1 .....</b>                                                   | <b>143</b> |

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación consiste en evaluar en riesgo por remoción en masa en el sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali. La comuna 18 se ubicada al sur de la ciudad en zona de ladera correspondiente a las estribaciones de la Cordillera Occidental. Esta ladera es propensa a sufrir procesos de remoción en masa (en adelante se denominara PRM) en las temporadas de lluvias. Esta condición no ha sido impedimento para que población de escasos recursos que ha llegado a la ciudad en busca de oportunidades después de salir de sus lugares de origen por motivos de seguridad o desplazamiento forzado construyan sus viviendas allí. La insolvencia económica les impide poder adquirir una vivienda en un sector regular, motivo por el cual decidieron apropiarse de forma irregular de pequeños lotes pertenecientes a un área baldía localizada en la parte alta de la comuna 18, en límites con el corregimiento de La Buitrera, esta población no cuenta con la atención necesaria por parte de los entes gubernamentales por lo que se encuentra aislada.

Este estudio está orientado por la relación sociedad–naturaleza puesto que trata de los asentamientos humanos y su localización en zonas de ladera, el estudio es una herramienta útil en la comprensión de las dinámicas sociales y naturales que se puedan presentar.

Tiene como objetivo principal evaluar el potencial del riesgo a PRM, a través de la caracterización de la susceptibilidad, evaluación de la amenaza y la determinación del grado de vulnerabilidad global, a partir de la evaluación individual de cinco tipos de vulnerabilidad, (social, física, económica, educativa y cultural), que presenta la población y finalmente evaluar el riesgo por PRM. Para llevar a cabo las diferentes evaluaciones fue necesario el uso de sistema de información geográfica (SIG), el cual permite por medio de datos y capas cartográficas bases obtener capas

temáticas y superposición de información de diferente índole obteniendo cartografía muy útil y completa para este tipo de estudios.

Para realizar la evaluación de la susceptibilidad a remoción en masa se tuvieron en cuenta cuatro variables, la geología, los procesos geomorfológicos, las pendientes y las coberturas del terreno, obteniendo como resultado la cartografía donde se espacializan las áreas susceptibles. La amenaza fue evaluada teniendo en cuenta el resultado de la susceptibilidad y la cartografía resultante de las evaluaciones por factores detonantes precipitación y sismicidad. La evaluación de la vulnerabilidad global, se obtuvo mediante la superposición de las cartografías resultantes de la evaluación de cada tipo de vulnerabilidad. La evaluación del riesgo es el resultado de la superposición de los resultados de la amenaza total y de la vulnerabilidad global.

La información general utilizada para elaborar el estudio procede de diferentes fuentes, como: revisión bibliográfica, encuestas, observaciones en campo y entrevistas. El estudio se realizó sobre una población de 540 viviendas, divididas en 9 sectores (SA1 – SA9), se calculó una muestra representativa de la población utilizando la fórmula de universos infinitos, lo que indicó que se debían encuestar 52 viviendas, con el fin de obtener mayor confiabilidad en la información se aplicaron 54 encuestas correspondientes al 10% del total de la población.

Los resultados de la evaluación de la amenaza global, es muy alta debido a la presencia de áreas susceptibles, las fuertes precipitaciones y la sismicidad que presenta la ciudad, en cuanto al resultado de las encuestas están arrojaron que la población presenta un grado de vulnerabilidad global alta, destacándose la vulnerabilidad social y educativa. En lo relacionado con el riesgo sus niveles para la población se encuentran entre muy alto y alto.

Los resultados de esta investigación pretenden que la población asentada en este lugar conozca y tenga una herramienta que pueda utilizar para informarse acerca de las formas de prevención y mitigación del riesgo por PRM.

Los mapas productos de este estudio como lo son el de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo en los que se evidencia el grado de afectación del sector constituye una herramienta importante para la planificación de obras de mitigación. Se obtuvo información más detallada y confiable del sector gracias a que se evaluaron cinco tipos de vulnerabilidad, esto permite que se profundice en la problemática que afecta a la población.

La sectorización realizada para efectos del estudio indica que el sector SA1, es en donde se presta mayor atención a las medidas de mitigación, la población está dispuesta a trabajar en equipo con las personas pertenecientes a su etnia para un bien común, personas de ambos sexos realizan trabajos físicos y sociales, esta comunidad puede influenciar positivamente en lo relacionado con el trabajo en equipo al resto de la población.

La falta de oportunidades laborales, educativas y sociales hacen que la comunidad se encuentre marginada, sin oportunidades de resolver sus necesidades, lo que los llevara a sumirse más en la pobreza.

**Palabras clave:** Procesos de emoción en masa, susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad, riesgo, ladera, asentamientos irregulares, sismicidad, precipitación, SIG.

## **0. INTRODUCCIÓN**

El sector Sur Occidente de la comuna 18 se encuentra ubicado en la zona de ladera correspondiente a la cordillera Occidental, las condiciones climáticas y físicas del terreno le representan una serie de actividades que hacen parte de la dinámica terrestre, principalmente los eventos naturales como los procesos de remoción en masa. Debido al crecimiento urbano y a las limitaciones que presenta el municipio para su expansión en lo relacionado con la vivienda, hace que la población que no posee los recursos económicos suficientes para adquirir una vivienda se vean en la obligación de buscar un lugar que satisfaga su necesidad y que sea a bajo costo.

La frecuencia e intensidad de las precipitaciones y los sismos en el municipio, dan como resultado la intensificación de la erosión de los suelos y los procesos de remoción en masa. Los procesos sociales son otros de los factores primordiales en la generación de la vulnerabilidad que presente la población y la infraestructura, estas variables en conjunto forman el escenario perfecto para afectar la calidad de vida y el desarrollo de la población.

Este trabajo evalúa los factores conformadores de la susceptibilidad, la amenaza y la vulnerabilidad, con el fin de identificar los niveles de riesgo por remoción en masa presentes en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali. Se consideraron dos factores detonantes de la amenaza como la precipitación y la sismicidad, puesto que ambos factores presentan unas dinámicas activas y muy marcadas en el sector, se realizó el análisis de la vulnerabilidad física, social, económica, educativa y cultural, buscando con esto el mayor acercamiento posible a las condiciones que hacen que a la población le sea más difícil soportar los efectos de un desastre.

## **1. ANTECEDENTES**

Santiago de Cali es muy propensa a amenazas naturales, como las remociones en masa que generan un alto riesgo para las poblaciones asentadas en las áreas correspondientes a la ladera de la comuna 18 y otros sectores. Los riesgos son potenciados por los usos inadecuados que se les da a los suelos, los cuales en su mayoría se encuentran socavados, degradados y erosionados, también por la carencia de una planificación y ordenamiento territorial adecuado a las condiciones físicas y sociales.

Cali es la tercera ciudad más grande de Colombia y su economía es activa lo que ha inducido un crecimiento vertiginoso de la urbanización. La demanda de suelos aptos para la construcción de vivienda ha ocasionado que los precios se eleven, al punto que solo la población con alto nivel adquisitivo puede adquirir un lote o una vivienda en las áreas planificadas para ese fin. Las personas de bajos recursos propias de la ciudad y las que debido a procesos socio-económicos se han desplazado hasta ella, al no contar con los recursos económicos necesarios han optado por ocupar áreas baldías que no son aptas para urbanizar, ya que son terrenos de alto riesgo, aun así han proliferado las construcciones.

“En la ladera de la comuna 18 el proceso de urbanización se ha caracterizado por su desorganización, causando significativas agresiones ambientales, como la tala de grandes zonas boscosas y los asentamientos humanos en zonas de alto riesgo”<sup>1</sup>.

Dichos asentamientos se caracterizan por ser construcciones de esterilla, cartón, sacos y techos de zinc. Debido a su ubicación en zonas de altas pendientes están soportadas sobre pilotes de guadua con el fin de darles un nivel adecuado a los pisos que al igual que las paredes también son de esterilla y/o en tierra. El hecho

---

<sup>1</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL (DAGMA). Agenda Ambiental Comuna 18. Santiago de Cali: La entidad, 2009. 21 p.

de que las viviendas sean edificadas sin seguir lineamientos de construcción ha generado que en los periodos de lluvias se presenten procesos de remoción en masa, ante una posible situación de desastre la población puede salir muy afectada.

“Las viviendas no tienen manejo de aguas lluvias ni residuales y esto, sumado a la deforestación, hace la tierra más inestable. Para poder realizar alguna obra antes se debe hacer un estudio de los nacimientos de agua por subsuelo, pero por obvias razones los invasores no lo hacen.

Esta semana, los deslizamientos de tierra reportados en esta comuna alcanzaron a afectar a 80 personas y un puñado de familias abandonaron sus casas ante el compromiso de la Administración de otorgarles subsidios de arrendamiento hasta que el mal tiempo de tregua.

Aunque la situación no pasó a mayores, el concejal Milton Castrillón precisa que el crecimiento de los asentamientos, sin el control de las autoridades locales, es una “bomba de tiempo” y no hay que esperar una tragedia para tomar medidas de reubicación y titulación”<sup>2</sup>.

Debido a que las remociones en masa son muy comunes, diferentes entes de la sociedad mundial como, las administraciones públicas, sectores educativos, sectores privados, entre otros se han dado a la tarea de realizar estudios sobre riesgos naturales, con el fin de comprender, dar respuesta y posibles medidas de mitigación a la continua manifestación de este tipo de eventos que con el tiempo se hacen más fuertes y dañinos para la población, este proceso ha dado como resultado estudios como los siguientes:

Castro; Moreno y Vargas 1998<sup>3</sup>, integran la cartografía temática con el análisis del grado de influencia que ejerce cada una de las variables físicas contempladas en el estudio y los factores detonantes de la amenaza, en este caso sismicidad y precipitación. Como resultado obtuvieron mapas de los factores detonantes, los periodos de retorno y la zonificación de la amenaza.

---

<sup>2</sup> MARTÍNEZ PEÑA, Carolina. El “Nuevo Siloe”, se desmorona. Diario El País. 2008. En línea.

<sup>3</sup> CASTRO M., Eduardo; MORENO E., Manuel y VARGAS C., German. Zonificación de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa en las Cuencas de los Ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca. 1998.

Solange Páez 2009<sup>4</sup>, caracteriza dos formas de deterioro del suelo en la subcuenca del río Las Juntas, en la sierra de Ambato provincia de Catamarca (Ecuador). El deterioro del suelo se debe principalmente a la degradación física, la remoción en masa es la más aguda, causando erosión en cárcavas y un poco menos aguda, pero sí de tipo crónico la erosión por terraceta o pata de vaca.

Aristizabal; Martínez y Vélez. 2010<sup>5</sup>. Presentan una revisión del estudio de movimientos en masa detonados por la lluvia, pretendiendo dar una mirada detallada a los procesos de remoción en masa detonados por las lluvias en Colombia.

Ingeominas 2001<sup>6</sup>. Formula una guía metodológica para la evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Santiago de Cali. Los fenómenos de remoción en masa resultan, en muchos casos, de magnitudes catastróficas que hacen necesario su estudio, tendiente principalmente a la prevención de los daños y pérdidas probables, dentro de una política global de reducción de los riesgos naturales.

Hasta el momento la evaluación del riesgo asociado a los FRM es limitada, pues se considera de manera primordial la caracterización del fenómeno per se, pero con un tratamiento más superficial de aspectos tan importantes como los efectos económicos, sociales y ambientales resultantes en caso de la materialización del fenómeno. Los costos el tiempo y el nivel de conocimiento que requiere el estudio de los FRM han llevado a una deficiencia palpable de mecanismos e instrumentos que permitan realizar un análisis de carácter integral desde el fenómenos de inestabilidad propiamente dicho, hasta las consecuencias potenciales para la sociedad; esto deberá servir finalmente como herramienta importante para la planificación territorial y la prevención de desastres, sobre todo en lo referente a los asentamientos humanos<sup>7</sup>

---

<sup>4</sup> SOLANGE PÁEZ, María. Formación de micro-relieves y procesos de remoción en masa en la sub-cuenca del río Las Juntas Ambato, Catamarca. Año 5.2009.

<sup>5</sup> ARISTIZÁBAL, Edier; MARTÍNEZ, Hernán y VÉLEZ, Jaime. Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. 2010.

<sup>6</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS) Y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. 2001. 166 p.

<sup>7</sup> Ibid., p 57.

La necesidad de prevenir y/o mitigar los daños y pérdidas probables, dentro de una política global de reducción de los riesgos naturales, obliga a que se realicen investigaciones cada vez más avanzadas y confiables en busca de un desarrollo integral. Frente a esto, el DAGMA, 2012<sup>8</sup>, El Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, presentó ante el banco de proyectos del Consejo Municipal para la Gestión de Riesgo de Desastres del Municipio, antiguo Comité Local de Prevención y Atención de Desastres (Clopad), una serie de iniciativas con base en la Ley 1523 del 24 de mayo de 2012 y en el Plan de Desarrollo de Santiago de Cali. Se busca prevenir y mitigar posibles riesgos generados por eventos naturales.

---

<sup>8</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL. El Dagma formula proyecto para prevenir riesgos y desastres naturales en Cali. En línea.

## **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

A raíz de las catástrofes causadas por fenómenos naturales, el tema de las amenazas ha venido cobrando mayor interés en el país gracias a la preocupación internacional por reducir el riesgo. En Santiago de Cali se han venido presentando dinámicas sociales tales como los asentamientos subnormales en zonas de ladera que no son aptas para la construcción de viviendas, lo que genera que los niveles de susceptibilidad del terreno y la vulnerabilidad de la población ante estos fenómenos se incrementen.

La población asentada en el área de estudio es proveniente principalmente de los departamentos del Cauca y Valle del Cauca. La mayoría de estas personas después de ser desplazadas de sus tierras por causa del conflicto armado, llegaron al lugar en busca de terrenos para construir sus viviendas. La opción del momento fue construir en los lotes baldíos que en años anteriores eran utilizados para la extracción de carbón, roca y tierra para rellenos, actividades que causaron el deterioro acelerado del suelo. Las condiciones físicas del terreno como su geología, geomorfología y las altas pendientes sumadas con las condiciones de vulnerabilidad de la población, como el tipo de material de construcción de las viviendas, el desempleo, la carencia educativa, la falta de servicios de salud y servicios básicos configuran un escenario de riesgo.

La problemática que se presenta en el Sector Sur Occidente de la Comuna 18 radica en el desconocimiento por parte de la población allí asentada, de las zonas susceptibles, los grados de amenaza y de vulnerabilidad al cual estarían expuestos ante la ocurrencia de un PRM que pueda generar un escenario de riesgo.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 General**

Evaluar el riesgo ante fenómenos de remoción en masa en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali.

### **1.2.2 Específicos**

1.2.2.1        Caracterizar la amenaza por remoción en masa en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali, usando información sismológica y de precipitación como factores detonantes.

1.2.2.2        Determinar el grado de vulnerabilidad de la población ubicada en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali.

1.2.2.3        Evaluar el riesgo por remoción en masa para la población ubicada en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Esta investigación busca evaluar el riesgo por remoción en masa en el sector Sur Occidente De la Comuna 18 de Santiago de Cali. este sector se localiza en una zona de alta pendiente que en conjunto con el tipo de material utilizado en la construcción de las viviendas, la cimentación, el nivel socioeconómico, entre otras variables, incrementan los niveles de vulnerabilidad, lo que conlleva a un escenario de riesgo y la creación de posibles situaciones de desastres.

Según Barón, Otálora y Loaiza<sup>9</sup>. La zona de ladera de la comuna 18 cuenta con una población estimada en 10.100 habitantes aproximadamente de estratos I y II. La mayoría de grupos étnicos que predominan son comunidades mestizas, indígenas y afrodescendientes, provenientes del Pacífico colombiano generalmente de los departamentos de Nariño y Cauca, que se han asentado en zonas de alto riesgo. Sus viviendas no cuentan con titulación de predios y son construidas en materiales temporales (plástico, guadua, madera y cartón), carentes de ventilación y condiciones adecuadas.

Con esta investigación se busca concientizar a la población sobre la amenaza que se presenta, y sobre cuáles son las condiciones y variables que los hace vulnerables, también cuales serían algunas medidas que pueden tomar para disminuirlas y ubicar los sectores más susceptibles a sufrir remociones y también cuales son los sectores menos susceptibles para de esta manera crear una serie de estrategias que les permita disminuir sus niveles de riesgo preservando sus vidas y sus bienes. Este trabajo servirá de guía para la población en riesgo, se busca mostrarles los tipos de vulnerabilidad que presentan y cuáles son las más críticas,

---

<sup>9</sup> BARÓN PORRAS, Luis F, OTÁLORA SEVILLA, Lady M y LOAIZA QUINTERO, Luis A. Otra Ciudad Detrás de la Ladera. Estudio Sobre un Programa Socioeconómico de la Fundación Carvajal en Cali. En: Estudios Gerenciales. Julio – Septiembre, 2011. p 63-82.

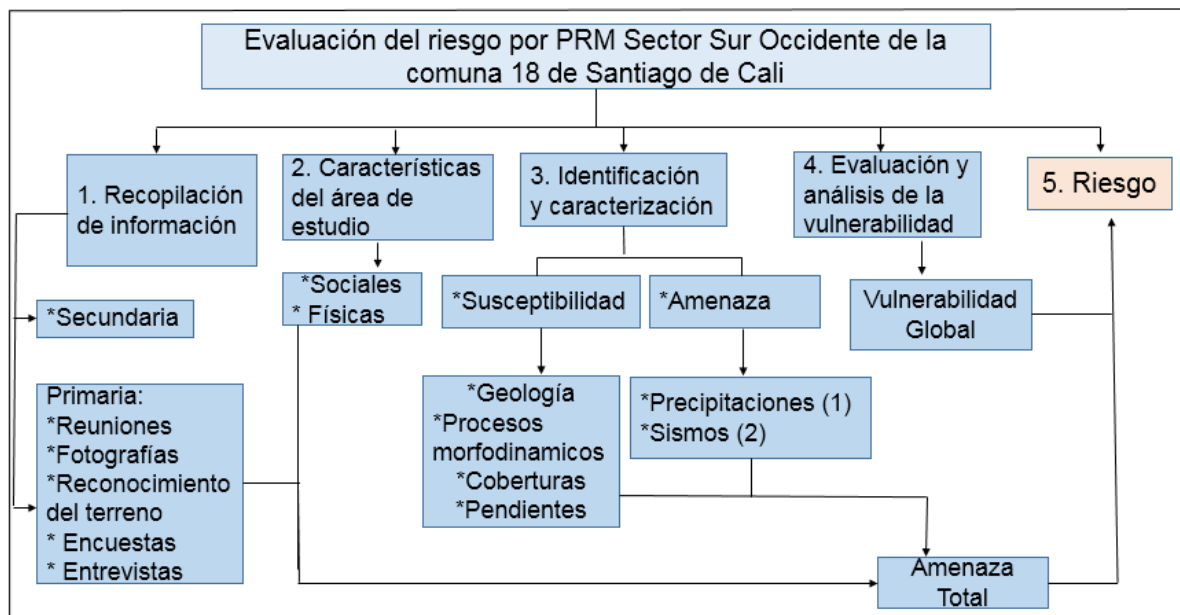
para que de esta manera sean más conscientes del riesgo que los aqueja y tengan la posibilidad de realizar obras y actividades que los lleve a disminuir los daños sobre ellos y sus pertenencias.

#### 1.4 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Las etapas relacionadas en este estudio se presentan en la (Figura 1).

Se utiliza el método descriptivo–explicativo, que busca por el lado descriptivo, evaluar los diversos aspectos que llevan a que se produzcan los fenómenos de remoción en masa, pero también permite medir la vulnerabilidad. En cuanto a lo explicativo pretende responder el porqué de la ocurrencia de los fenómenos y cuáles son las situaciones más propensas para que se presenten.

**Figura 1. Diagrama metodológico para la evaluación del riesgo por PRM**



Fuente: Elaboración propia

La metodología empleada en este trabajo se basa principalmente en lo expuesto por la guía metodológica formulada por Ingeominas y la CVC, 2001<sup>10</sup>. La utilización de dicha guía da paso a las siguientes etapas:

**1.4.1 Recopilación de la información.** Se realizaron consultas a fuentes secundarias y trabajo de campo que constó de reuniones con dos organizaciones indígenas que habitan el lugar. En la reunión con los cabildantes se seleccionaron los representantes de la organización como los guías y posibles informantes. Esta actividad permitió el acercamiento con los miembros de la comunidad que se mostraron dispuestos a brindar información, las experiencias y la información suministrada por la comunidad fueron de gran utilidad para obtener resultados rápidos y confiables que permitan obtener el inventario de los procesos de remoción en masa que han ocurrido en el sector, se consultaron documentos con el fin de corroborar la información obtenida sobre los PRM pero no fue posible encontrar registros formales (periódicos, revistas, estudios).

**1.4.2 Caracterización del área de estudio.** Abarca la caracterización del área de estudio la cual está conformada por varios sectores (Altos de Buena Vista, Cumaná, La Torre, Tamayo y La Mina de los Chorros) ubicado al norte del barrio Alto Nápoles. Se especifican los aspectos más importantes como, su localización, las características físicas (geomorfología, unidades geológicas, pendiente y coberturas). Estas variables se usan para el reconocimiento y el análisis de la susceptibilidad. Otras de las características primordiales del estudio son las sociales, económicas, educativas y culturales, éstas permitirán analizar los niveles de vulnerabilidad y comprender cuál es su lugar en una evaluación del riesgo.

---

<sup>10</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS) Y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. 2001. 166 p.

**1.4.3 Identificación y caracterización de la susceptibilidad y la amenaza.** Para la caracterización y zonificación de la susceptibilidad se tienen en cuenta las condiciones que intervienen en la generación de los PRM, como los procesos morfodinámicos y características del suelo.

La zonificación de la susceptibilidad se obtiene a partir del procesamiento de las cuatro variables a continuación expuestas (Pendientes, procesos morfodinámicos, geología y coberturas del terreno). A cada variable se le asigna un peso que va de (0 a 100), esta calificación se asigna basada en el estudio Diagnostico de Amenazas Naturales en las Comunas 1 y 19. Realizado por el Departamento Administrativo Municipal de Santiago de Cali, 1996. La calificación depende del grado de influencia que aporta cada variable a la susceptibilidad.

Para realizar la evaluación de la susceptibilidad se asignan cuatro rangos de intensidad (Muy Alta, Alta, Media y Baja). Esta información es procesada mediante el SIG, arrojando cuatro capas temáticas correspondientes a cada variable, las cuales son sumadas dando como resultado un mapa que muestra cuales son los sectores del área de estudio susceptibles a sufrir PRM. La susceptibilidad se evaluó bajo la siguiente formula:

$$U + PM + P + C = S \quad [1]$$

Donde:

U - Unidades Geológicas,

PM - Procesos morfodinámicos,

P - Pendientes,

C - Coberturas,

S - Susceptibilidad.

La evaluación de la amenaza total se realiza mediante el cruce de la información correspondiente a la susceptibilidad y a los factores detonantes precipitación y sismicidad, este proceso se realiza utilizando la herramienta SIG, puesto que permite superponer las diferentes capas de información arrojando como resultados un mapa que muestra los diferentes grados de amenaza y su ubicación. Para la evaluación se asignan cuatro grados de amenaza (Muy Alta, Alta, Media y Baja), para dicha evaluación se plantea la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}Pr + S &= AF1 \\Si + S &= AF2 \\AF1 + AF2 &= A\end{aligned}\quad [2]$$

Donde:

S - Susceptibilidad,

Pr - Factor detonante precipitación

Si - Factor detonante sismicidad

AF<sub>1</sub> - Amenaza por factor detonante precipitación (1)

AF<sub>2</sub> - Amenaza por factor detonante sismos (2)

AT - Amenaza total

Para evaluar la amenaza a PRM por detonante precipitación se interpolan los datos correspondientes a cuatro estaciones meteorológicas que se encuentran próximas al área de estudio, se utilizara el método IDW.

**Método ponderación de distancia inversa (IDW).** Es un método matemático de interpolación que usa una función inversa de la distancia, parte del supuesto que las cosas que están más cerca son más parecidas, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar. Estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que

se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio<sup>11</sup>.

**1.4.4 Evaluación y análisis de la vulnerabilidad.** Para la evaluación se tomaron datos tanto de fuentes primarias como secundarias con el fin de obtener la información cuantitativa y cualitativa que permita realizar la evaluación.

Se propusieron cinco tipos de vulnerabilidad a saber: física, social, económica, educativa y cultural. Por cada tipo de vulnerabilidad se formularon indicadores que permitieran obtener su nivel de importancia ante la ocurrencia de procesos de remoción en masa. A dichos indicadores se les dio un peso que va de 0 a 3 donde 0 presenta menor y 3 mayor vulnerabilidad. Para la evaluación se asignan cuatro grados de intensidad, (Muy Alta, Alta, Media y Baja).

Cada tipo de vulnerabilidad se procesó y evaluó de forma individual. Obtenidos los resultados individuales se procedió a la superposición de las capas dando como resultado la cartografía de la vulnerabilidad global a los PRM.

**1.4.5 Evaluación del riesgo.** Para realizar la evaluación del riesgo por PRM, en el Sector Sur Occidente de la comuna 18, se superpusieron los resultados obtenidos de la evaluación de la amenaza total y la vulnerabilidad global utilizando SIG, ya que el programa permite el cruce de varias capas temáticas obteniendo como resultado mapas confiables y muy informativos. Los niveles de riesgo se toman como Muy alto, Alto, Medio y Bajo, se interpretaron y analizaron los resultados.

---

<sup>11</sup> BIBLIOTECA DE AYUDA ARCGIS. Arcgis Resource Center. Copyright © 1995-2012 Esri. ARCGIS.COM.

## 2. MARCO TEORICO

Los riesgos causados por procesos de remoción en masa son comunes en gran parte de la zona de ladera de Santiago de Cali. La población asentada en estas zonas es vulnerable ante estos fenómenos ya que no cuenta con las condiciones físicas y sociales necesarias para resistir los efectos de un desastre. Las remociones en masa son uno de los fenómenos más comunes y se pueden presentar en cualquier época del año siendo más severas en la temporada lluviosa. La intensidad de los detonantes, puede causar daños graves como destruir la infraestructura y causar pérdidas humanas

### 2.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (PRM)

Se puede entender por PRM, todo movimiento de masa de suelo que se da por acción de la gravedad, incluyendo los flujos a lo largo de los cauces cuando el material que cae se mezcla con el agua, como es el caso de las llamadas avenidas torrenciales. Son procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores<sup>12</sup>.

**2.1.1 Clasificación de los procesos de remoción en masa.** “Las remociones en masa han sido clasificadas de acuerdo al tipo de movimiento y al material involucrado”<sup>13</sup>. Se clasifican según el tipo de movimiento y el tipo de material involucrado en el PRM (Cuadro 1).

---

<sup>12</sup> RODRÍGUEZ SOLANO, Juan, *et al.* Zonificación del Peligro de Remoción en Masa en las Zonas Urbanas Según Método de Análisis Mora y Vahrson: Estudio de Caso. *En*: Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. Universidad de Pamplona. 2013. Vol. 4, no. 1, p 13-22.

<sup>13</sup> LARA C, Marisol. Metodología para la Evaluación y Zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Santiago de Chile: 2007. 212 p.

Las clasificaciones de los tipos de remociones en masa consideran diversos factores, como por ejemplo, los tipos de materiales, el mecanismo de ruptura, el grado de saturación que alcanza (Figura 2). Estos factores, junto con las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del entorno, condicionan la potencial generación de remociones en masa, así como las velocidades de desplazamiento y el volumen de material desplazado. Son frecuentes además, los procesos combinados, como por ejemplo deslizamientos que derivan en flujos<sup>14</sup>.

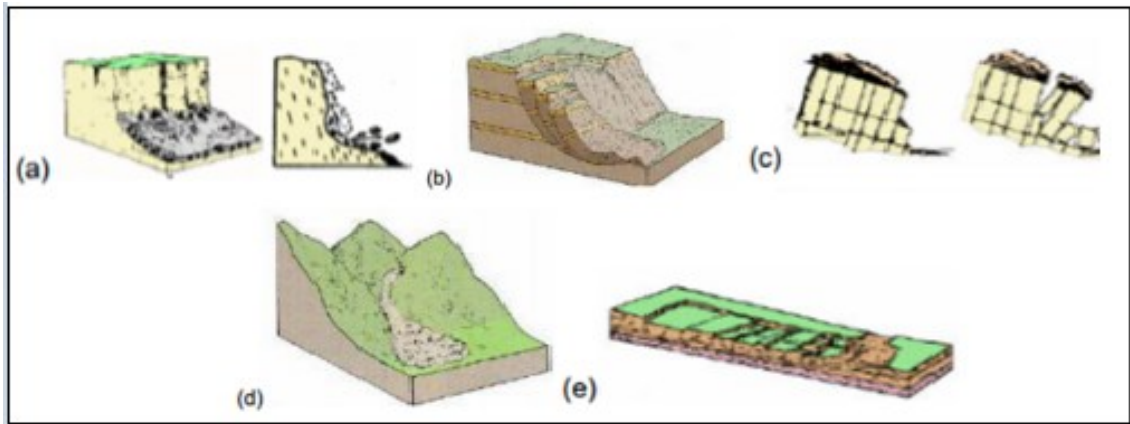
**Cuadro 1. Clasificación de remociones en masa (Varnes, 1978)**

| TIPO DE MOVIMIENTO    |              | TIPO DE MATERIAL                                          |                                                         |
|-----------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                       |              | ROCA                                                      | INGENIERIA DE SUELOS                                    |
|                       |              |                                                           | Predominante Grueso      Predominante Fino              |
| CAÍDAS                |              | Caída de roca                                             | Caída de escombros      Caída de tierra                 |
| BASCULAMIENTO         |              | Basculamiento de roca                                     | Basculamiento de escombros      Basculamiento de tierra |
| DESLIZAMIENTOS        | ROTACIONAL   | Deslizamiento de roca                                     | Deslizamiento de escombros      Deslizamiento de tierra |
|                       | TRASLACIONAL |                                                           |                                                         |
| EXTENSIONES LATERALES |              | Extensión de roca                                         | Extensión de escombros      Extensión de tierra         |
| FLUJOS                |              | Flujo de roca<br>(Fluencia profunda)                      | Flujo de escombros      Flujo de tierra                 |
|                       |              |                                                           | (Fluencia del suelo)                                    |
| COMPLEJOS             |              | Convinación de dos o mas tipos principales de movimientos |                                                         |

Fuente: VARNES, 1978

<sup>14</sup> SCOTT et al, 2001, citado por LARA C, Marisol y SEPÚLVEDA V, Sergio. GL62C Remociones en masa. Chile. 2008. 63 p.

**Figura 2. Tipos de remoción en masa** ((a) Caídas, (b) Deslizamientos, (c) Volcamientos, (d) Flujos, (e) Extensiones laterales).



Fuente: Lara y Sepulveda, 2008.

Varnes, 1978<sup>15</sup>. Plantea diferentes tipos de deslizamientos de tierra entre los cuales se encuentran los siguientes:

**2.1.1.1 Caídas:** son movimientos bruscos de masas de materiales geológicos, tales como rocas y cantos rodados, que se desprenden de los acantilados

**2.1.1.2 Deslizamientos:** hay dos tipos principales de deslizamientos, rotacionales y traslacional. El deslizamiento rotacional es un deslizamiento en el que la superficie de ruptura está curvada de forma cóncava hacia arriba y el movimiento de deslizamiento es aproximadamente de rotación alrededor de un eje que es paralelo a la superficie del terreno. Deslizamiento traslacional. Este tipo de deslizamiento, la masa de tierra se mueve a lo largo de la superficie con poca rotación o inclinación hacia atrás.

---

<sup>15</sup> VARNES, David.J., 1978: Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, Landslides: Analysis and Control. Special report 176. 1978. 234 p.p

**2.1.1.3 Volcamientos:** estos se distinguen por la rotación de una unidad o unidades sobre algún punto por la acción de la gravedad y las fuerzas que ejercen las unidades adyacentes o por los flujos y grietas.

**2.1.1.4 Flujos:** hay cinco categorías básicas de flujos, que se diferencian el uno del otro fundamentalmente por su forma:

- **Flujo de escombros:** movimiento rápido, combinación de tierra suelta, roca, materia orgánica, aire y agua.
- **Avalancha de escombros:** flujo extremadamente rápido
- **Flujo de tierra:** estos tienen una característica reloj de arena, el material pendiente se licua y se extiende hacia afuera el flujo es alargado y ocurre en materiales de grano fino o rocas portadoras de arcillas en laderas moderadas y bajo condiciones de saturación.
- **Flujo de lodo:** flujo de tierra que contiene material lo suficientemente húmedo para fluir rápidamente con 50% de arena, limos y partículas.
- **Fluencia:** el arrastramiento es imperceptiblemente lento, formado por suelo y roca. El movimiento es causado por un esfuerzo de corte suficiente para producir permanente deformación pero demasiado pequeño para producir cizallamiento.

**2.1.1.5 Extensión lateral:** estas ocurren por lo general en pendientes muy suaves o terreno plano, el movimiento es lateral, el terreno se licua, ocurre donde hay materiales como arenas y limos.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente se puede decir que en la zona de estudio los tipos más comunes PRM son: las caídas, estas se producen en el área del talud, los deslizamientos se presentan en el área de la montaña donde la pendiente es empinada, flujos de escombros y tierra en la parte noroccidental sector.

## **2.2 SUSCEPTIBILIDAD A LOS PRM**

La susceptibilidad a los PRM se toma como el grado de propensión de un terreno a desarrollar un fenómeno natural potencialmente dañino, definido a partir de la interacción de las propiedades intrínsecas caracterizadas bajo unidades de parámetro y unidades de terreno.

Es decir la susceptibilidad expresa que fácil o difícil es la ocurrencia de un evento en determinada área. La susceptibilidad posee gran importancia puesto que es el primer paso a tener en cuenta a la hora de realizar una evaluación de la amenaza, ya que ofrece la información necesaria para identificar las características que presenta el área para luego ser analizadas.

## **2.3 AMENAZA**

La amenaza se refiere a los fenómenos que tiene probabilidad de ocurrencia y que a su vez sea potencialmente dañino en un sitio específico y un tiempo determinado. Existen diferentes clases de amenaza según su origen. Las amenazas naturales están ligadas a las dinámicas de la tierra, pero también a los procesos socio-naturales, puesto que las personas son las que le dan una clasificación y son a su vez los que incrementan los niveles de daños.

Se entiende como amenaza el “peligro latente de que un evento físico de origen natural, causado o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdidas de vidas, lesiones o impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento y los recursos ambientales”<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES. (UNGRD). Guía para la Formulación de Proyectos de Intervención Correctiva: Gestión Reducción del Riesgo. Versión 1. 2014. 13 p.

## 2.4 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad se entiende como las características de una persona o grupo de personas desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural. Implica una combinación de factores que determinan el grado hasta el cual la vida y la subsistencia de alguien que queda en riesgo por un evento distinto e identificable de la naturaleza o de la sociedad. Por otro lado, la vulnerabilidad está íntimamente correlacionada con la posición socioeconómica (edad, sexo, raza, etc.), aunque sea un poco simplista, por lo general, el pobre sufre más con los desastres que el rico, si bien pobreza y vulnerabilidad no está uniforme e invariablemente correlacionadas en todos los casos. El punto clave es la importancia que le damos a las formas sociales para la explicación del desastre<sup>17</sup>.

Teniendo en cuenta lo anterior bajo una misma amenaza el pobre es más vulnerable que el rico puesto que las consecuencias en ambos lados de la sociedad son más catastróficos para unos que para los otros, es así que si ocurre un evento es posible que todas las pertenencias de ricos y pobres presentes en ese lugar se pierdan totalmente, pero el rico es posible que tenga seguro contra riesgos naturales u otro tipo, mientras que el pobre no tendrá la solvencia para adquirir uno, el rico es posible que tenga una finca u otra casa donde refugiarse o sus familiares y amigos les brindaran la ayuda necesaria para sobreponerse a la situación, mientras que los pobres no tienen ninguna de esas posibilidades.

En esta investigación se tomará la vulnerabilidad como la combinación de las características que presenta una población con respecto al grado de exposición que tenga a la amenaza, donde se encuentran ligadas sus condiciones económicas y físicas, se tendrán en cuenta diferentes vulnerabilidades como lo propone Wilches-Chaux (1989)<sup>18</sup> que sostiene que una sociedad puede verse enfrentada a diferentes tipos de vulnerabilidad.

---

<sup>17</sup> BLAICKIE, Piers, *et al.* Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). 1996. 290 p.

<sup>18</sup> WILCHES-CHAUX, Gustavo. Desastres, Ecologismo y Formación Profesional: Herramientas para la crisis. 1989. Servicio Nacional de Aprendizaje, Popayán. 274 p.

**2.4.1 Vulnerabilidad de los asentamientos irregulares.** La urbanización rápida parece ser uno de los factores clave en el crecimiento de la vulnerabilidad, en particular en familias de escasos recursos dentro de asentamientos informales. “Los riesgos en el proceso de urbanización dan como resultado una sobrepoblación, cuando los migrantes rurales pasan a las ciudades ya pobladas, donde el recién llegado tiene pocas alternativas y ocupa tierras inseguras. Los fenómenos naturales son solo una parte de los peligros que afrontan estas comunidades; ya que con frecuencia hay riesgos “normales” y de mayor impacto como, la mala nutrición provocando una salud deficiente y la inseguridad ciudadana”<sup>19</sup>

## **2.5 RIESGO ESPECÍFICO**

“El cálculo matemático de pérdidas (vidas, heridos, propiedad dañada y actividad económica interrumpida) durante un periodo de referencia en una región dada para una amenaza particular”<sup>20</sup>.

**2.5.1 Riesgo.** Es considerado como el “número de pérdida de vidas humanas esperado, personas heridas, daño a propiedades e interrupción de actividades económicas a causa de fenómenos naturales particulares y, por consiguiente, el producto del riesgo específico por el valor de los elementos en riesgo”<sup>21</sup>.

El riesgo es la interacción entre la amenaza y las condiciones que hacen a la población vulnerable, se le puede valorar dependiendo las características que posea la población y teniendo en cuenta la vulnerabilidad la cual posee un carácter más social, es decir que el riesgo es la probabilidad de daño que puede sufrir una

---

<sup>19</sup> FERNANDEZ TACHIQUIN, Ernesto. Asentamientos Irregulares Impactos y Alternativas. México. 2009. 76 p

<sup>20</sup> UNDRO, 1979, citado por INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN GEOCIENCIAS, MINERÍA Y QUÍMICA (INGEOMINAS) Y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía Metodológica. Cali: Las entidades, 2001. 166 p

<sup>21</sup> Ibid., p 18.

población por la ocurrencia de un evento en presencia de condiciones vulnerables, en donde la población es incapaz de soportar el impacto.

Al hablar de riesgo se está alertando sobre un hecho que tienen una alta probabilidad de ocurrencia, algo que no se sabe cuándo, cómo y cuál será su nivel de daño con exactitud, pero que gracias a los estudios de expertos y a su capacidad de visión pueden hacer aportes importantes para que ese riesgo sea conocido y que los posibles daños sobre las personas, los bienes y la infraestructura sean mitigados. Los riesgos se consideran en este caso más de origen social puesto que es el hombre el que los categoriza en alto, medio o bajo, para algunos los riesgos pueden ser altos mientras que para otros es bajo es decir que al realizar una evaluación de riesgo el resultado puede ser un nivel alto, pero para los que toman las decisiones esto no puede ser significativo para realizar una inversión económica.

**2.5.2 Riesgo aceptable.** “Grado de pérdidas materiales y humanas, percibidas por la comunidad o autoridades correspondientes, como tolerables en acciones destinadas a minimizar riesgos de desastres”<sup>22</sup>.

El riesgo aceptable es un concepto subjetivo, depende de cada persona, de su cultura, creencias, de su formación académica y hasta del puesto que ocupa en la sociedad o en el trabajo, para una persona que lo pierde todo incluso la vida de uno de sus seres queridos en el sitio de ocurrencia de un evento seguramente ella no consideraría esta calamidad como aceptable mientras que para los entes que están a cargo de prevenir o mitigar las catástrofes, esta situación puede catalogarse como aceptable puesto que solo cobra una vida humana y pocas pérdidas económicas.

---

<sup>22</sup> CENTRO REGIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE DESASTRES (CRID). Vocabulario Controlado Sobre Desastres. 2000. 104 p.

**2.5.3 Mitigación del riesgo.** Respecto a la mitigación del riesgo existen dos clases de medidas:

Estructurales y no estructurales. Ejemplo de las primeras, son las estructuras sismo-resistentes que reducen la vulnerabilidad de las viviendas a los sismos, los muros de contención que reducen la vulnerabilidad a los deslizamientos, los jarillones y presas que reducen la vulnerabilidad a las inundaciones, y los pararrayos que reducen la vulnerabilidad a las tormentas eléctricas. Las medidas estructurales son obras físicas más que pautas de comportamiento social o individual. Las medidas no estructurales de mitigación, por el contrario, se materializan en normas reguladoras de conductas. Ejemplo son los códigos y planes de uso del suelo, que determinan en dónde se puede construir y en dónde no, los códigos de construcción sismo-resistente que hacen obligatoria la adopción de medidas estructurales en las obras, la capacitación de profesionales y trabajadores para la aplicación de tecnologías adecuadas, la educación de la comunidad como medio para reducir la vulnerabilidad cultural y educativa<sup>23</sup>.

La mitigación se realiza cuando se reduce la vulnerabilidad, es decir que se reducen lo más que sea posible las incapacidades que presenta la población para absorber los impactos del riesgo, esto se hace cuando la población o sujeto expuesto al riesgo conoce su situación o al menos tiene nociones pero sobre todo si está dispuesto a colaborar para realizar dicha reducción junto con las otras partes implicadas.

**2.5.4 Prevención.** El tema de la prevención es subvalorado, no se le da la importancia que debería tener a la hora de hacer gestión del riesgo.

Esta tiene mucho que ver con las diversas formas culturales e ideológicas de la sociedad, pues éstas pueden determinar ciertas concepciones de los riesgos que tienen en frente. Según Mitchell, “en el pasado lejano las tormentas, deslizamientos de tierras, las sequías y otros riesgos naturales eran considerados como “actos de Dios”. En diversas fuentes coloniales mexicanas que tocan algún suceso de desastre natural invariablemente se encuentran los juicios religiosos que señalan la evolución del desastre directamente como una descarga de la ira divina frente a conductas malas, según la óptica del juicio; pero también las medidas adoptadas por las colectividades para mitigar un desastre seguían esa misma lógica. Esas formas de explicación del fenómeno del desastre, en general, han ido cambiando, aunque aún se encuentran

---

<sup>23</sup> MASKREY, Andrew. comp. Los Desastres No Son Naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). 1993. 140 p.

presentes en varios sectores de la sociedad o en algunas comunidades del medio rural o urbano<sup>24</sup>.

En la actualidad no es muy diferente la visión de algunas comunidades que dejan al azar o a la mano de Dios, su seguridad, la de sus familias y bienes económicos. Mitigar sigue siendo uno de los procesos más complejos de efectuar, en ocasiones por falta de interés o voluntad de los entes encargados o simplemente porque las comunidades asentadas en lugares que presentan amenazas no apoyan el desarrollo de programas.

## **2.6 ASENTAMIENTOS HUMANOS**

Este estudio se realizó en un sector que ha sido conformado de manera irregular, puesto que corresponde a terrenos altamente degradados, con topografía irregular y que se les puede dar un uso ambiental. Seguido a esto se considera que el hecho de que el sector sea irregular conlleva a que la población sea más vulnerable ante los PRM, los sectores conformados legalmente (regulares), se hacen acreedores a unos derechos y a unos deberes que pueden hacer cumplir en pro de proteger sus vidas y sus bienes, en cambio los sectores irregulares difícilmente son tenidos en cuenta en la planeación del desarrollo de un lugar, son marginados y excluidos.

**2.6.1 Asentamientos humanos regulares.** Por asentamientos humanos regulares se entenderá la radicación de un conglomerado demográfico en un espacio geográfico determinado, el cual cuenta con elementos naturales y físicos que permitan que los moradores cuenten con una calidad de vida idónea, estos asentamientos deben estar regulados por las normas y leyes ciudadanas que rigen en el municipio, departamento o país.

---

<sup>24</sup> Ibid., p. 24

**2.6.2 Asentamientos humanos irregulares.** “Los establecimientos informales (coloquialmente referidos como “invasiones”) por lo general son establecimientos que abarcan a comunidades o individuos albergados en viviendas auto-construidas bajo deficientes condiciones de vida. Toman forma de establecimientos espontáneos sin reconocimiento ni derechos legales, expandiendo los bordes de las ciudades en terrenos marginados que están dentro de los límites de las zonas urbanas”<sup>25</sup>.

Los asentamientos irregulares se presentan en todos los países latinoamericanos, están ligados directamente con el subdesarrollo y en ocasiones es la única posibilidad que tienen las familias de escasos recursos de obtener una vivienda, estas construcciones son hechas en la mayoría de los casos con cimientos deficientes y materiales poco resistentes. También se debe tener en cuenta que estos asentamientos se localizan en zonas de riesgo potenciado por la inminente degradación del terreno que no cuenta con una planificación acorde a sus necesidades y al rápido crecimiento.

## **2.7 EROSIÓN**

“La erosión puede ser definida, de forma amplia, como un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento”<sup>26</sup>

**2.7.1 Erosión natural y progresiva.** Natural y progresiva es la que se desarrolla alrededor de varios años y se desarrollan en torno de algo natural. Se le puede denominar erosión geológica. En esta erosión el proceso suele ser lento y se prolonga por millones de años, suelen intervenir la lluvia, nieve, frío, calor y viento.

---

<sup>25</sup> FERNANDEZ. Op. Cit., p. 6

<sup>26</sup> SUÁREZ DÍAZ Jaime. Control de la erosión en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2001. 548 p. ISBN 958-33-2734-4.

En los climas áridos es el calor que agrieta el suelo (pues este se expande) y el viento lleva granos de arena formando dunas y montes de baja altura. En este tipo de erosión los factores moldean perfectamente el paisaje, creando algo considerado hasta ahora bello e impresionante<sup>27</sup>.

**2.7.2 Erosión en cárcavas.** Profundizarse y ampliarse los surcos de erosión se convierten en cárcavas, o varios pequeños surcos pueden unirse y crecer para formar una cárcava. Se denomina cárcava a un canal de erosión con una sección superior a un pie<sup>2</sup>. Estos canales ya no pueden ser eliminados con prácticas agrícolas. Las cárcavas tienen una mayor capacidad de transporte de sedimentos que los surcos, debido a que las tasas de flujo son mayores. Las cárcavas actúan como cauces de concentración y transporte de agua y sedimentos. En este proceso una cárcava con cauce en V captura a las vecinas y va transformando su sección de una V ampliada a U. Al inicio las cárcavas son en V pero generalmente terminan con forma en U. Las cárcavas son canales mucho más largos que los surcos. Estos canales transportan corrientes concentradas de agua durante e inmediatamente después de las lluvias. Las cárcavas van avanzando o remontando hacia arriba formando una o varias gradas o cambios bruscos de pendiente.

Las cárcavas profundas y anchas alcanzan profundidades en algunos casos superiores a 50 metros, limitando en forma importante el uso de la tierra y generando grandes fuentes de sedimentos para las corrientes. La cabeza de la cárcava forma un escarpe cada vez más alto y lo mismo ocurre lateralmente. Se presentan entonces deslizamientos de tierra en estos taludes semiverticales<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> Ibid., p. 66 - 67

<sup>28</sup> Ibid., p. 67 – 72.

### 3. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL SECTOR DE ESTUDIO

#### 3.1 DIVISIÓN POLÍTICA DE LA COMUNA 18

La comuna 18, está localizada en la ciudad de Santiago de Cali – Colombia; conformada por los siguientes barrios, urbanizaciones, sectores y asentamientos irregulares (Cuadro 2). Cabe anotar que todos los asentamientos irregulares se encuentran en la parte más alta de la comuna siendo el límite el río Meléndez.

**Cuadro 2. Barrios, urbanizaciones y sectores de la comuna 18.**

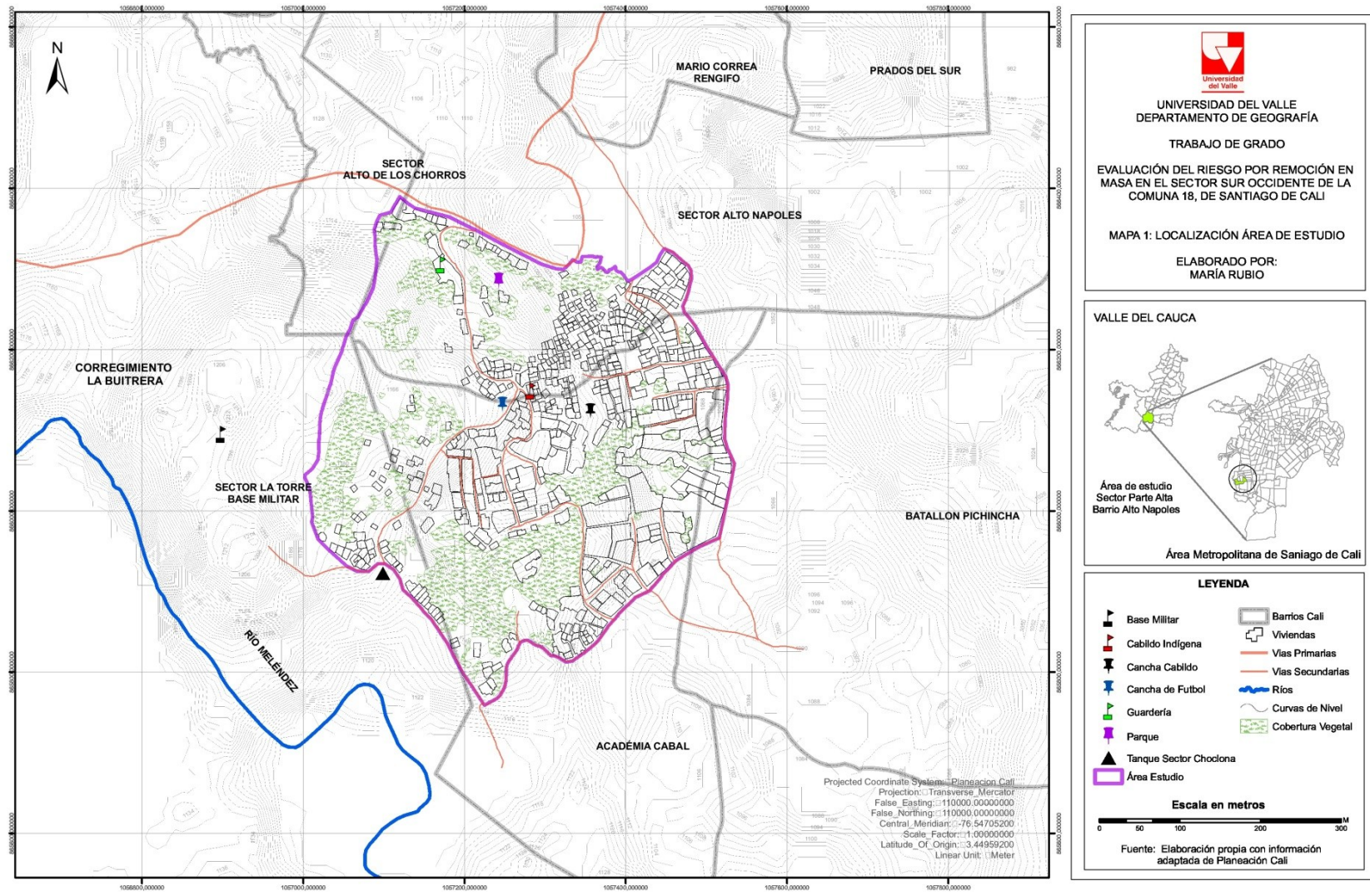
| Barrios              |                           | Sectores                | Urbanizaciones            | Asentamientos irregulares   |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Buenos Aires         | El Jordán                 | Sector Alto los Chorros | Urbanización Horizontes   | La choclona                 |
| Caldas               | Cuarteles Nápoles         | Sector Meléndez         | Urbanización Santa Helena | Alto Polvorines             |
| Los Chorros          | Polvorines                | Sector Alto Jordán      |                           | La Mina de los Chorros      |
| Melendez             | Alto Nápoles              |                         |                           | Sector Tamayo               |
| Colinas del Sur      | Los Farallones            |                         |                           | Sector Altos de Buena Vista |
| Alferez Real         | Francisco Heladio Ramírez |                         |                           | Sector Pampas del Mirador   |
| Nápoles              | Pradosdel Sur             |                         |                           | Las Palmas                  |
| Mario Correo Rengifo | Lourdes                   |                         |                           | Sector La Torre             |

Fuente: Elaboración propia con datos tomados del Departamento Administrativo de Planeación Municipal y trabajo de campo.

#### 3.2 LOCALIZACIÓN Y LÍMITE DE LA ZONA DE ESTUDIO

El sector de estudio se encuentra localizado al suroccidente de la comuna 18, en la cuenca del río Meléndez y limita de la siguiente manera: al norte con el Sector Altos los Chorros, al oriente con el Batallón Pichincha, al sur con la Academia Militar Cabal y al occidente con el sector la Torre, base militar del Batallón Pichincha (Figura 3).

Figura 3. Mapa de localización del Sector Sur Occidente de la comuna 18.



### 3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Se tendrán en cuenta la información geológica, geomorfológica, hidrológica, las pendientes y coberturas del terreno, con el fin de identificar las condiciones propias referentes a la composición y formación de los suelos.

Ya que el carácter de este trabajo no es geológico, nos apoyamos en las descripciones del estudio Microzonificación Sísmica de Santiago de Cali, 2005<sup>29</sup> presentadas a continuación

**3.3.1 Geología superficial.** La comuna 18 posee una composición del 50% de depósitos de rocas sedimentarias (T), compuestos por fragmentos y nódulos de roca, matriz de arcillas rojas y amarillas (Qvt) con estabilidad moderada a baja. Los deslizamientos son originados por el mal manejo de las aguas superficiales y por cortes sobre empinados en las laderas. Un 40% del cono de Meléndez-Lilí que presenta intercalaciones de arcillas, limos y arenas, con abundante presencia de gravas de mayor estabilidad que el de Cañaveralejo, y un 10% de rocas sedimentarias (T), incluyen mantos de carbón con estabilidad relativamente alta.

Se distinguen unidades geológicas superficiales como los suelos coluviales, fluvio-torrenciales, material sedimentario y unidades de rocas sedimentarias.

**3.3.2 Litología.** La litología de la zona de estudio estaría dada por la Formación Volcánica, por las rocas y depósitos sedimentarios dentro de la Formación Guachinte del grupo Cauca el cual presenta tres miembros: Miembro basal la Cima, Miembro los Chorros y Miembro superior la Rampla.

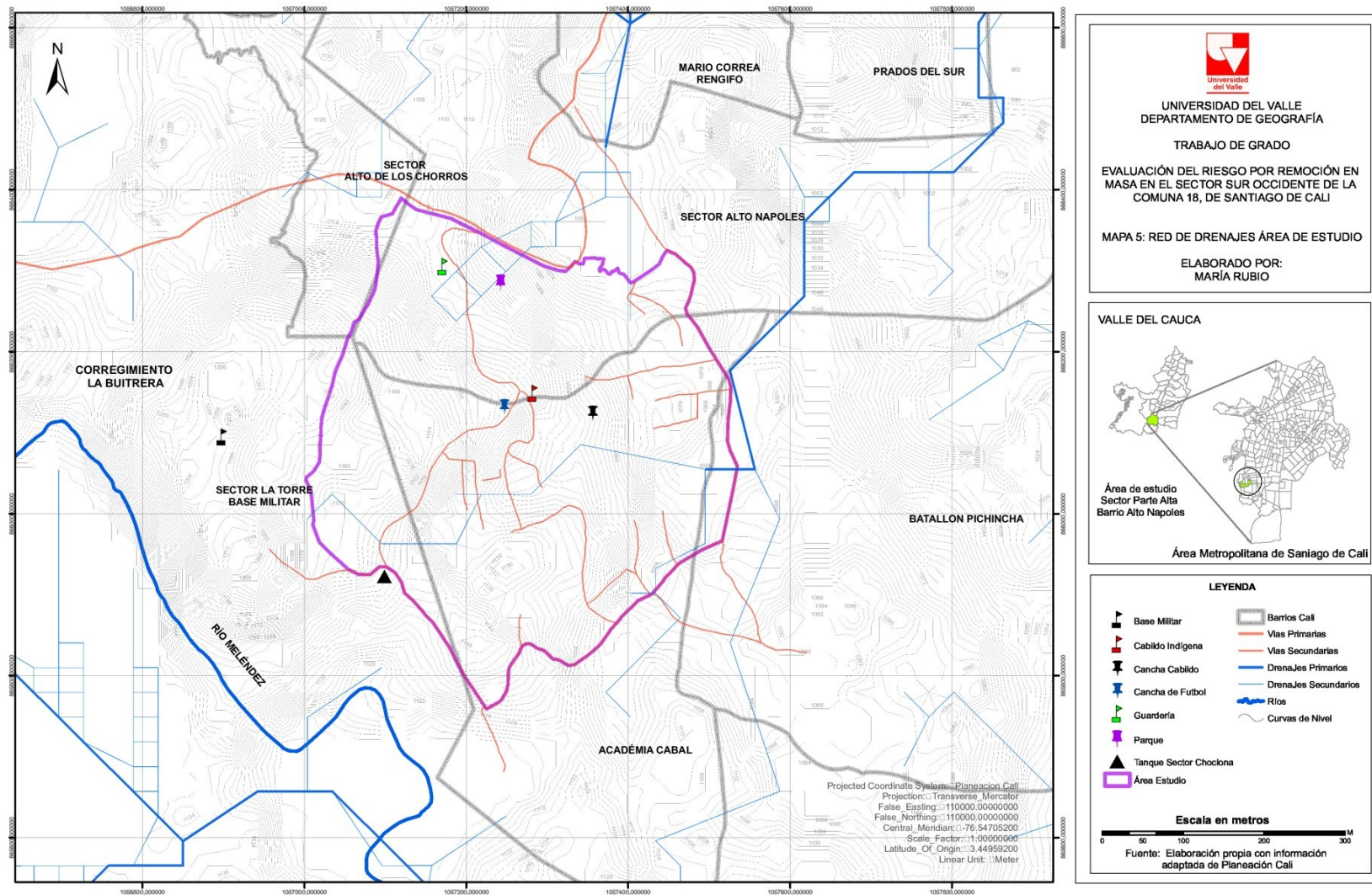
---

<sup>29</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS). Estudio de Microzonificación Sísmica de Santiago de Cali. Informe 2-1. Bogotá: 2005. 49 p.

**3.3.3 Geología estructural.** La comuna 18 es atravesada en sentido norte – sur, por el sistema de fallas Cauca – Almaguer el cual incide en los procesos de remoción en masa, ya que controla los rasgos estructurales del occidente colombiano donde este sistema de fallamiento es predominante. En la Cordillera Central, Cali-Patía y Dagua-Calima en la Cordillera Occidental. Son fallas de carácter regional, corresponden a fallas inversas de alto ángulo y rumbo deslizantes, las cuales tienen zonas de cizallamiento regional.

**3.3.4 Hidrología.** La comuna 18 es atravesada por el río Meléndez (Figura 4), el cual nace en el sector de la Corea a 2.800 m.s.n.m., localizado sobre la vertiente oriental de la cordillera Occidental. La cuenca posee una superficie de 3.832 Ha. La vegetación predominante en la parte alta es nativa, sin embargo es escasa, en la parte media y baja la vegetación en gran parte de su recorrido ha sido reemplazada por actividades como la construcción de viviendas, minería y cultivos, lo que ha generado que el río presente grandes niveles de contaminación y su caudal haya disminuido.

Figura 4. Mapa Hidrológico del Sector Sur Occidente de la comuna 18



**3.3.5 Pendientes.** La comuna 18 presenta pendientes suaves y Colinas Denudacionales (Dc). Posee morfología de colinas y laderas moderadamente inclinadas y se encuentran medianamente disectadas por los drenajes, están conformadas por suelos residuales de formación volcánica (Kv).

Las pendientes moderadas y montañas denudacionales (Dm). Colinas y montañas con laderas empinadas a quebradas, profundamente disectadas por los drenajes, se distribuyen hacia la zona de vertientes montañosas altas, donde las pendientes son alargadas y rectilíneas, se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos de ladera muy inestables debido a las pendientes. En esta unidad es común encontrar procesos erosivos y de remoción en masa concentrados alrededor de un drenaje y sectores donde se concentran actividades antrópicas relacionadas con explotación de canteras<sup>30</sup>.

**3.3.6 Geomorfología.** En la Comuna 18 está relacionada con procesos denudativos y estructurales, asociados al levantamiento de la cordillera Occidental, hacen parte de la unidad de paisaje las siguientes formaciones:

Vertientes Montañosas Altas. Que esta localizadas en la parte alta de las cuencas El Chocho, Los Limones, El Cabuyal, Aguaclara, Aguacatal, Cali, Cañaveralejo, Meléndez, Lili y Pance. Se caracterizan por ser montañas empinadas a escarpadas, con cauces profundos en forma de V, muchas de ellas con laderas largas y rectilíneas. Estos sectores montañosos están conformados principalmente por basaltos y diabasas de la formación volcánica y sectores de rocas sedimentarias de la Formación Guachinte, consistente en intercalación de areniscas y lutitas<sup>31</sup>.

Geomorfológicamente las rocas de la formación Guachinte se presentan comúnmente como cerros alargados y aislados que afloran entre Menga y Polvorines hacia la parte baja del flanco oriental de la cordillera Occidental. La formación de rocas volcánicas constituye la mayor parte de los cerros occidentales de Santiago de Cali. Conformada por lavas basálticas almohadilladas y columnares, diabasas e intrusiones de gabros<sup>32</sup>.

La geomorfología de la comuna 18 está dada por las unidades morfológicas del terreno, agrupadas según sus características y origen, están clasificadas en

---

<sup>30</sup> Ibid., p. 36

<sup>31</sup> Ibid., p. 3.

<sup>32</sup> Ibid., p. 7.

denudacional, estructural-fluvial y las antrópicas. En el sector de estudio se encuentran las siguientes unidades morfológicas:

- Pendientes Suaves y Colinas Denudacionales (Dc), Posee morfología de colinas y laderas moderadamente inclinadas.
- Pendientes moderadas y montañas denudacionales (Dm). Colinas y montañas con laderas empinadas a quebradas, profundamente disectadas por los drenajes.
- Escarpes Denudacionales (De), corresponde a laderas cortas y muy empinadas, asociadas a depósitos fluvio-torrenciales, debajo de las cuales se encuentran rocas bastante duras (diabasas o areniscas). Se presenta en la margen derecha del río Aguacatal, antes de su confluencia con el río Cali y en la margen izquierda del río Meléndez (parte alta del barrio los Chorros)<sup>33</sup>.

**3.3.6.1 Procesos erosivos.** Los deslizamientos en la zona de ladera de la comuna 18 son cada vez más frecuentes, y su crecimiento es inminente, si no se toman medidas de prevención y mitigación.

Se pueden evidenciar los efectos de la erosión causada por la urbanización, y actividades antrópicas en general se presentan en la ladera y que se han visto agravadas por la deforestación indiscriminada de la parte alta, la erosión trae como consecuencia el taponamiento de vertederos de aguas lluvias, situación por la cual se presentan lodos, escombros y polvo en verano en la zona plana. En la comuna hay varios sectores que presentan afectación por problemas de erosión y deslizamientos. Entre dichas zonas están La Mina de los Chorros, La Choclona, parajes de Alto Nápoles, Alto Jordán, Altos de Polvorines, entre otros<sup>34</sup>.

**3.3.7 Coberturas del terreno.** La vegetación de la cuenca del río Meléndez es la típica de suelos ácidos derivados de rocas sedimentarias pobres en nutrientes. Los suelos que los sustentan son ricos en aluminio tóxico y ácidos.

La vegetación actual constituye bosques secundarios, en Meléndez los suelos están estructurados sobre suelos ácidos lateríticos, derivados de areniscas del

---

<sup>33</sup> Ibid., p. 35.

<sup>34</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL (DAGMA), Panorama Ambiental. 315–335 p.

Terciario de la formación Guachinte. En la zona de Alto Nápoles mirando hacia La Buitrera en la cuenca del Meléndez se presentan suelos lateríticos. La vegetación típica es rala. Para las zonas más altas de la comuna se presentan doseles discontinuos y predominan los pastos para el ganado. La zona de Alto Nápoles, por encima del Batallón Pichincha, las laderas de antiguas zonas carboníferas han sido urbanizadas rápidamente. En el proceso de urbanización informal. En esta zona la deforestación ha sido intensa. Las aguas de escorrentía de vías y habitaciones corren informalmente, aumentando los riesgos de deslizamientos, pese a que por lo general las rocas areniscas parecen más estables que las arcillas. La carencia de vegetación arbórea con raíces fijadoras fuertes agravan el riesgo de las zonas. La vegetación secundaria que se ha desarrollado tiene doseles discontinuos de poca calidad ambiental<sup>35</sup>.

### **3.4 CARACTERÍSTICAS SOCIALES DE LA COMUNA 18 Y DEL SECTOR DE ESTUDIO**

Se tendrán en cuenta las características sociales y el sistema físico partiendo de la comuna hasta llegar al área de estudio. En lo referente al sistema físico se tendrán en cuenta las observaciones en campo y fuentes secundarias.

**3.4.1 Historia y proceso de ocupación.** Según información obtenida del DAGMA, 2009<sup>36</sup>, en el proceso de expansión de la ciudad de Cali, se consolidó la formación de los barrios Meléndez, Buenos Aires y Caldas en la parte plana y el barrio Los Chorros en la parte alta. A finales de los años cuarenta se inicia el poblamiento de los sectores al sur de la comuna en la zona de ladera.

Hace aproximadamente cincuenta años, el barrio que hoy conforma Alto Nápoles, ubicado en la ladera suroccidental de la ciudad, era un terreno de extracción de carbón, manejado por pequeños arrendatarios, que posteriormente en su mayoría se convirtieron en propietarios de los terrenos, que tenían derecho a explotar dichas minas, lo hacían utilizando pólvora como medio principal para acceder al material. Las labores de explotación de minas de carbón las realizaban trabajadores denominados jornaleros, quienes afirman

---

<sup>35</sup> ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Plan de Desarrollo 2012 – 2015 Comuna 18. Territorio de Solidaridad para Alcanzar la Prosperidad. Cali: 2011?. 129 p.

<sup>36</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN AMBIENTAL: Panorama ambiental, Op. Cit. 315 –335.

que este terreno pertenecía a Ferrocarriles Nacionales de Colombia División Pacífico<sup>37</sup>.

La urbanización desordenada ha sido más dramática en las partes altas, caracterizada por procesos de asentamiento subnormales. En la ladera de la comuna 18 predominan los predios que no tienen un significativo valor comercial, con terrenos irregulares y degradados que no son apetecidos por la industria constructora seguido a esto los sectores aledaños son en su mayoría invasiones, lo que lo hace menos atractivo para el desarrollo de construcciones unifamiliares de estratos más altos como suele suceder en otros sectores de la ladera de Cali. Los asentamientos ubicados en el sector de estudio son de carácter irregular, puesto que las personas han ocupado este lugar de manera ilegal. Es un asentamiento joven que se incrementó con fuerza en los años 2008 al 2012, debido a que la población asentada ha ido trasladando a otros miembros de su familia a este lugar, se han conformado nuevos hogares y otras familias han visto en este lugar la oportunidad de obtener un lote para construir su vivienda a muy bajos costos.

Según Alonso<sup>38</sup>, después de la consolidación de los barrios que conforman la comuna, la población se distribuyó según su estrato socioeconómico y las ofertas de vivienda o lotes para construir (Cuadro 3), conllevando a que los pobladores se distribuyeran de forma desigual en los barrios, donde se presentan barrios con poblaciones superiores a los 14.000 habitantes y otros que no superan los 2.000.

Según el cuadro 3, los barrios o sectores que poseen mayor población son, sector Alto los Chorros, sector Alto Jordán y Alto Nápoles, los barrios con una población intermedia son, Francisco Eladio Ramírez, Prados del sur y El Jordán, el resto de barrios tienen una población por debajo de los 4000 habitantes que sería una

---

<sup>37</sup> PEÑA, Cielo y RAMÍREZ, Luisa. Proceso de Ocupación de Tierras en Alto Nápoles: El caso del sector Cumana Meléndez. Santiago de Cal. 2011. 109 p.

<sup>38</sup> ALONSO C., Julio César, *et al.* Una mirada descriptiva a las comunas de Cali. Santiago de Cali. 2007. 118 p

población muy baja en comparación con el sector Alto los Chorros que posee una población de 14,357 habitantes.

**Cuadro 3. Cantidad de habitantes por barrios comuna 18.**

| Barrio          | Población | Barrio                    | Población | Barrio                  | Población |
|-----------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| Buenos Aires    | 3,637     | El Jordán                 | 6,672     | Mario Correo Rengifo    | 3,871     |
| Caldas          | 2,407     | Cuarteles Nápoles         | 3,332     | Lourdes                 | 3,868     |
| Los Chorros     | 2,123     | Polvorines                | 1,440     | Sector Alto los Chorros | 14,357    |
| Melendez        | 3,562     | Alto Nápoles              | 10,046    | Sector Meléndez         | 2,925     |
| Colinas del Sur | 1,535     | Los Farallones            | 1,458     | Sector Alto Jordán      | 13,943    |
| Alferez Real    | 3,446     | Francisco Heladio Ramírez | 4,648     | Urbanización Horizontes | 2,63      |
| Nápoles         | 2,183     | Pradosdel Sur             | 7,683     | -                       | -         |

Fuente: Cali en Cifras, 2005.

**3.4.2 Población de la comuna 18.** “En la comuna 18 habita el 5,1% de la población total del Municipio, es decir, 113.474 habitantes, de los cuales el 49,2% son hombres (55.858) y el 50,8% restante mujeres (57.616). El número de habitantes por hectárea densidad bruta es de 209 habitantes, por encima del promedio de Cali que es de 180 habitantes por hectárea”<sup>39</sup>.

**3.4.3 Viviendas de la comuna 18.** Según Alonso (2007), la comuna cuenta con 16,782 predios construidos, y representa el 3,6% del total de la ciudad, está conformada por 24.705 viviendas, lo que corresponde al 4.9% del total de viviendas de la capital vallecaucana. El número de viviendas por hectárea es de 45,5, cifra superior a la densidad de viviendas para el total de la ciudad que es de 41,7 Ha.

**3.4.4 Salud en la comuna 18.** Cuenta con una oferta de servicios de salud de primer y tercer orden, que consta de un hospital de segundo nivel, un ancianato, un

<sup>39</sup> ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Plan de Desarrollo, Op. cit. p 17.

hospital psiquiátrico del orden departamental, un centro de salud y tres puestos de salud. El grupo de instituciones de primer nivel conforman el núcleo de atención primaria (NAP) encargado de las acciones fundamentales de promoción, prevención y tratamiento de problema ambulatorios.

La población asentada en este lugar, como se mencionó anteriormente, es de origen indígena principalmente, por tanto ellos tienen unas entidades prestadoras de salud especiales, por lo que en ocasiones les resulta prácticamente insignificante que la comuna tenga una oferta muy atractiva de servicios de salud.

**3.4.5 Educación a nivel de comuna.** La oferta educativa de la comuna es amplia, en su mayoría va dirigida a poblaciones de otras comunas del municipio puesto que es predominantemente de carácter privado.

En 2005, un total de 19,969 estudiantes matriculados a 121 establecimientos educativos de este total 10,2% estaban matriculados en 50 instituciones educativas en nivel preescolar. El 44,2% de los estudiantes estaban en primaria y contaba con 44 establecimientos. Y el mayor porcentaje de matriculados (45,5%) se encontraban en secundaria y media con 27 establecimientos. Así un 4,9% de la oferta educativa pública de la ciudad se encuentra en la comuna 18 y presta servicios de educación al 5% del total de estudiantes de la educación pública del municipio<sup>40</sup>.

**3.4.6 Aspectos económicos de la comuna 18.** Para la comuna se encuentra que “el 46,3% de los puestos de trabajo generados corresponde al sector servicios, muy similar para el total de la ciudad donde el sector genera el 47% de los puestos de trabajo. Vale la pena resaltar que solo el 28, 2% de los establecimientos de este sector son de servicios. En cuanto al comercio, el 64,6% de los establecimientos son de este tipo, pero sólo generan el 45,7% de los empleos”<sup>41</sup>.

---

<sup>40</sup> ALONSO, Op.cit. p. 95.

<sup>41</sup> Ibid., p. 96.

La comuna 18 en la actualidad es predominantemente de uso residencial, la parte comercial ha tomado ventaja en los últimos años ya que en la mayoría de sus barrios se encuentran almacenes, tiendas, supermercados, distribuidoras de frutas y verduras, ferreterías, estéticas, salones de belleza, restaurantes, entre otros.

En la comuna se diferencian tres estratos socio-económicos (Cuadro 4), los cuales son: estrato I bajo-bajo, estrato II bajo y estrato III medio bajo. Con esta clasificación se puede notar claramente que la mayoría de los barrios son de estratos bajos.

**Cuadro 4. Estratificación socio-económica Comuna 18.**

| Estrato socio-económico por barrio |                      |                |                           |
|------------------------------------|----------------------|----------------|---------------------------|
| I bajo-bajo                        | II bajo              | III medio-bajo |                           |
| Sector Alto Jordán                 | Lourdes              | Buenos Aires   | Francisco Heladio Ramírez |
| Alto Nápoles                       | Pradosdel Sur        | Caldas         | Urbanización Horizontes   |
| Polvorines                         | Mario Correo Rengifo | Los Chorros    | Colinas del Sur           |
| Sector Alto los Chorros            | El Jordán            | Meléndez       | Alferez Real              |
| -                                  | Nápoles              | Los Farallones | Cuarteles Nápoles         |
| -                                  | Sector Meléndez      | -              | -                         |

Fuente: División de Estadística S.I.S./ D.A.P.M. Unidad de Economía G.P.D. Emcali/junio/93, citado por DAGMA 2009.

**3.4.7 Sistema vial de la comuna.** En el sur de la comuna 18 se presentan fuertes problemas de movilidad, en la carrera 94 que es la única entrada al sur se presenta un cuello de botella en las horas pico. Las vías secundarias son angostas y presentan congestión vehicular por el parqueo de vehículos en ambos lados de la vía, y actualmente la presencia de moto-taxistas reduce la movilidad.

**3.4.7.1 Vías de acceso al sector.** Las vías de acceso al sector fueron construidas por los habitantes, en la actualidad se encuentran en mal estado, sobre todo los callejones internos que comunican directamente a las viviendas (Foto 1)

También se tienen en un segundo plano como estrategia para evitar el ingreso de la fuerza pública a realizar los desalojos.

**Foto 1. Callejones de acceso a las viviendas del sector de estudio**



Fuente: Autora.

**3.4.8 Población del sector de estudio.** En el sector Sur Occidente se ha venido presentando un fenómeno de ocupación irregular por parte de poblaciones de escasos recursos económicos, las cuales han optado por ocupar sectores de ladera que no poseen un valor comercial y se encuentran baldíos debido a sus condiciones físicas como la topografía, las altas pendientes y suelos degradados por acciones antrópicas como la minería de carbón que ha causado socavamientos de los

terrenos y la extracción de material de arrastre que han ocasionado deterioros ambientales, que a su vez acelera la ocurrencia de PRM.

Esta población en su mayoría se desplazaron a Cali en busca de mejores condiciones de vida, inicialmente vivían en diferentes barrios de la ciudad en habitaciones de arrendamiento y por las difíciles condiciones económicas, 20 de estas familias se organizaron para ocupar colectivamente una zona de ladera que estaba deshabitada; el proceso de construcción se llevó a cabo grupalmente.

**3.4.9 Vivienda en el Sector Sur Occidente.** Las viviendas son construidas en materiales como plásticos, esterilla de guadua, ladrillo, bloque y cartón con techo de zinc y pisos en tierra, (Foto 2), igualmente se ubican sobre la pendiente y en suelos erosionados que poseen alto grado de meteorización, quedando prácticamente en el aire soportadas sobre pilotes de guadua (Foto 3).

**Foto 2. Viviendas características del sector**



Fuente: Autora.

**Foto 3. Viviendas soportadas sobre pilotes**



Fuente: Autora.

**3.4.9.1 Servicios básicos del Sector Sur Occidente.** La infraestructura para la instalación de los servicios de energía eléctrica y agua potable se dieron de manera colectiva, el suministro del agua proviene del acueducto La Reforma. El abastecimiento de los servicios se da de manera informal, en cuanto al alcantarillado no se cuenta con su servicio por lo que han optado por construir sistemas artesanales que suplan sus necesidades. Parte de la población instaló una serie de tuberías que funciona por gravedad y que deposita los residuos en la Quebrada El Entamborado, otros miembros de la población implementaron pequeños pozos sépticos o simplemente desechan el agua servida por canales que hay a la orilla de la vía. El hecho que las aguas sean desechadas en las cunetas ha generado malestar entre la población puesto que escurre ladera abajo y se deposita en algunas viviendas.

En cuanto al servicio de gas, algunos cocinan en estufas a gas propano, con energía, fogones a gas y los que no tienen estos recursos lo hacen en fogones de

leña al interior de sus viviendas, que en su mayoría son un solo cuarto grande donde duermen y pasan el día.

**3.4.10 Actividades económicas Sector Sur Occidente.** El sector es netamente residencial con escasa presencia de tiendas que proveen algunos productos de la canasta familiar, que son comercializados al menudeo. Esta población se caracteriza por ser en su mayoría de escasos recursos económicos, ejerciendo labores informales tales como, vigilancia de cuadra, reciclaje, jardinería, servicio doméstico por días, ayudantes de construcción y vendedores ambulantes.

**3.4.11 Hidrología Sector Sur Occidente.** El área estudiada se encuentra ubicada en la parte media de la cuenca del río Meléndez, en esta parte ya se pueden notar los estragos de la contaminación que se ha generado en el río. Las aguas servidas son vertidas a la quebrada El Entamorado (Foto 4) y otros nacimientos de agua ocasionando su contaminación, presencia de malos olores y disminución del caudal.

**Foto 4. Quebrada El Entamorado, receptora de las aguas servidas.**



Fuente: Autora.

## **4. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y LA AMENAZA POR PRM**

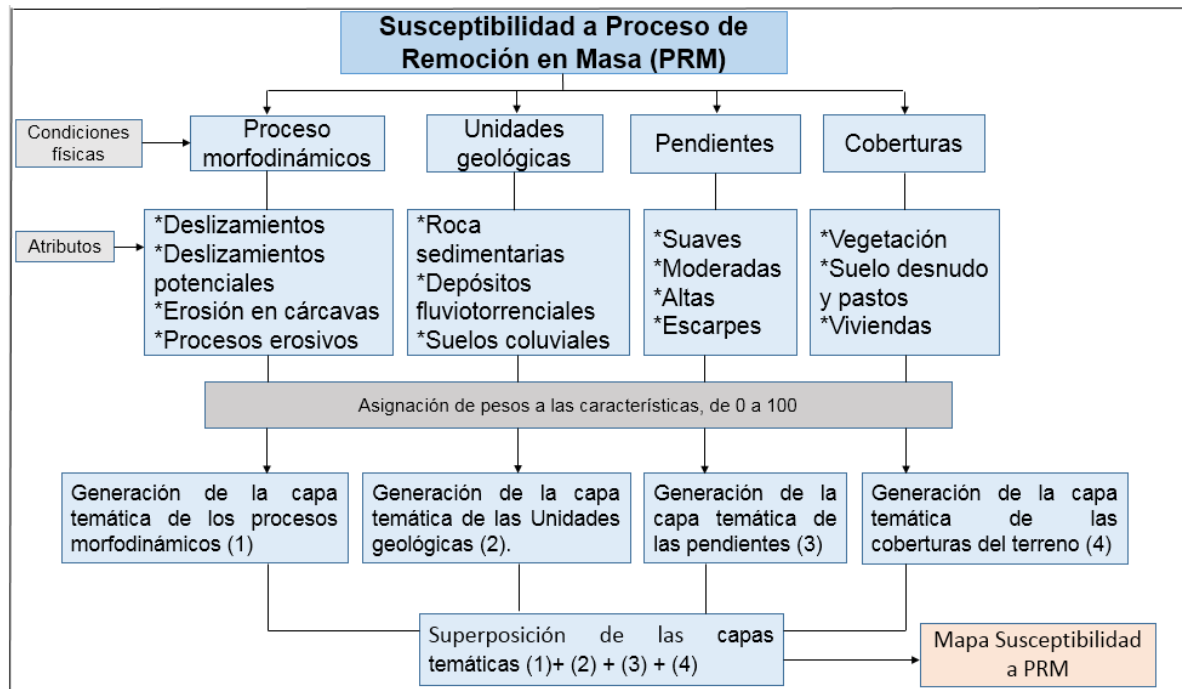
En el presente capítulo se realiza la evaluación de la susceptibilidad y de la amenaza a procesos de remoción en masa en el sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali.

### **4.1 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A PRM**

Para determinar la susceptibilidad a PRM se tuvieron en cuenta las características del terreno tales como: las unidades geológicas, los procesos morfodinámicos, las pendientes y las coberturas del terreno. La metodología empleada se basa principalmente en la generación de diferentes mapas temáticos que son el producto del cruce de dos o más capas de información base, luego estos mapas temáticos se superponen para obtener el mapa de susceptibilidad.

Para la elaboración de la cartografía en este caso los mapas temáticos y el mapa total se usó un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los SIG, son una herramienta que ha cobrado mucha importancia en este tipo de estudios, ya que permite realizar el análisis automático de los datos y permite hacer el cruce de diferentes capas para obtener un mapa más completo y mejor explicado, en este caso permite obtener el mapa de susceptibilidad a PRM.

**4.1.1 Metodología para el cálculo de la susceptibilidad a PRM.** Para evaluar la susceptibilidad a PRM en el sector de estudio, se propusieron cuatro variables (Figura 5), la susceptibilidad fue evaluada bajo condiciones cualitativas y cuantitativas mediante la asignación de porcentajes o pesos a las variables utilizadas para generar las capas temáticas el valor asignado depende de la importancia que cada una cobra en la generación de la susceptibilidad.

**Figura 5. Metodología para evaluar la susceptibilidad a los PRM**

Fuente: Elaboración propia.

Se definieron las características, se digitalizaron en forma de mapas compatibles con el SIG, se definieron los atributos acorde con los elementos geográficos y propios del lugar. El proceso se llevó a cabo con cada una de las capas (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Características de las capas temáticas.**

| Capa                    | Clase  | Características                                                          |
|-------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------|
| Unidades geológicas     | Unidad | Roca sedimentaria, Formación volcánica, Aluviones sin diferenciar.       |
| Procesos morfodinámicos | Tipo   | Deslizamientos potenciales, erosión en cárcavas, erosión por pendientes. |
| Pendientes              | Nivel  | Suaves, Moderadas. Altas y Escarpes                                      |
| Coberturas              | Clases | Vegetación, Viviendas, Suelo desnudo y pastos.                           |

Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación de la susceptibilidad en el sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali, se tomó como referencia el estudio realizado por el Departamento Administrativo Municipal de Santiago de Cali (DAPM, 1996), Diagnóstico de Amenazas Naturales para la Comuna 1, donde se aplica una escala de 0 a 100 puntos (Cuadro 6). En este cuadro se le da un rango de valor a cada grado de susceptibilidad, es decir cero sería la susceptibilidad más baja o nula y a medida que el rango va aumentando la susceptibilidad será mayor, siendo los rangos comprendido entre 49 y 75; 76 y 100 los de mayor cuidado.

**Cuadro 6. Grados de susceptibilidad.**

| Susceptibilidad | Rango de Valor |
|-----------------|----------------|
| Muy Alta        | 100 – 76       |
| Alta            | 75 – 49        |
| Media           | 48 – 23        |
| Baja            | 22 – 0         |

Fuente: Elaboración propia.

**4.1.2 Análisis y resultados de las capas temáticas.** Después de haber asignado valores a las características: unidades geológicas, procesos geomorfológicos, pendientes y coberturas del terreno, se cartografió cada capa de información por separado, y después se superpusieron todas las capas obteniendo el mapa de la susceptibilidad.

**4.1.2.1 Historicidad e inventario de eventos morfodinamicos.** Tener conocimiento del espacio, tiempo y tipo de eventos ocurridos en el sector de estudio es de gran importancia, para identificar hasta qué punto la población puede verse afectada y la frecuencia con la que se presentan los eventos.

El área donde se presenta la mayor concentración de viviendas inició su poblamiento desde el 2001 y continúa en constante crecimiento, las dinámicas sociales y de construcción son muy activas, las autoridades competentes no hacen mucha presencia en el lugar lo que lleva a que no se encuentren registros de los PRM que han ocurrido, tras la inexistencia de dicha información fue necesario hacer comparaciones de imágenes de Google Earth, entrevistas y aplicar encuestas. Según miembros de la comunidad se han presentado varios PRM, entre los que se encuentran caída de rocas, y deslizamientos, (Cuadro 7) el caso más notorio ocurrió el 6 de abril de 2010, después de un fuerte aguacero se presentó un deslizamiento que arrastró una vivienda y a una persona.

**Cuadro 7. Historicidad de procesos de remoción en masa**

| <b>Tipo de Evento Ocurrido</b>  | <b>Fecha de Ocurrencia</b> |
|---------------------------------|----------------------------|
| Procesos erosivos               | Mayo de 2008               |
| Deslizamientos / caída de rocas | Diciembre de 2008          |
| Deslizamiento                   | Abril 6 de 2010            |
| Deslizamiento                   | Mayo de 2011               |
| Deslizamiento                   | Abril de 2013              |
| Caída de rocas                  | Mayo de 2014               |

Fuente: Elaboración propia, datos recogidos en campo.

Según información obtenida en campo, en los años anteriores al 2008 no se presentaban deslizamientos, habían varios sitios con suelos desnudos pero no había población asentada en todo el lugar habían pocas viviendas y estas estaban ubicadas en sectores de poca pendiente, fue hasta mediados del 2006 cuando se activó el poblamiento trayendo consigo la necesidad de obtener lotes para ubicar las viviendas y material para relleno, lo que potenció los deslizamientos.

La ocurrencia de estos eventos según la población se da después de fuertes lluvias, pero también por su imprudencia de arrojar agua directamente al suelo dentro de sus viviendas haciendo que estos se saturen y se desplomen.

En mayo de 2014, se presentó caída de rocas causada principalmente por acciones antrópicas, un residente del sector no tiene ningún sistema de desagüe en su vivienda tanto así que todas las aguas son desechadas dentro de la misma, la cual está ubicada en el borde del talud lo que ha generado que la roca que en su gran mayoría se encuentra meteorizada se desplome con mayor facilidad, la infraestructura es construida principalmente con materiales de reciclaje (Foto 5).

**Foto 5. Vivienda que presenta riesgo de derrumbarse**



Fuente: Autora

En varias zonas del área de estudio se evidencian cicatrices de los procesos erosivos y de remoción en masa que allí se han presentado, los deslizamientos son más frecuentes en la zona de la montaña, las caídas de rocas y los procesos erosivos se presentan en la zona del talud y la mina de carbón. En varios lugares las cicatrices dejadas por las remociones y la erosión han sido ocultadas por las viviendas ya que se han construido sobre ellas. Se evidencia el cambio que ha sufrido el sector, en la imagen correspondiente al año 2007 se evidencia la presencia de cárcavas (Figura 6), en la imagen del año 2014 muestra que toda el área ha sido usada para construir viviendas (Figura 7).

**Figura 6. Cárcavas**



Fuente: Google Earth 2007, modificado por la autora.

Figura 7. Poblamiento del área de las cárcavas.



Fuente: Google Earth 2014, modificado por la autora.

**4.1.2.2 Unidades geológicas.** Según Ingeominas 2005<sup>42</sup>, en el sector existen 3 clases de unidades geológicas: Formación Guachinte, Formación Volcánica y Aluviones sin Diferenciar (Figura 8). La primera se encuentra ubicada en una pequeña franja al norte del sector, con dirección hacia los cerros tutelares de Cali. Los suelos de esta se asocian a rocas sedimentarias, presentan color amarillo-crema, poseen una superficie débil lo que ocasiona fragilidad y estén intensamente fracturados, con meteorización moderada a alta, fácilmente excavables, gracias a esto tienen un grado importante en la participación de la inestabilidad de las laderas.

<sup>42</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS). Estudio de Microzonificación Sísmica. Op.cit., p. 52.

En cuanto a la formación volcánica, esta abarca casi la totalidad del sector, las rocas que conforman esta unidad, por lo general están afectadas por fallamientos y fracturamientos, presentan color rojizo, en el sector esta unidad se encuentra altamente meteorizada con presencia de fuertes pendientes.

En lo referente a los aluviones sin diferenciar estos se ubican al occidente del sector, en el área que corresponde al Batallón Pichincha, los aluviones son material no consolidado que se acumula en abanicos aluviales.

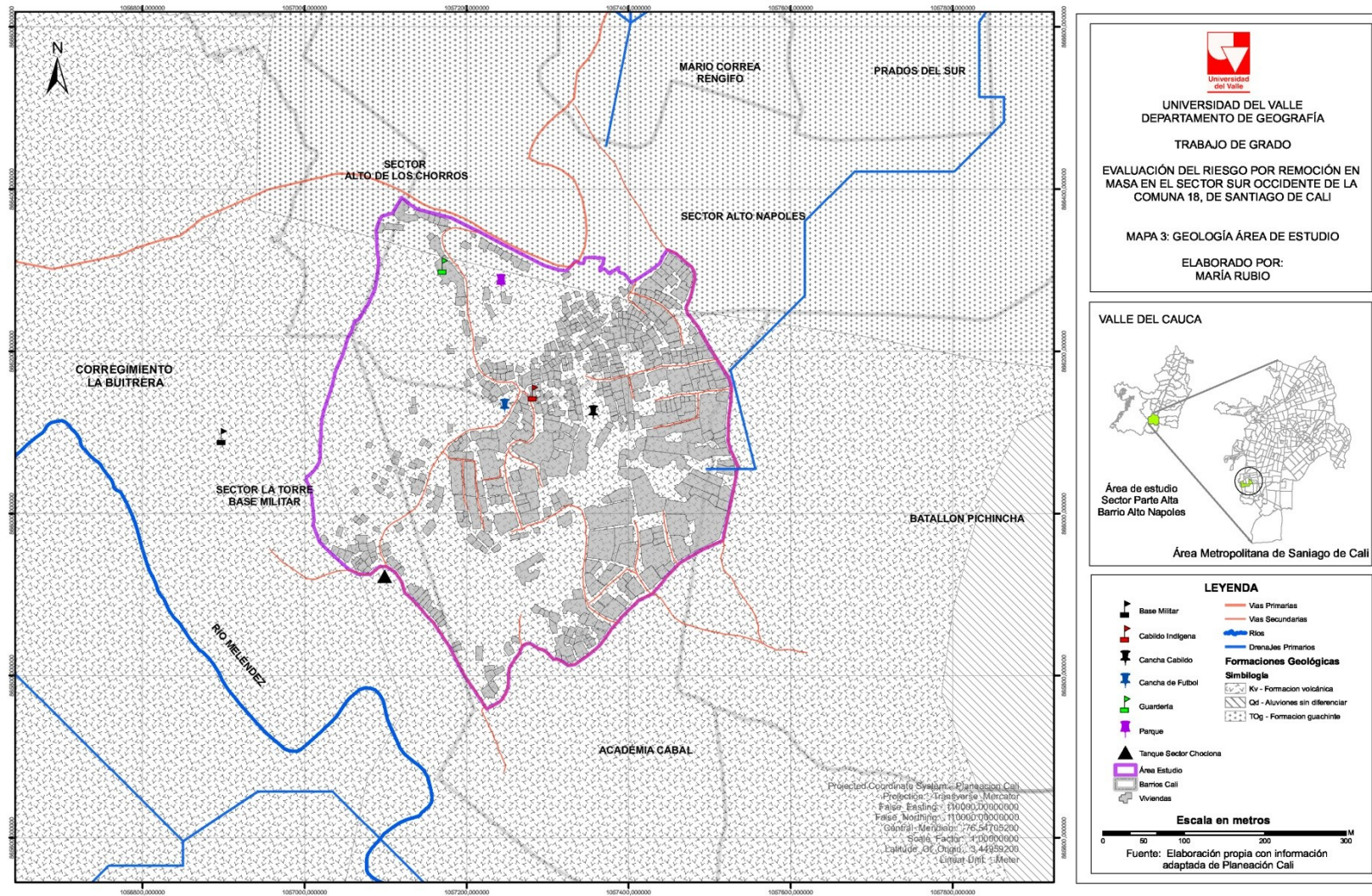
Dependiendo del grado de importancia en la generación de la susceptibilidad se le asignó un (Cuadro 8). Peso a cada una de las variables. El valor o peso de cada unidad geológica se asigna dependiendo de la calidad del suelo (textura, estructura, grado de meteorización, dureza, humedad, porosidad, grado de consolidación, entre otros).

**Cuadro 8. Unidades geológicas**

| <b>Unidades Geológicas</b>                 | <b>Valor</b> |
|--------------------------------------------|--------------|
| Formación Volcánica                        | 100          |
| Formación Guachinte<br>(roca sedimentaria) | 60           |
| Aluviones sin diferenciar                  | 30           |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Mapa Unidades Geológicas Sector Sur Occidente comuna 18



**4.1.2.3 Procesos morfodinámicos.** Hacen parte de estos procesos los que son generados a través de la interacción que se da entre la corteza terrestre y los elementos que se encuentre ligados como los vientos, el agua, temperatura, vegetación y las actividades antrópicas, que con sus acciones y actividades producen un cambio de modelación y escultura de los accidentes geográficos y del paisaje. Sin embargo, la actividad humana en especial la construcción es la causante del aumento de la erosión.

Los procesos morfodinámicos que se presentan son, erosión en cárcavas, erosión por efectos de la pendiente y deslizamientos potenciales, que son potenciados por las actividades antrópicas que se llevan a cabo en el lugar, y por el tipo de textura del suelo, la cobertura vegetal y la pendiente del terreno

La identificación de los procesos morfodinámicos en el sector se obtuvo tras el análisis de imágenes obtenidas de Google Earth, información secundaria y corroboración en campo. De esta forma se identificaron procesos como: deslizamientos potenciales, erosión en cárcavas y por la pendiente.

En la Figura 9, se muestran 3 imágenes tomadas de Google Earth<sup>43</sup> de los años 2001, 2007 y 2014, estas imágenes se utilizaron para identificar y ubicar en el terreno los procesos morfodinámicos que han afectado al sector, también se realizó una comparación temporal de los cambios que registran los procesos.

La imagen A, corresponde al año 2001, muestra procesos erosivos, erosión en cárcavas y deslizamientos. Estos procesos se ubican principalmente en la parte alta y media de la montaña, es decir ubicados principalmente en el costado occidental y central del sector.

---

<sup>43</sup> GOOGLE EARTH. Versión 7.1.2.2041. Sistema Operativo Microsoft Windows (6.1.7601.1) Google.com. 2013 Google Inc. Todos los derechos reservados. Fecha de imágenes 2001, 2007, 2014.

Imagen B, corresponde al año 2007, esta imagen muestra que la zona de cárcavas que aparecen en la imagen A ha incrementado su área al igual que todos los procesos erosivos que se observan en la imagen A.

Imagen C, corresponde al año 2014, en esta imagen se observa que el área donde se observaban cárcavas, imagen B, se encuentran ocupada por viviendas, que han sido construidas sobre estas y que obstaculizan la visión desde el aire. Las pequeñas partes que aún están libres se pueden observar a nivel del suelo, en trabajo de campo fue posible observar las partes que aún están deshabitadas y lugares que al sufrir deslizamientos son aprovechados para ubicar viviendas y retirar el material para relleno de otras viviendas (Foto 6). .

**Foto 6. Deslizamientos antiguos (círculo rojo) aprovechados para construcción de viviendas.**



Fuente: La Autora

Los deslizamientos se ubican en la parte media del sector, donde está ubicada gran parte de la población, hay socavamiento de la montaña y han extraído material para relleno. En este lugar también se presentan deslizamientos potenciales. La parte de la cima de la montaña presenta erosión principalmente por las altas pendientes.

**Figura 9. Identificación de procesos morfodinámicos, (A), (B) y (C)**

**a. Sector de estudio año 2001**



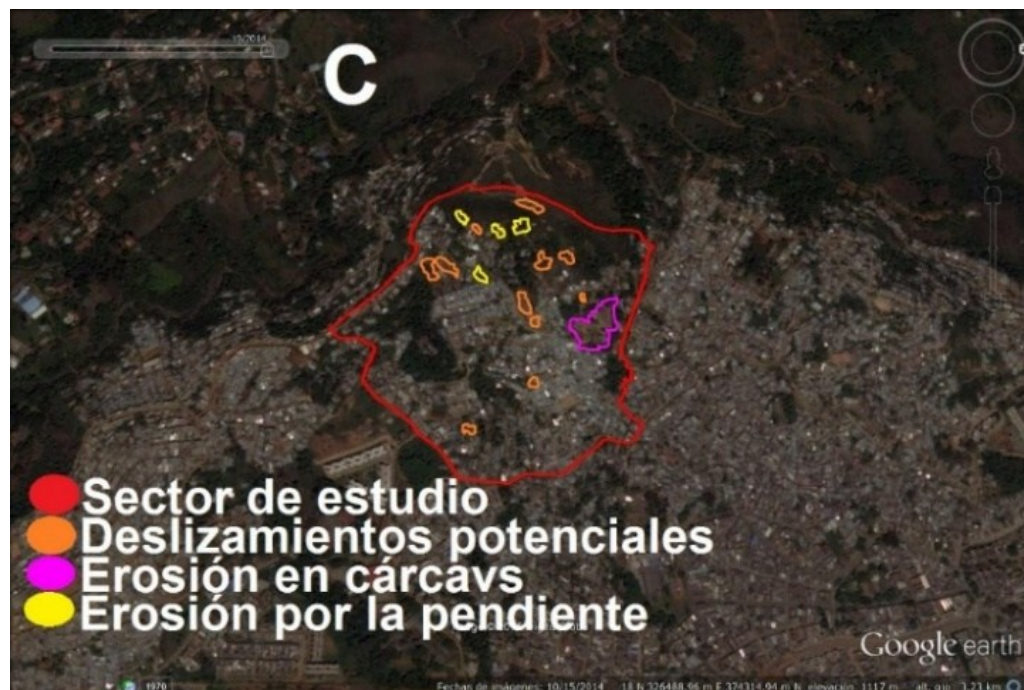
Fuente: Google Earth, 2001. (Modificado)

**b. Sector de estudio año 2007**



Fuente: Google Earth, 2007. (Modificado)

**c. Sector de estudio año 2014**



Fuente: Google Earth, 2014. (Modificado).

Los procesos morfodinámicos tienen gran presencia en el sector de estudio, ocasionan daños considerables tomando en cuenta que las viviendas son construidas en materiales poco resistentes lo que lleva a que sus bases sean débiles, el suelo posee estructura y textura no apta para la construcción, seguido a esto el mal uso de los suelos no solo se da por la construcción sino también por la tala de árboles que deja sin amarre al suelo poco consolidado y meteorizado, vertimientos de aguas residuales, aguas de escorrentía, construcción de vías y callejones de acceso, entre otros. En este caso es el hombre el que causa el mayor grado de erosión del suelo (Figura 10).

- 1. Deslizamientos potenciales.** Se toman como los eventos que tienen una alta probabilidad de ocurrencia a corto o mediano plazo, debido a que los pobladores del sector han construido sus viviendas en una mina socavada (Foto 7) sobre terreno erosionado y de altas pendientes, estos procesos se presentan al oriente, norte, noroccidente y nororiente del sector.
- 2. Erosión por la pendiente.** La erosión por efectos de inclinación de la pendiente se presenta en el occidente y el centro del sector, este tipo de erosión es la más representativa en el lugar (Foto 8).

**Foto 7. Viviendas sobre la antigua mina de carbón**



Fuente: Autora.

- 3. Erosión en cárcavas.** Se localiza en la falda de la montaña, más exactamente al norte, donde se extraía tierra y rocas para rellenos. Cuando hay presencia de erosión en cárcavas se está ante un grado severo de degradación del suelo, debido al mal manejo y la falta de obras de mitigación. En este caso sería dado principalmente por el suelo que han sido removidos y por los cortes que se dan en el suelo con el fin de ubicar las viviendas. Estos hechos aceleran la formación de las cárcavas que son en su mayor parte irreversibles.

**Foto 8. Erosión por la pendiente**



Fuente: Autora

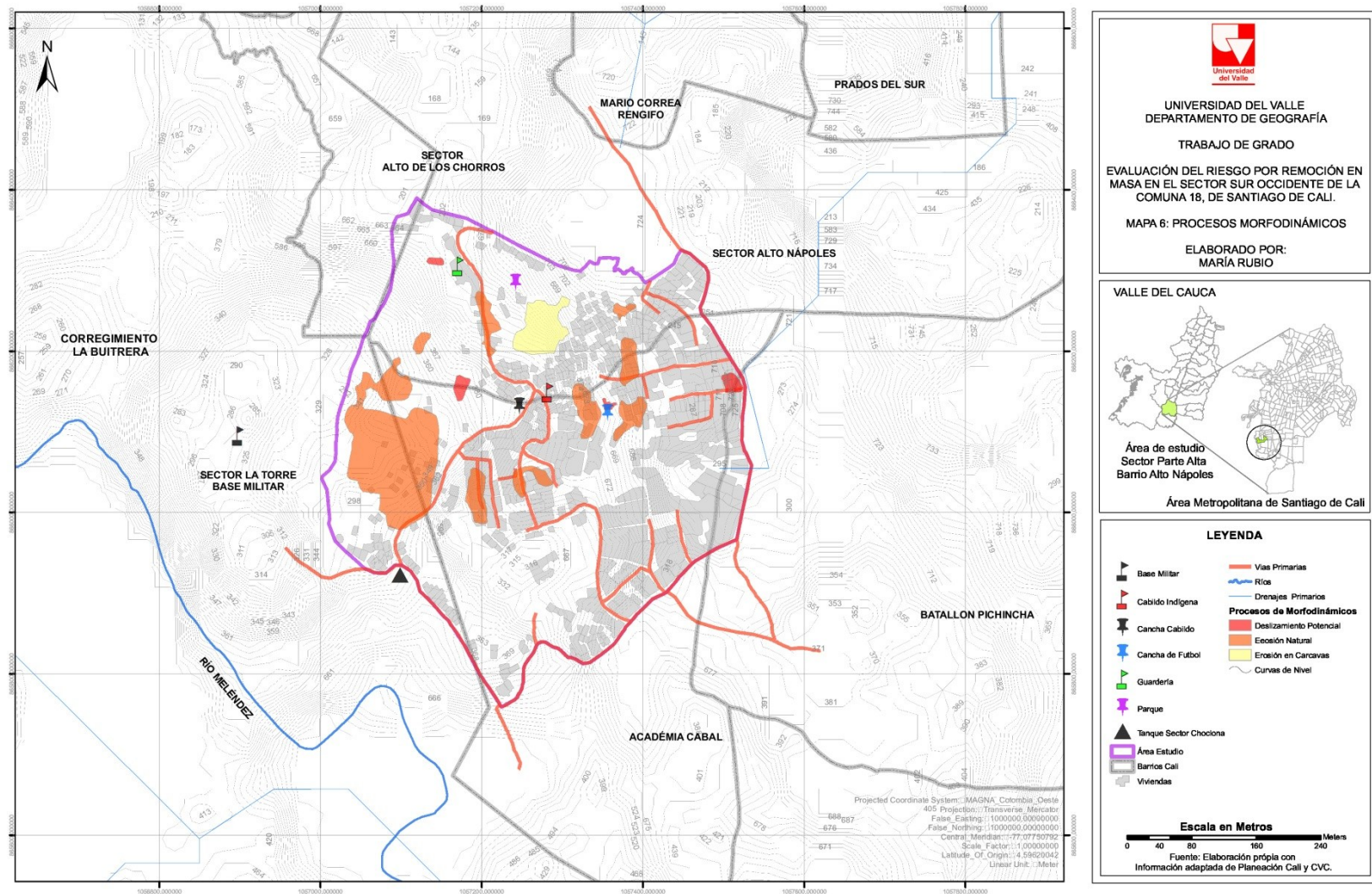
Dependiendo del papel que juega cada uno de estos actores en la susceptibilidad se le asignó un valor (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Tipos de Procesos Morfodinámicos**

| Procesos                   | Valor |
|----------------------------|-------|
| Deslizamientos potenciales | 100   |
| Erosión en cárcavas        | 40    |
| Erosión por pendientes     | 25    |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Mapa de Procesos Morfodinámicos



**4.1.2.4 Pendientes.** Según Ingeominas, 2005<sup>44</sup>, esta área corresponde a zonas de pendientes escarpadas y moderadas, que hacen parte de la cordillera Occidental. Las pendientes suaves se toman de 0 a 10 %, las moderadas de 11 a 20 %, altas de 21 a 40 % y las escarpadas corresponden a las que presentan pendientes iguales o mayores a 41 %.

El sector de estudio, se encuentra sometido a procesos propios de la construcción y a la mecanización acelerada del terreno, los usos de los suelos son inadecuados por lo que están altamente erosionados y meteorizados, seguido a esto se encuentra el talud sobre el cual está asentada la mayor parte de la población. La pendiente es alta al igual que la degradación, se pudo evidenciar que las porciones de roca que se observan firmes a simple vista se desmoronan al tacto, la montaña sobre la cual se encuentra otro porcentaje importante de la población está socavada por la actividad minera que se realizaba en años pasados, a la mina no se le realizó el procedimiento de cierre legal, por lo que los accesos están abiertos y sirven de vivienda para algunas personas, en esta montaña se presenta erosión por la pendiente escarpada. Al noroccidente del sector, corresponde a la antigua mina al igual que el centro del sector de estudio, las pendientes moderadas y altas se distribuyen en la mayor parte del lugar, las pendientes suaves se ubican sobre todo en los bordes (Figura 11). Dependiendo del grado de inclinación se les asignó un peso de 0 a 100, (Cuadro 10).

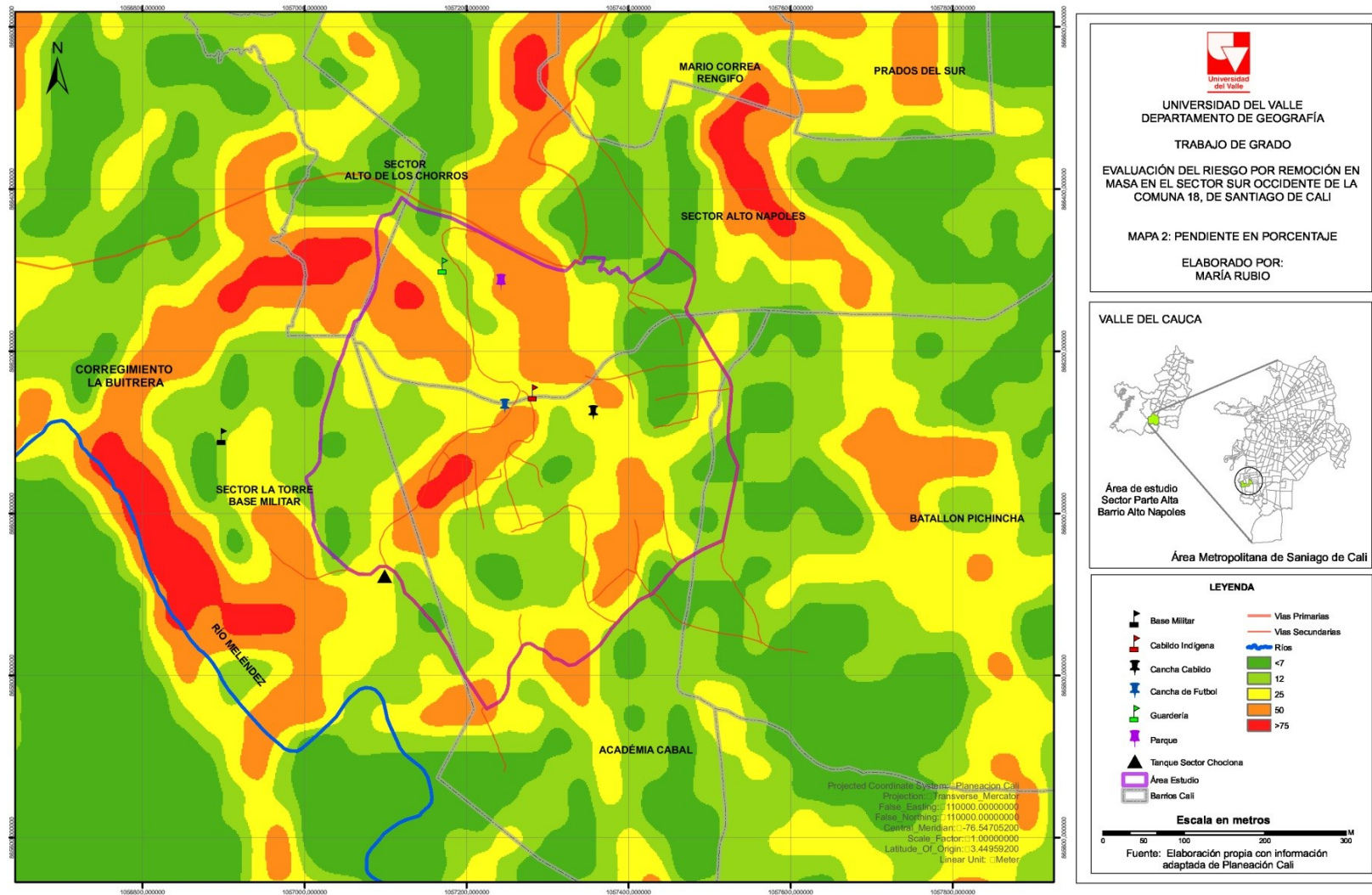
**Cuadro 10. Pendientes.**

| Tipo de Pendientes | Valor |
|--------------------|-------|
| Escarpes           | 100   |
| Altas              | 70    |
| Moderadas          | 40    |
| Suaves             | 20    |

Fuente: Elaboración Propia.

<sup>44</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Estudio de Microzonificación, Op. cit. p. 35.

Figura 11. Mapa de pendientes



**4.1.2.5 Coberturas del terreno.** El sector de estudio está ubicado en un terreno heterogéneo que presenta zonas escarpadas y erosión severa con presencia de cárcavas. Según lo establecido por el POT, 2000<sup>45</sup>, debería dársele un uso ambiental y/o forestal. La intervención humana puede llegar a desencadenar en ciertos casos riesgos que impactan negativamente a la población. Ejemplo de estas intervenciones es la tala de la vegetación, el suelo desnudo, escasos pastos y las viviendas ocupan casi la totalidad del lugar. Estos factores cambian drásticamente las características ambientales de un área, este sector presenta zonas inestables y cicatrices de deslizamientos antiguos. Las coberturas se ven afectadas principalmente por acciones antrópicas que afectaran negativa o positivamente el terreno dependiendo de las actividades que realice el hombre con ella, en el sector las intervenciones principales son relacionadas con la vivienda (Figura 12).

La cobertura más notoria es la de las viviendas con un 39.7% del área total del sector de estudio, la construcción de viviendas se ha dado de forma vertiginosa en los últimos meses, lo que lleva a que los pocos espacios que aún tienen vegetación corran el riesgo de desaparecer. El suelo desnudo es la segunda capa presente en el sector con un 35.2% del total del área.

El sector está erosionado en la mayor parte de su área, presenta escasos relictos de arbustos y pastos, los cuales no son suficientes para ejercer amarre a los suelos que han sido removidos de un lugar a otro con el fin de acondicionar sitios de la ladera para la construcción de viviendas, los suelos desnudos han tendido a aumentar su nivel de erosión hacia el oriente del sector contribuyendo a la ampliación de las cárcavas.

A las coberturas del terreno se les asignó un valor dependiendo de su incidencia en el grado de susceptibilidad (Cuadro 11).

---

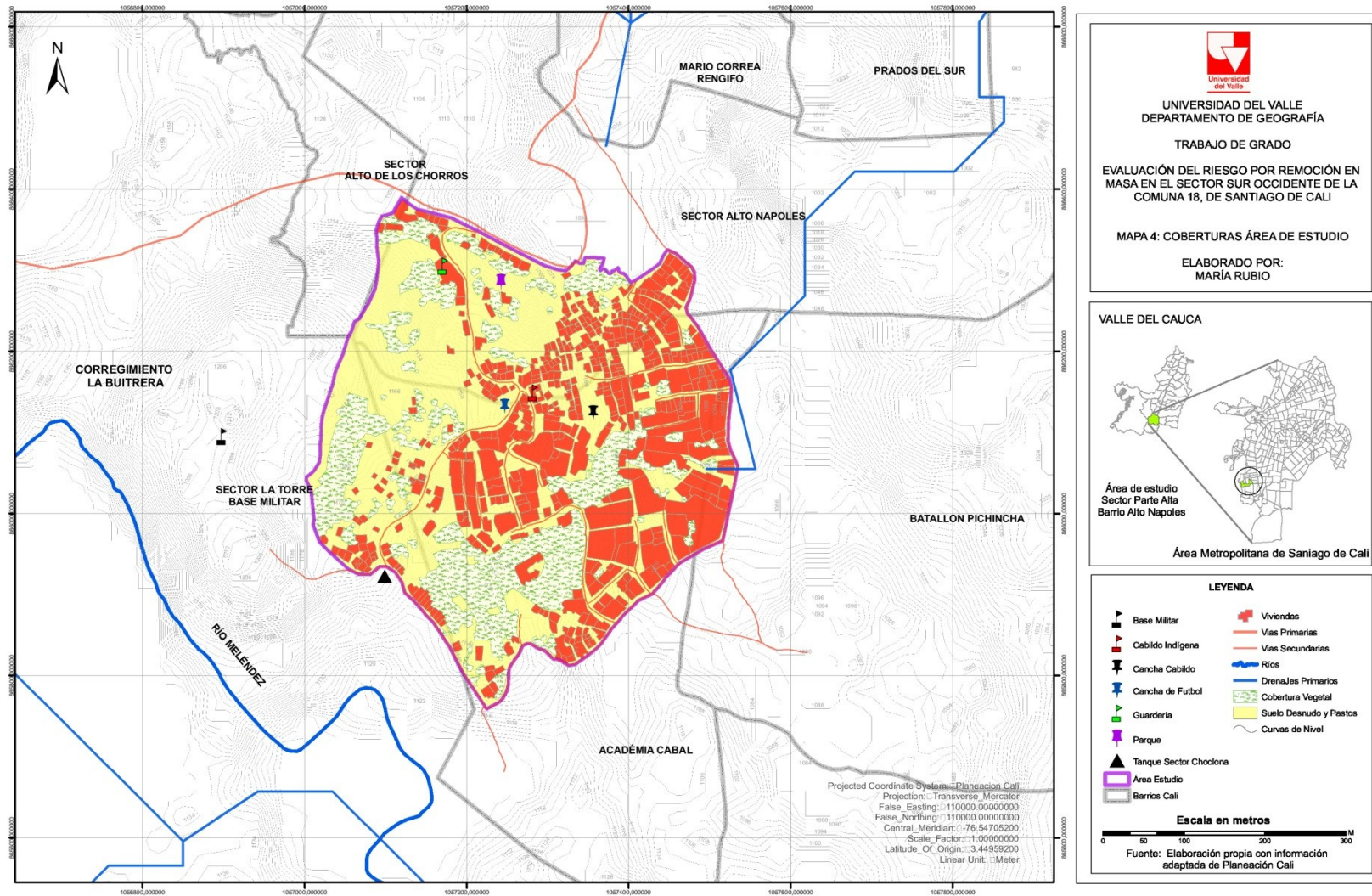
<sup>45</sup> POT. (Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali). 245 p.

**Cuadro 11. Coberturas del Terreno.**

| Coberturas del Terreno | Valor |
|------------------------|-------|
| Viviendas              | 100   |
| Suelo desnudo y pastos | 40    |
| Vegetación             | 20    |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Mapa de Coberturas del Sector Sur Occidente Comuna 18



**4.1.3 Susceptibilidad total.** Teniendo en cuenta las características físicas del área de estudio y su grado de incidencia en la generación de la susceptibilidad se definieron 4 rangos (Cuadro 6):

**4.1.3.1 Muy Alta.** (100 a 75). Abarca las zonas donde hay personas asentadas, presencia de unidades de Formación volcánica (altamente meteorizada), hay deslizamientos potenciales, las pendientes propias del terreno son escarpadas.

**4.1.3.2 Alta.** (74 a 49) en este rango se ubican deslizamientos potenciales, hay presencia de pendientes altas y habitan personas o tienen pequeños negocios.

**4.1.3.3 Media.** (48 a 23) comprende las rocas sedimentarias, se encuentra erosión en cárcavas, presenta pendientes moderadas, hay escasa vegetación (pastos).

**4.1.3.4 Baja.** (22 a 0) hacen parte de este rango las pendientes suaves, hay presencia de erosión, bosque rastrojos y pastos, presencia de viviendas y las áreas más grandes están destinadas a la recreación y puntos de reunión.

El mapa de la susceptibilidad es el resultado de la superposición de las capas resultantes de las cuatro variables propuestas, a estas variables se les dio un peso relativo de acuerdo a su aporte en los PRM. Se considera que la pendiente es uno de los factores determinantes en las remociones por lo que se le asignó un peso de 30 %, a los procesos morfodinámicos 25 %, Unidades geológicas 25 %, y a las coberturas del terreno 20 %.

El área de estudio se dividió en 9 sectores basados principalmente en los marcados límites físicos que hay en el área de estudio como las vías, callejones y algunas pendientes y las organizaciones sociales o étnicas. Los sectores se enumeraron de la siguiente manera: SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6, SA7, SA8 y SA9, en un principio solo fue dividido para acciones de la evaluación de la vulnerabilidad, posteriormente se vio la necesidad de utilizar la división del área en sectores para evaluar la amenaza. Finalmente la evaluación de la amenaza se realizó en los nueve sectores sin embargo la evaluación de la vulnerabilidad solo fue posible realizarla en siete sectores puesto que por cuestiones de seguridad no se pudieron aplicar las encuestas propuestas en dos sectores (Anexo A).

Los sectores excluidos de la evaluación de la vulnerabilidad son SA8 y SA9, cabe destacar que los sectores que se encuentran dentro del perímetro del área de estudio son seis y van del SA1 al SA6. Los otros sectores están por fuera del perímetro, pero fueron tenidos en cuenta, puesto que se cree que saldrían afectados en caso de la ocurrencia de un desastre por su ubicación.

La superposición de los mapas ponderados dio como resultado que el sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali, presenta susceptibilidad muy alta en el sector SA2, alta en los sectores SA3 y SA5, media en los sectores SA4, SA6 y SA7, baja en el sector SA1 (Figura 13).

El sector SA2, presenta susceptibilidad muy alta consecuencia de su ubicación (terreno con pendientes escarpadas), su geología que pertenece a roca volcánica la cual se encuentra altamente meteorizada y a la erosión por efectos de la pendiente.

La mayor parte de la población se localiza en el centro del sector que corresponde a los sectores SA3, SA4 y parte del sector SA5. La susceptibilidad que se presenta es principalmente alta, ocasionada principalmente por las altas pendientes, y los

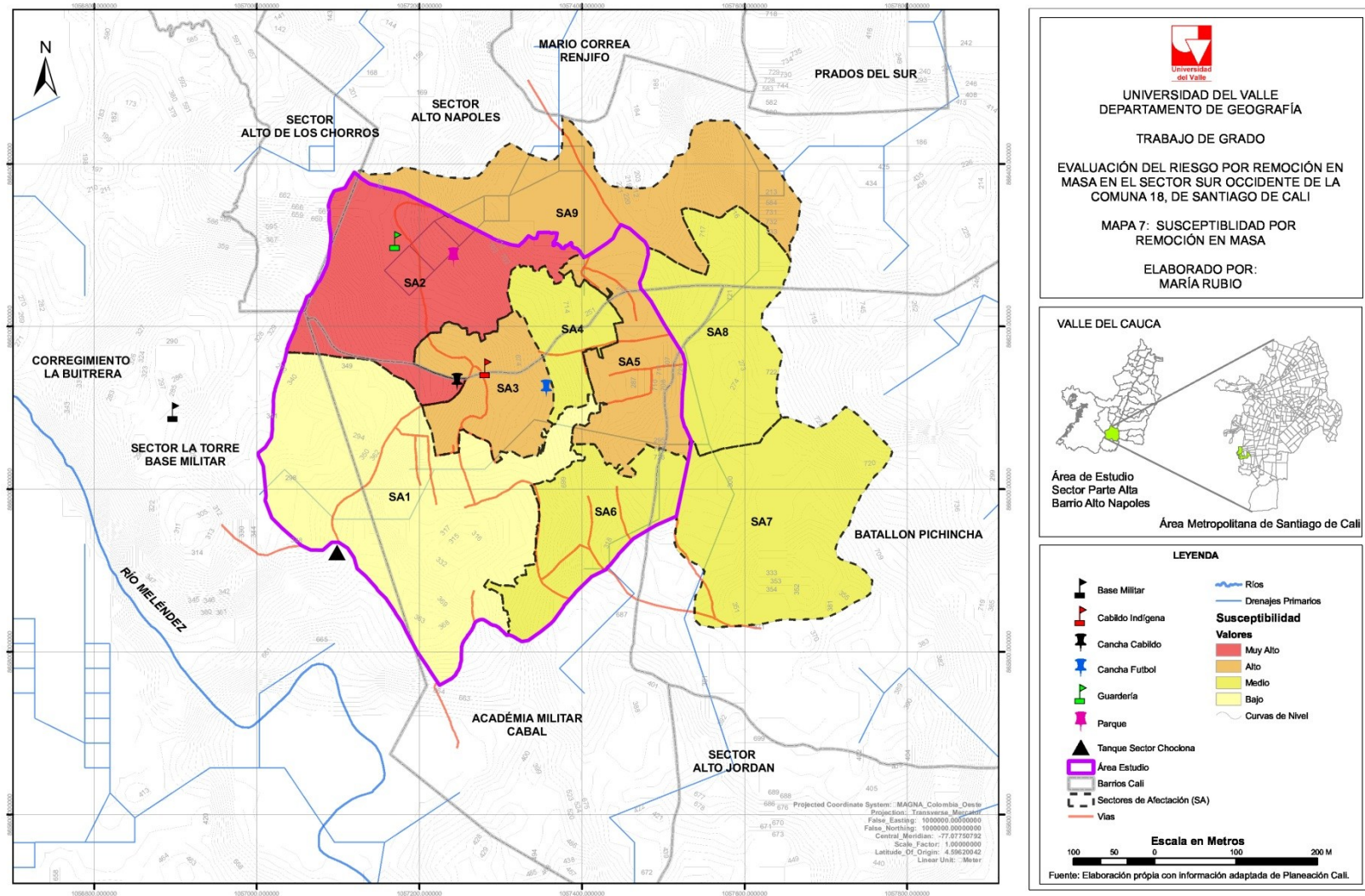
suelos no consolidados, en dichos sectores se han registrado caídas de rocas y deslizamientos.

Los sectores SA3 y parte del SA5 presentan susceptibilidad alta, estos sectores se localizan en el norte y centro del sector de estudio, en esta área hay altas pendientes suelos meteorizados, alta concentración de viviendas y se han registrados PRM, la población ha implementado el corte vertical y horizontal formando ángulos en la montaña de hasta 90 grados aproximadamente para poder “introducir” las viviendas.

La susceptibilidad media se presenta al occidente y noroccidente del área en los sectores SA4, SA6 y SA7 donde hay presencia de viviendas, pero están ubicadas en la falda de la montaña y las viviendas son más escasas, han tomado medidas de mitigación contra la ocurrencia de PRM, sin embargo se presentan pendientes moderadas y suelos erosionados.

EL sector SA1 presenta una susceptibilidad baja, ya que presenta pendientes suaves, cuenta con relictos de vegetación como bosque secundario, rastrojo y pastos, la mayor parte de esta área esta destinada a la recreación y a las vías de acceso, la población ha tomado algunas medidas de mitigación contra la erosión.

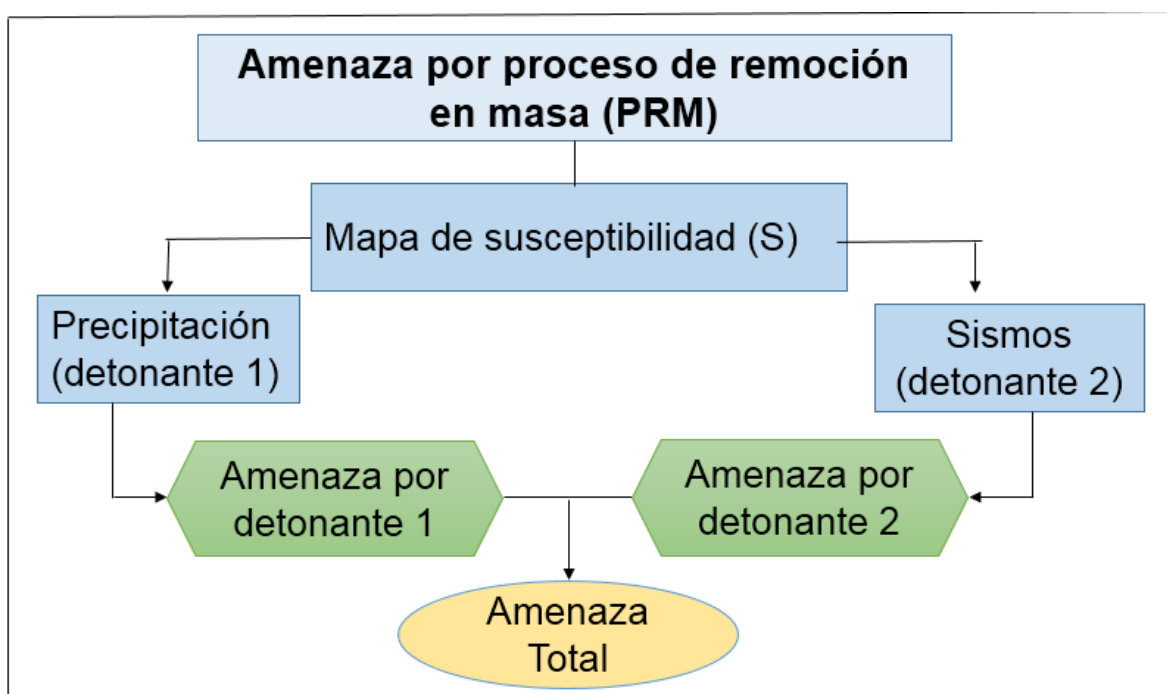
Figura 13. Mapa de áreas susceptibles a sufrir PRM



## 4.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA A PRM

Para determinar el nivel de amenaza se realizaron las evaluaciones de dos factores detonantes de los PRM, las precipitaciones y los sismos. Se cruzaron las capas cartográficas resultantes de este proceso, con la capa de la susceptibilidad (Figura 14) obteniendo el mapa de la amenaza total.

Figura 14. Diagrama metodológico para evaluación de la amenaza



Fuente: Elaboración propia

**4.2.1 Evaluación del factor detonante por precipitación.** Las precipitaciones y los sismos son detonantes de los PRM, que tienen gran impacto sobre el municipio como sistema. Según Cali en Cifras, 2013<sup>46</sup>, la precipitación anual (mm) de Santiago de Cali es de 1.019.2.

<sup>46</sup> Departamento Administrativo de Planeación. Cali en Cifras 2013. Santiago de Cali, 2014. P 21

Cali se encuentra situada en el denominado “Segmento de los Andes del Norte” al que pertenecen Ecuador, Colombia y Venezuela, ambiente considerado como altamente propenso a la actividad sísmica por cuanto está afectado por un complejo sistema de fuerzas derivadas de la convergencia de las placas tectónicas Caribe, Nazca y Suramérica. Es así como la ciudad se ha visto afectada por diversos sismos a lo largo de su historia<sup>47</sup>.

**4.2.1.1 Precipitación en el sector de estudio.** La información meteorológica utilizada en el estudio fue suministrada por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y el Centro de la Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA). Se tomaron en cuenta los datos de cuatro estaciones: Cañaveralejo PG<sup>48</sup>, (ubicada en el corregimiento Los Andes), estación La Fonda<sup>49</sup>, en el corregimiento La Buitrera, estación Cañaveralejo Edificio<sup>50</sup>, (se ubica en el casco urbano de Santiago de Cali), estación Meléndez<sup>51</sup> (casco urbano). Las tres primeras estaciones hace parte de la cuenca de los ríos Lili-Melendez-Cañaveralejo y la estación Meléndez de las cuencas Lili-Melendez-Pance. Las estaciones están ubicadas fuera de la comuna 18 (Figura 15). No se encontraron registros de estaciones que estén ubicadas directamente en el sector de estudio por lo que se optó por el uso de la información disponible de las estaciones más cercanas al área de estudio.

---

<sup>47</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS). Estudio de Microzonificación Sísmica de Santiago de Cali. Informe 2-1, Investigaciones Geológicas y Geomorfológicas. Bogotá: 2005. 49 p.

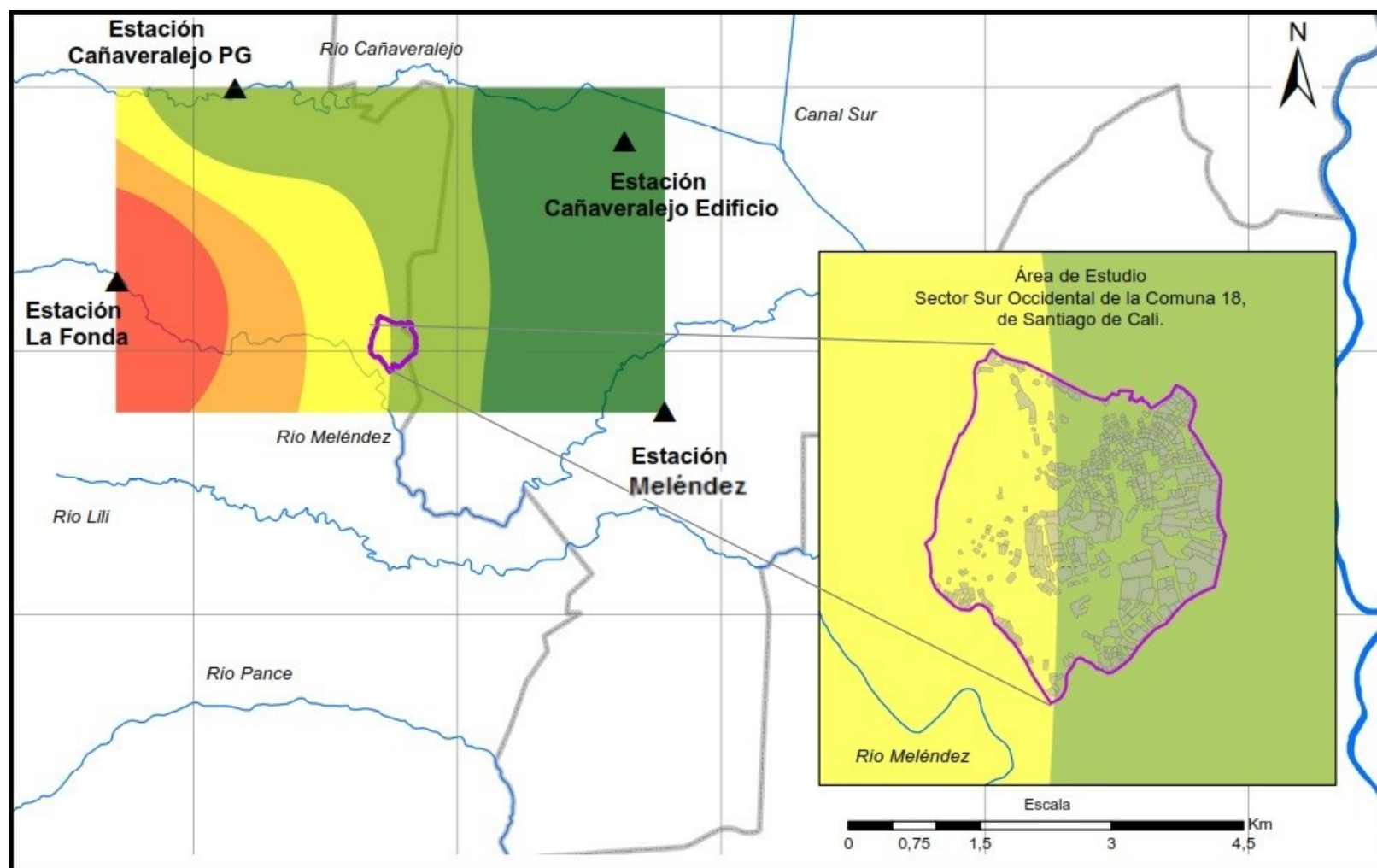
<sup>48</sup> CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). Precipitación Total Mensual Multianual: Estación Cañaveralejo PG. Cali, 2014.

<sup>49</sup>CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. Estación Cañaveralejo-Edificio. 1984-2014.

<sup>50</sup>CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. Estación La Fonda. 1964-2014.

<sup>51</sup> CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR (CENICAÑA). Boletines diarios de la Red Meteorológica Automatizada – RMA [online]. Estación Meléndez.

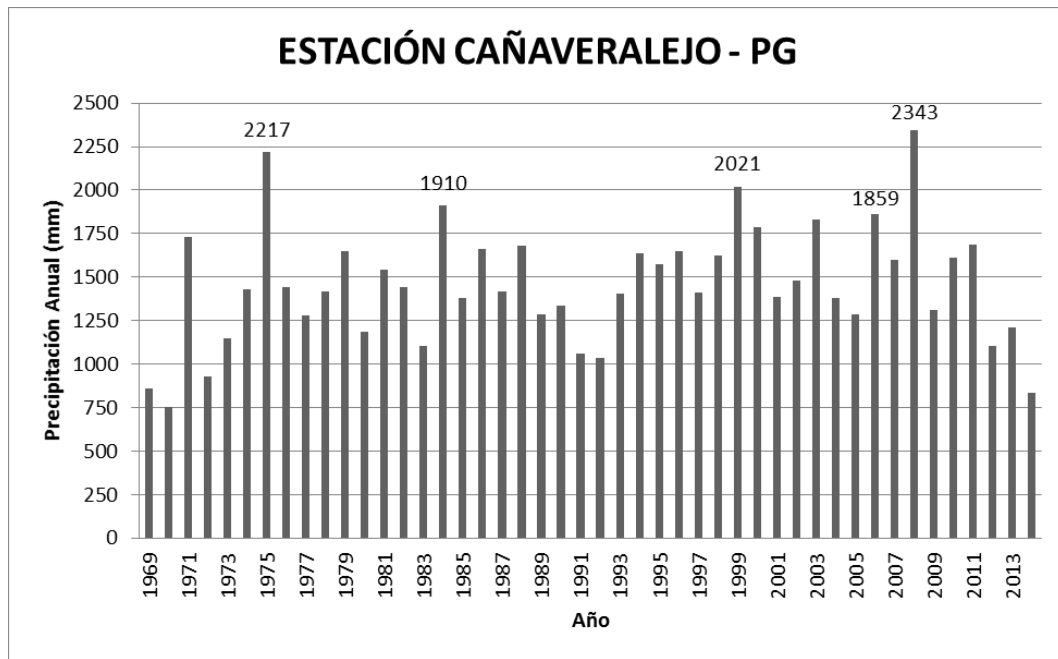
Figura 15. Ubicación de estaciones meteorológicas con respecto al área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

La precipitación máxima registrada en la estación Cañaveralejo PG es de 2.343,2 mm anual, para el año 2008, seguida por las precipitaciones de los años 1975, 1999 y 1984 (Figura 16).

**Figura 16. Precipitación anual estación Cañaveralejo PG**



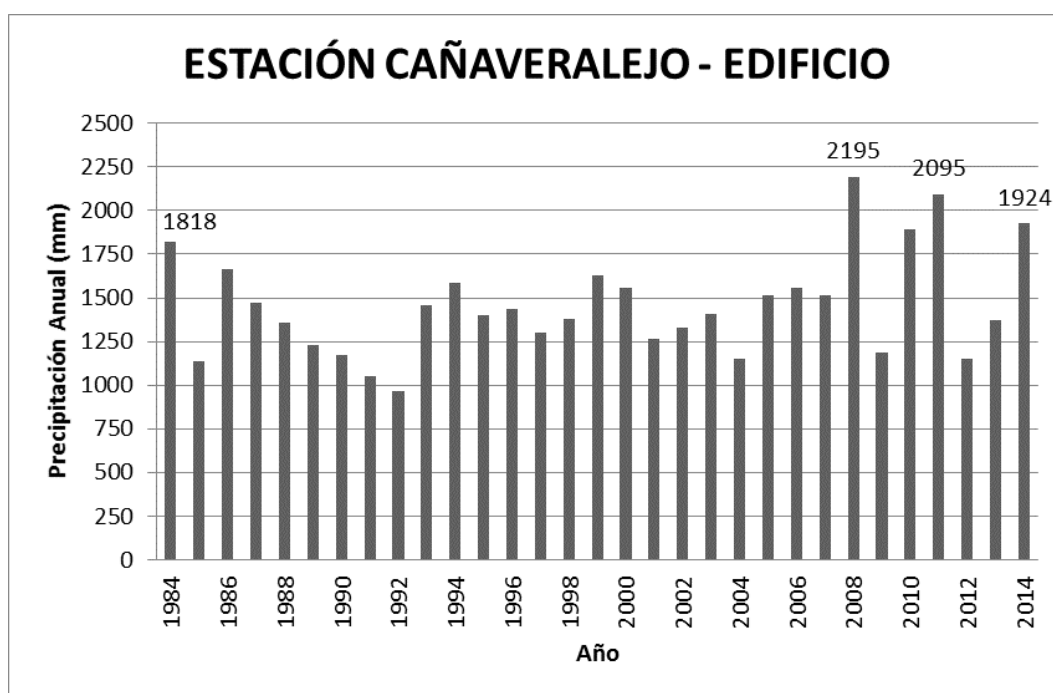
Fuente: Elaboración propia, con datos suministrados por la CVC, 2014.

La estación Cañaveralejo Edificio, presenta un registro de 2.195 mm anual, para el año 2008, seguida por la precipitación de los años 2011, 2014 y 2010 (Figura 17).

Comparando los datos de las precipitaciones de las estaciones Cañaveralejo PG y Edificio con los datos de la historicidad de procesos de remoción en masa en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 (Cuadro 7), se encuentra una relación entre los dos, puesto que se presentaron eventos en el año 2008, donde según estos datos se dieron los promedios más altos de precipitaciones registrados en su historia. Las estaciones registraron más de 2.100 mm, anuales.

También se presentaron eventos de remoción en masa en los años 2010, 2011 y 2014, lo que concuerda con las altas precipitaciones registradas por la estación Cañaveralejo Edificio. Cabe destacar que los eventos han ocurrido durante las precipitaciones.

**Figura 17. Precipitación anual estación Cañaveralejo Edificio**



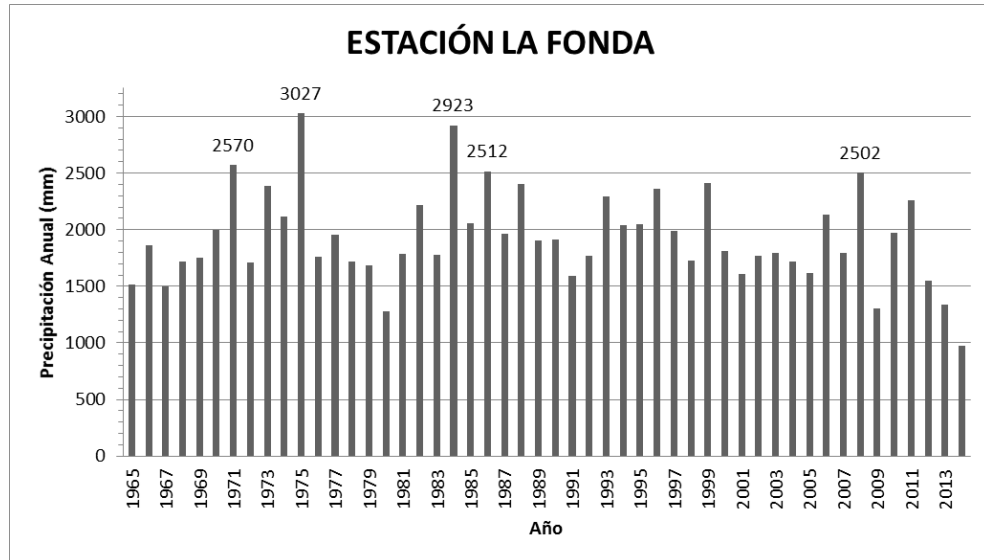
Fuente: Elaboración propia, con datos suministrados por la CVC, 2014.

La estación La Fonda registra una precipitación máxima de 3.027,0 mm anuales, para el año 1975, siendo esta estación la que posee el registro más alto comparado con las otras estaciones. Cabe anotar que también es la que posee mayor número de registros. También se presentaron altas precipitaciones en los años 1984, 2008 y 2011 (Figura 18).

Por su parte la estación Meléndez es la que presenta los registros más bajos de precipitación, lo que podría estar relacionado con su ubicación, en cambio las tres estaciones mencionadas anteriormente se ubican en zonas altas de la cordillera

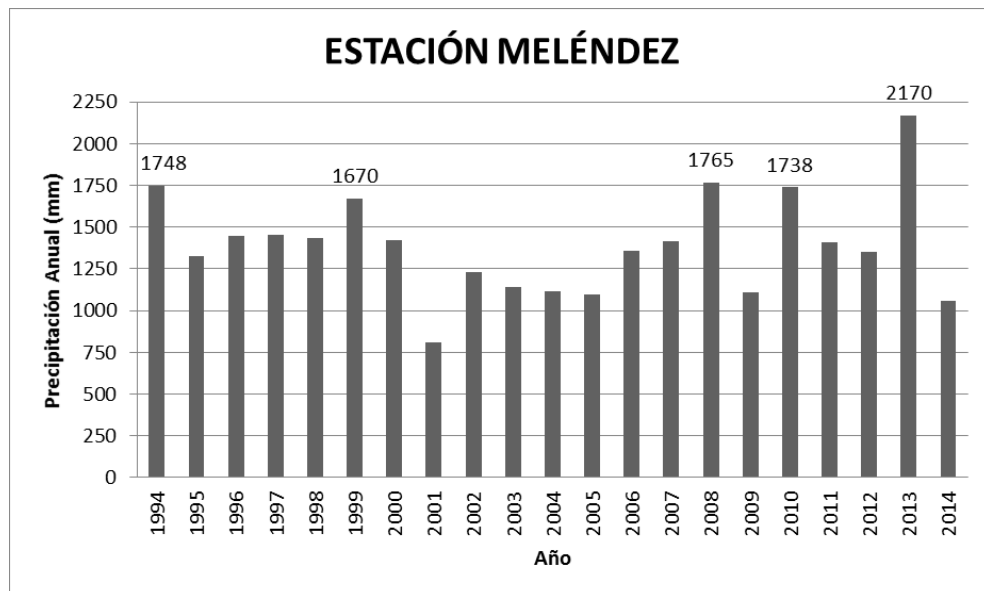
Occidental, la máxima precipitación. En el año 2013 con una cantidad de 2.170 mm anual (Figura 19).

**Figura 18. Precipitación anual estación La Fonda**



Fuente: Elaboración propia, con datos suministrados por la CVC, 2014.

**Figura 19. Precipitación anual estación Meléndez**



Fuente: Elaboración propia, con datos suministrados por CENICAÑA, 2014.

Basándose en la información anterior, cabe anotar que en el año 2008 se presentaron deslizamientos y caída de rocas que no dejaron pérdidas. En el 2010 también se presentaron deslizamientos, en esta ocasión se registró la pérdida de una vivienda y lesiones a una persona. En el primer periodo del año 2013 se registraron eventos al igual que en el año 2014, donde se tomaron reportes y se hicieron observaciones en campo el mismo día en que ocurrieron las precipitaciones, notando caída de rocas en uno de los bordes del talud donde se encuentra una pequeña vivienda y la afectación de una vivienda que se ubica en el costado norte del talud.

**4.2.1.2 Precipitaciones como factor detonante de los PRM.** La relación de las precipitaciones con los PRM está dada por la duración y la intensidad con que se producen. Las lluvias cortas pero de gran intensidad son propensas a desencadenar remociones al igual que las lluvias poco intensas pero de larga duración.

“En la parte media del valle del río Cauca, desde Cartago hasta Puerto Tejada, la precipitación no supera los 1500 mm con excepción del área de Cali, Yumbo, Cerrito y Candelaria, donde oscilan alrededor de 1000 mm. Hacia la parte alta y en las vertientes, la lluvia es un poco mayor. Alcanza valores cercanos a 2000 mm. En la parte baja oscila entre 4000 mm en las estribaciones de las cordilleras y 1500 en la desembocadura del río”<sup>52</sup>.

El agua proveniente de las precipitaciones tiende a infiltrarse o a escurrir dependiendo de las características físicas del suelo. En ambos casos se puede generar un perjuicio sobre todo si los suelos están degradados o compactados por acciones antrópicas que se dan principalmente por los procesos de urbanización. En muchos casos realizados sin tener en cuenta planificación alguna que pueda

---

<sup>52</sup> BERNAL. et-al, 1989 citado por UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA [en línea]. Dirección Nacional de Innovación Académica.

aportarles un control de las aguas residuales, seguido a esto para urbanizar se procede comúnmente a descapotar el suelo quitándole la capa vegetal que ejerce una acción protectora. En el caso concreto del área de estudio estas condiciones son críticas porque son terrenos degradados que han sido explotados por la minería de carbón.

Las características hidrológicas están relacionada son los PRM, debido a que los suelos tienen un límite de saturación y al alcanzarlo los poros estarán llenos creando con ellos inestabilidad del suelo.

Las precipitaciones tienen un periodo de retorno que puede variar de 10 a 100 años, es decir que cada 10 o 100 años ocurren precipitaciones muy fuertes. Para este estudio se tomaron periodos de retorno de 5, 10, 15 y 20 años, donde se establece la probabilidad de ocurrencia de una precipitación máxima para cada periodo, teniendo en cuenta los datos de precipitación en 24 horas.

Para el cálculo de las precipitaciones máximas en un periodo de retorno determinado se utiliza el Método Gumbel, cuya fórmula es la siguiente:

$$X = X_m + D_x = X_m + k * s_{n-1}$$
$$k = y_T - y_N / S_N \quad [3]$$

Donde:

X - Valor máximo (caudal o precipitación) para un período de retorno T.

X<sub>m</sub> - Media de la serie dada de valores máximos

D<sub>x</sub> - Desviación respecto a la media

K - Factor de frecuencia, que indica el número de veces de desviación típica en que el valor extremo considerado excede a la media de la serie.

s<sub>n-1</sub> - Desviación estándar, desviación típica de los valores extremos.

Para el cálculo de k se tiene que:

$y_T$  - Variable de Gumbel para el período de retorno  $T_r$ , y se determina a partir del valor del período de retorno.  $y_T = -\ln \ln (T/T-1)$

$y_N / S_N$  - Valor a partir del número de años de la serie.

$\ln$  – Logaritmo natural

El periodo de retorno se define como el intervalo de recurrencia ( $T_r$ ), al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada. Para el cálculo de la cantidad máxima de precipitación (mm) que se puede esperar en un día, (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Precipitación máxima esperada**

| Parámetros                       | Estación |                 |                    |          |
|----------------------------------|----------|-----------------|--------------------|----------|
|                                  | La Fonda | Cañaveralejo PG | Cañaveralejo Edif. | Meléndez |
| Número de Datos                  | 50       | 45              | 30                 | 20       |
| Cantidad Máxima (mm)             | 3027,00  | 2539,14         | 2392,23            | 2170,00  |
| Periodo de Retorno Máximo (años) | 51       | 46              | 31                 | 21       |
| Probabilidad (%)                 | 1,96%    | 2,17%           | 3,22%              | 5,00%    |

Fuente: Elaboración propia, con datos de la CVC y CENICAÑA.

El cálculo de los periodos de retorno con precipitaciones extremas se realizó utilizando las formulas de la Distribución de Gumbel, donde la función de la distribución está determinada por:

$$F(x) = -e^{-e^{-d(x-u)}}$$

Donde:

$$x = u - \frac{\ln(-\ln F(X))}{d}$$

Para un evento máximo de precipitación se tiene

$$x_{max} = \frac{S_{n-s}}{y_T} * [y_N + \ln(-\ln T_r - 1/T_r)] + x_m$$

El cálculo probabilístico de las lluvias máximas acumuladas se realizó con el fin de determinar la probabilidad de ocurrencia en diferentes periodos de retorno. El periodo de retorno a 5 años muestra que la probabilidad de ocurrencia de un evento con un grado de amenaza media es del 0.20% y para periodo de retorno de 10 años la probabilidad de ocurrencia es de 0.18%, (Cuadro 13).

**Cuadro 13. Periodos de retorno de precipitaciones extremas**

| <b>Periodo de Retorno (<math>T_r</math>)<br/>Años</b> | <b>Probabilidad (%)</b> | <b>Precipitaciones extremas mm<br/>(24 horas)</b> |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------|
| 5                                                     | 0,20                    | 187                                               |
| 10                                                    | 0,18                    | 229                                               |
| 15                                                    | 0,10                    | 248                                               |
| 20                                                    | 0,08                    | 261                                               |

Fuente: Elaboración propia, con datos de la CVC y CENICAÑA

**4.2.1.3 Cálculo de la amenaza por detonante precipitaciones.** Para calcular la amenaza por precipitación se usó la siguiente calificación (Cuadro 14).

**Cuadro 14. Ponderación factor precipitaciones**

| <b>Amenaza</b> | <b>Precipitación (mm)</b> | <b>Valor</b> |
|----------------|---------------------------|--------------|
| Muy Alta       | 1.674,60 - 1569,11        | 3            |
| Alta           | 1.569,11 - 1.478,39       | 2            |
| Media          | 1.478,39 - 1.301,00       | 1            |
| Baja           | <1.300                    | 0            |

Elaboración propia.

**4.2.1.4 Resultados de la amenaza por precipitación.** La probabilidad de ocurrencia de la máxima precipitación esperada en un periodo de retorno de 5 años es del 20%, lo que representa una amenaza media. Se obtuvo como resultado de este proceso el mapa de la precipitación. Para llegar a este resultado fue necesario el procesamiento de la información de las precipitaciones registradas por cuatro estaciones meteorológicas.

Para realizar la interpolación de los datos se consultado diferentes métodos. Arcgis Resource Center (1995)<sup>53</sup>:

**Método Kriging.** Kriging es un proceso que tiene varios pasos, entre los que se incluyen, el análisis estadístico exploratorio de los datos, el modelado de variogramas, la creación de la superficie y (opcionalmente) la exploración de la superficie de varianza. Este método es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos.

**Método procesamiento regional de la salida.** La cantidad de regiones en las direcciones x e y son las mismas y tienen forma rectangular. La cantidad de regiones se determina dividiendo la cantidad total de puntos del dataset de puntos de entrada por el valor especificado para la cantidad de puntos. Para los datos distribuidos con menor uniformidad, las regiones pueden contener una cantidad de puntos significativamente diferente, siendo el valor para la cantidad de puntos un mero promedio aproximado. Si en alguna región la cantidad de puntos es menor que ocho, esa región se expande hasta contener un mínimo de ocho puntos.

**Método ponderación de distancia inversa IDW.** La herramienta IDW utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios

---

<sup>53</sup> BIBLIOTECA DE AYUDA ARCGIS. Arcgis Resource Center. Copyright © 1995-2012 Esri. Op. cit.,p www.arcgis.com.

de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio.

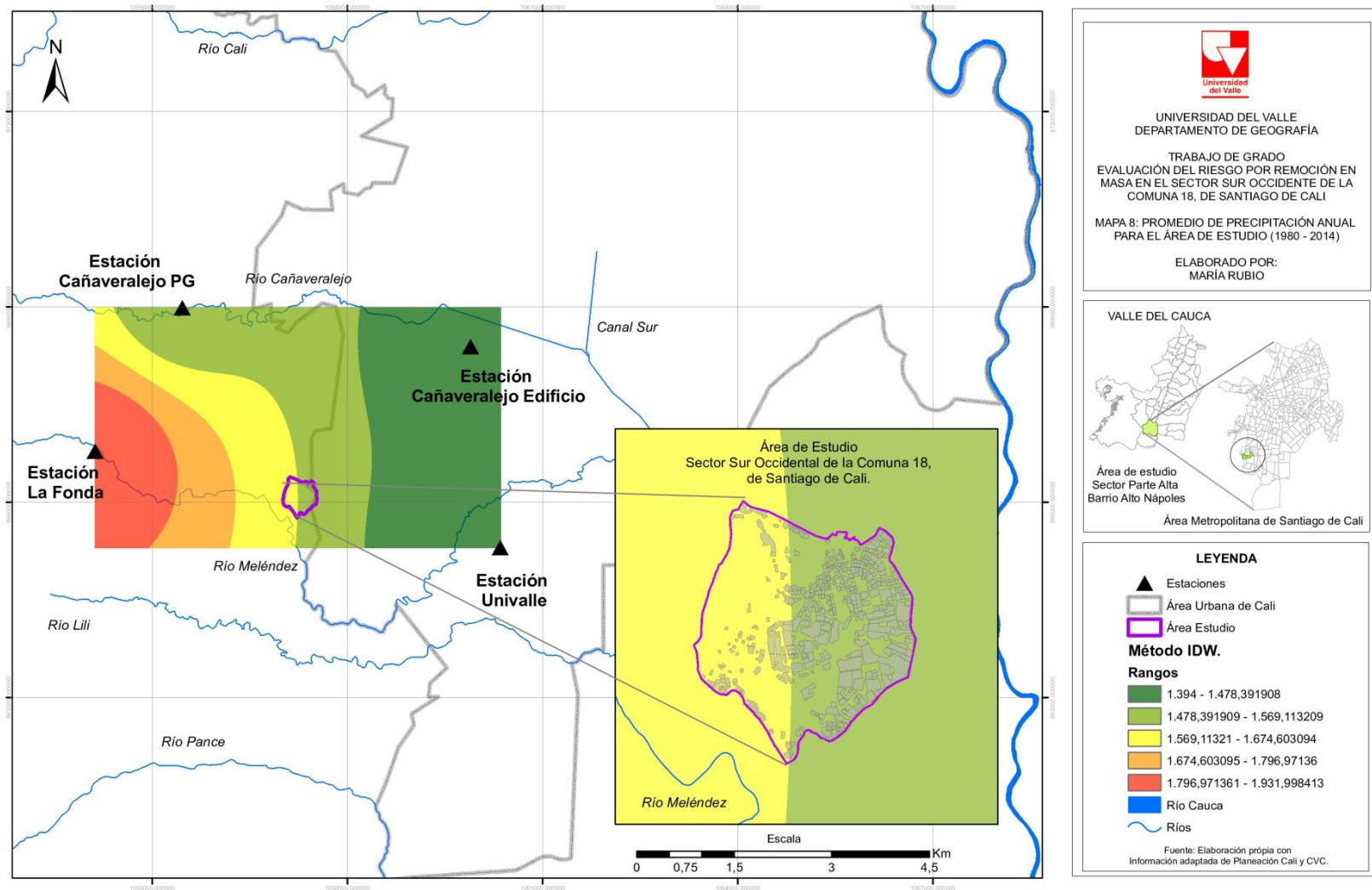
Tomando en cuenta lo anterior se optó por la utilización del método IDW, puesto que se considera es el ofrece menor complejidad, requiere menos información, en este caso datos de precipitación de diferentes estaciones meteorológicas, con este método se puede interpolar utilizando tan solo cuatro puntos y se obtienen datos confiables, mientras que con los otros métodos es necesario utilizar por lo menos 8 puntos. Además el método IDW, aporta resultados de fácil comprensión e interpretación (Figura 20).

El proceso realizado con el método IDW, arrojó que el sector de estudio se encuentra abarcado por dos rangos de precipitación, los cuales lo dividen en dos áreas, oriental y occidental. En el costado oriental se registran precipitaciones menores a las que registra el costado occidental. Según estos rangos de precipitación, se obtuvo que para el oriente la amenaza es alta y para el occidente la amenaza es muy alta. Lo que representa que el factor precipitación es muy alto.

Se debe resaltar que el costado occidental es también la parte con mayores pendientes y adicionalmente el mayor porcentaje de la población está asentada en la parte media del sector occidental y en cambio en el sector oriental la población abarca todo el lugar, lo que trae como consecuencia que la población presente problemas con las corrientes de agua que se desplazan con velocidad y sin control en la ladera.

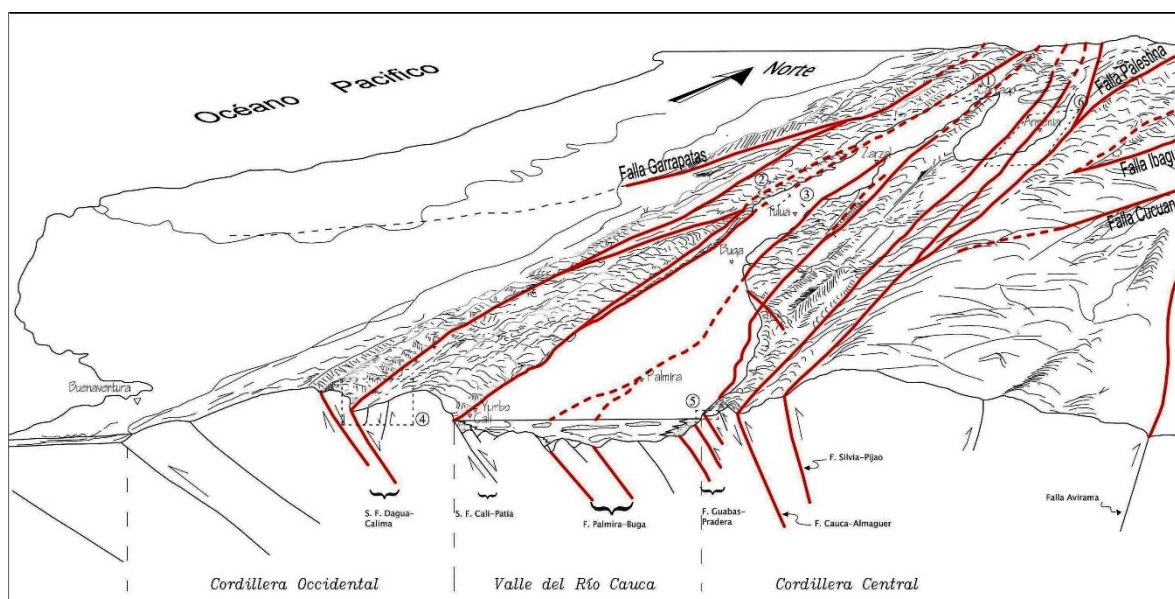
La evaluación de la precipitación en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali, arrojó como resultado que es alta con un promedio anual entre los rangos 1.478,391909 y 1.674,603094 mm.

Figura 20. Mapa de precipitación Sector Sur Occidente comuna 18



**4.2.2 Evaluación del factor detonante por sismicidad.** Según Ingeominas 2005<sup>54</sup>, Santiago de Cali se encuentra atravesada por varias fallas geológicas (Figura 21), que la hacen propensa a sufrir sismos de diferentes magnitudes. Es conocido que los sismos deterioran la estructura de los suelos, lo que hace que los deslizamientos posteriores a las lluvias lleguen a ser más fuertes que los que se producen en el momento del sismo, ya que generalmente cuando se produce un sismo hace que el suelo se agriete y por esas grietas el agua se infiltre produciendo la saturación del suelo, llevándolo al desplome.

**Figura 21. Fallas geológicas que atraviesan a Santiago de Cali.**



Fuente: INGEOMINAS (2005).

**4.2.2.1 Metodología para el cálculo de la amenaza sísmica.** La distribución del número de eventos con diferentes magnitudes, ocurridos dentro de un área específica y en un tiempo determinado, se conoce como ley de recurrencia sísmica

<sup>54</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS). Estudio de Microzonificación Sísmica. Op.cit., p. 52.

y se expresa en función de la relación frecuencia-magnitud de Gutenberg-Richter así:

$$\text{Log } N = a - bM \quad [4]$$

Donde:

N - Es el número de sismos con magnitud igual o mayor que M.

M - Magnitud del sismo

a y b son parámetros que describen la sismicidad regional

Según Díaz-Sánchez, 2010<sup>55</sup>, el modelo más aceptado para evaluar el riesgo sísmico es el de Poisson el cual se basa en modelos de probabilidades, que supone que los eventos, al menos en las sacudidas principales, se producen en un modo aleatorio e independiente, es decir, los tiempos de origen, las coordenadas de los focos, y las magnitudes son variables mutuamente independientes, o sea la ocurrencia de un evento no influye en la de otro y la probabilidad que dos sismos sucedan el mismo día y sitio es casi nula.

La ley de Poisson se expresa de la siguiente manera:

$$P_n(t) = \frac{(kt)^n e^{-kt}}{n!} \quad [5]$$

$P_n(t)$  = Probabilidad de ocurrencia de n eventos en un intervalo de tiempo t.

n = Número de eventos.

K = Tasa o frecuencia media de ocurrencia por unidad de tiempo

---

<sup>55</sup> SALCEDO, HURTADO, 2007, Seminario de Geografía de los Riesgos, citado por DÍAZ SÁNCHEZ, Rocío. Evaluación del riesgo por procesos de remoción en masa en el sector bajo Aguacatal de la comuna 1: un enfoque geográfico. Trabajo de grado. Santiago de Cali: Universidad del Valle. Facultad de Humanidades. Departamento de Geografía. 2010. 152 p.

**4.2.2.2 Sismicidad histórica con efectos para Santiago de Cali.** Para determinar la magnitud y el tiempo de retorno de futuros eventos es importante tener conocimiento de la sismicidad histórica de la región el Cuadro 15, muestra la recopilación de eventos sísmicos que han afectado a Santiago de Cali, en el periodo comprendido entre los años 1566 y 2004, este inventario de eventos deja claro que la ciudad ha sido y seguirá siendo afectada por múltiples eventos que merecen una atención especial para reducir el daño que pueda causar a la población, bienes económicos y la infraestructura.

**Cuadro 15. Sismicidad histórica de Cali**

| CAMPOS DE INFORMACIÓN |       |     |     |        |      |      |                    |   |
|-----------------------|-------|-----|-----|--------|------|------|--------------------|---|
| N°                    | FECHA |     |     | TIEMPO |      |      | INTENSIDAD EN CALI |   |
|                       | Año   | Mes | Día | Hora   | Min. | Seg. | Ems-92             | Q |
| 1                     | 1566  | 3   | -   | -      | -    | -    | VII                | A |
| 2                     | 1766  | 7   | 9   | 16     | -    | -    | VII                | A |
| 3                     | 1767  | 2   | 6   | 23     | 15   | -    | II                 | C |
| 4                     | 1885  | 5   | 5   | -      | -    | -    | VI                 | B |
| 5                     | 1906  | 1   | 31  | 10     | 35   | 51   | VI                 | A |
| 6                     | 1925  | 6   | 7   | 18     | 37   | -    | VII-VIII           | A |
| 7                     | 1958  | 1   | 19  | 9      | 7    | 19   | IV                 | B |
| 8                     | 1961  | 12  | 20  | 8      | 25   | -    | VI                 | A |
| 9                     | 1962  | 7   | 30  | 15     | 18   | 53   | VIII               | A |
| 10                    | 1967  | 2   | 9   | 10     | 24   | 47.2 | VII                | A |
| 11                    | 1979  | 11  | 23  | 18     | 41   | 13   | VII                | A |
| 12                    | 1980  | 6   | 25  | 7      | 7    | -    | V                  | A |
| 13                    | 1991  | 11  | 19  | 17     | 31   | -    | VI-VII             | B |
| 14                    | 1995  | 2   | 8   | 13     | 43   | -    | VII                | A |
| 15                    | 1995  | 8   | 19  | 16     | 43   | -    | V-VI               | B |
| 16                    | 2004  | 11  | 15  | 4      | 6    | -    | VII                | A |

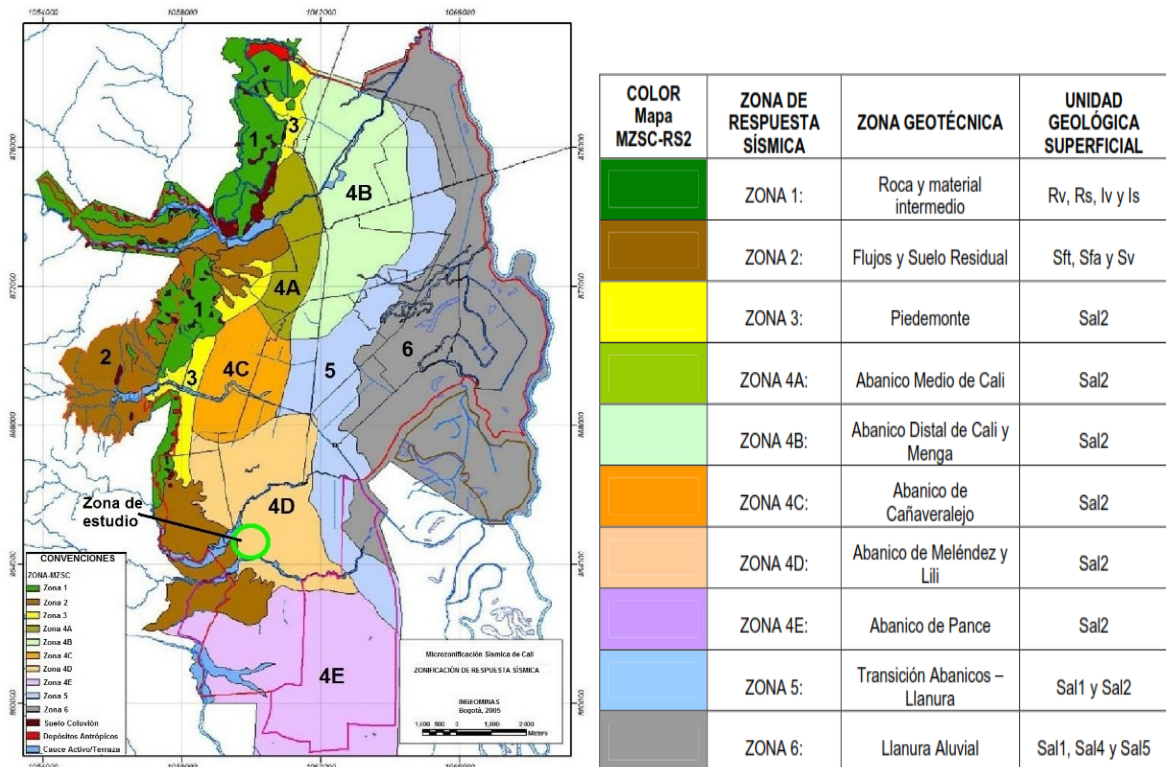
Fuente: Salcedo-Hurtado, (2007) citado por Díaz-Sánchez, (2010).

**4.2.2.3 Análisis de la vulnerabilidad sísmica.** El área total del municipio de Santiago de Cali se comporta de diferente manera puesto que posee características diferentes como lo son su topografía, (hay una amplia zona plana y otra de ladera), posee diferentes tipos de suelo. Estas y otras características hacen que las ondas

sísmicas se comporten de diferente forma. Hay zonas en las que se amplifican y en otras en las que se atenúan dependiendo del estrato del suelo.

Con el objetivo de establecer la amenaza sísmica que se presenta en el sector de estudio, se tomará como punto de referencia el estudio realizado por INGEOMINAS, Microzonificación Sísmica para Santiago de Cali, (2005), que establece que la comuna 18 se ubica en la zona 4D (Figura 22). Para efectos de este estudio la evaluación de la sismicidad se tomará la escala microzona.

**Figura 22. Zonificación de respuesta sísmica de Santiago de Cali.**



Fuente: INGEOMINAS, 2005

- **La zona 4D: Abanico de Meléndez y Lili**

Esta zona corresponde al abanico del Río Meléndez y Lili localizada al sur de la ciudad, caracterizada por la presencia de una capa superficial de materiales limosos de consistencia dura de unos 10 m de espesor suprayaciendo a

estratos granulares con cantos, gravas y bloques de rocas diabásicas de formas angulares, composición areno-arcillosa con intercalaciones de materiales finos predominantemente arcillas duras. Los periodos fundamentales están entre 0.5–1.3 seg con un promedio de 1.0 seg, presentando un espesor aproximado entre 100 y 200 m al terciario y de 600 m al basamento rocoso, en esta zona se encuentran los barrios Alférez Real, Ciudad Capri, Las Quintas de Don Simón, El Limonar, El Ingenio, Univalle y parte de Ciudad Jardín<sup>56</sup>.

Para establecer la amenaza sísmica del sector se toma la aceleración que se presenta en cada una de las zonas, teniendo en cuenta principalmente la que se presenta en el área de estudio (Cuadro 16). Según esta información la aceleración sísmica que se presenta en el sector de estudio es de 0.28 g.

**Cuadro 16. Parámetros de los espectros de diseño**

| Zona de respuesta sísmica                |     | Am (g) | Sm (g) | To (s) | Tc (s) | Tl (s) |
|------------------------------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| ZONA 1: CERROS                           |     | 0.22   | 0.45   | 0.17   | 0.55   | 3.0    |
| ZONA 2: FLUJOS Y SUELO RESIDUAL          |     | 0.35   | 0.75   | 0.10   | 0.45   | 3.0    |
| ZONA 3: PIEDEMONTE                       |     | 0.35   | 0.85   | 0.20   | 1.05   | 2.0    |
| ZONA 4A: ABANICO MEDIO DE CALI           |     | 0.33   | 0.75   | 0.20   | 0.75   | 2.0    |
| ZONA 4B: ABANICO DISTAL DE CALI Y MENGUA | ETC | 0.28   | 0.65   | 0.20   | 0.70   | 2.5    |
|                                          | ETL | 0.28   | 0.50   | 0.20   | 1.60   | 2.5    |
| ZONA 4C: ABANICO DE CAÑAVERALEJO         | ETC | 0.40   | 1.00   | 0.25   | 0.47   | 2.0    |
|                                          | ETL | 0.40   | 0.65   | 0.25   | 1.50   | 2.0    |
| ZONA 4D: ABANICO DE MELÉNDEZ Y LILI      |     | 0.28   | 0.62   | 0.15   | 1.20   | 2.0    |
| ZONA 4E: ABANICO DE PANCE                |     | 0.25   | 0.57   | 0.17   | 0.95   | 3.0    |
| ZONA 5: TRANSICIÓN ABANICOS-LLANURA      | ETC | 0.28   | 0.70   | 0.17   | 0.60   | 2.5    |
|                                          | ETL | 0.28   | 0.52   | 0.17   | 1.35   | 2.5    |
| ZONA 6: LLANURA ALUVIAL                  |     | 0.25   | 0.68   | 0.22   | 1.15   | 2.5    |

Fuente: INGEOMINAS, 2005.

Existen diferentes escalas para medir la intensidad de los sismos, entre ellas está RF, EMS-98, MCS, MM-56 etc. (expuestas a continuación), sin embargo ya que las escalas para medir la intensidad sísmica más utilizadas son las Escala

<sup>56</sup> INGEOMINAS, Microzonificación Sísmica, Op.cit. p. 124.

Macrosísmica Europea (EMS-98) y la Escalas Mercalli Modificada (MM-1956), y con el fin de definir cuál de las dos escala es la adecuada para este estudio se realizó una comparación de los efectos descritos en ambas escalas para un evento de intensidad VIII (Cuadro 17) donde se muestran los grados de intensidad que pueden alcanzar los sismos según las escalas (EMS-98) y (MM-1956).

**Cuadro 17. Grados de intensidad de un sismo**

| RF | EMS-98 | MCS | EMS-98 | MMI 56 | EMS-98 | MSK | EMS-98 | JMA-96 | EMS-98  |
|----|--------|-----|--------|--------|--------|-----|--------|--------|---------|
|    |        |     |        |        |        |     |        | 0      | 1       |
| 1  | 1      | 1   | 1      | 1      | 1      | 1   | 1      | 1      | 2 or 3  |
| 2  | 2      | 2   | 2      | 2      | 2      | 2   | 2      | 2      | 4       |
| 3  | 3      | 3   | 3      | 3      | 3      | 3   | 3      | 3      | 4 or 5  |
| 4  | 4      | 4   | 4      | 4      | 4      | 4   | 4      | 4      | 5       |
| 5  | 5      | 5   | 5      | 5      | 5      | 5   | 5      | 5L     | 6       |
| 6  | 5      | 6   | 6      | 6      | 6      | 6   | 6      | 5U     | 7       |
| 7  | 6      | 7   | 7      | 7      | 7      | 7   | 7      | 6L     | 8       |
| 8  | 7 or 8 | 8   | 8      | 8      | 8      | 8   | 8      | 6U     | 9 or 10 |
| 9  | 9      | 9   | 9      | 9      | 9      | 9   | 9      | 7      | 11      |
| 10 | *      | 10  | 10     | 10     | 10     | 10  | 10     |        |         |
|    |        | 11  | 11     | 11     | *      | 11  | 11     |        |         |
|    |        | 12  | *      | 12     | *      | 12  | *      |        |         |

Fuente: Musson; Grunthal, G y Stucchi, M. 2009.

Según Aránzazu, 1999<sup>57</sup>. La RF fue propuesta por Stefano Rossi y el suizo François Forel que publicaron escalas de intensidad similares, por vías separadas, en 1874 y 1881, respectivamente. Posteriormente, unieron esfuerzos y elaboraron la primera escala que se utilizó internacionalmente, llamada escala Rossi-Forel con diez

<sup>57</sup> IZQUIERDO ÁLVAREZ, Aránzazu. Intensidad Macrosísmica. Física de la Tierra Instituto Geográfico Nacional. Madrid. ISSN 0214-4557. 1999. 252 P.

grados de intensidad. Ya en 1912, el geofísico alemán August Heinrich Sieberg, publicó la primera versión de su escala de intensidad con doce grados, dando una descripción completa para cada uno de ellos, llegando a ser la base de la mayoría de las escalas modernas de intensidad con doce grados. Instituto Nacional De Prevención Sísmica - Inpres 2 Posteriormente, Mercalli-Cancani-Sieberg publicaron la escala MCS, realizando ligeras modificaciones respecto a la primera versión de la escala de Sieberg.

En 1964, Medvedev, Sponheuer y Karnik publicaron la primera versión de la escala MSK o MSK-64. Esta escala se basó en la escala MCS, en las de Mercalli Modificada (MM-31 y MM- 56) y en la de Medvedev elaborada en Rusia en 1953, en 1981, fue ligeramente modificada y pasó a ser la escala más utilizada en Europa y en la URSS. Consta de doce grados de intensidad y está expresada en números romanos.

La Escala MSK-64 se utiliza actualmente en la India, Israel, Rusia y en toda la Comunidad de Estados Independientes (CEI), la Comisión Sismológica Europea usó muchos de los principios postulados en la escala MSK-64 para desarrollar la Escala Macrosísmica Europea o EMS-92 (por sus siglas en inglés de "European Macroseismic Scale").

JMA (Japan Meteorological Agency) utilizada en Japón y Taiwán; basada en el trabajo de Omori, esta escala varía de 0 a 7, donde 7 es el grado más alto. Su unidad de medida es el Shindo (grado de agitación).

Conociendo los valores de intensidad máxima alcanzada por un sismo en Santiago de Cali, utilizando la escala MM-1956, se compara este resultado con la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), con el fin de verificar si los efectos causados en el terreno son equivalentes en la intensidad VIII.

En la tabla anterior se muestran una comparación entre las escalas macrosísmicas y se muestra que ambas escalas contemplan 12 grados, los efectos en el terreno de un sismo de intensidad VIII, según las escalas propuestas son los siguientes:

Escala MM, 56. Las casas que no estén bien cimentadas pueden levantarse. Las estructuras altas como torres y chimeneas se pueden torcer y caer. Los edificios bien contruidos pueden sufrir daños ligeros. Los edificios contruidos inadecuadamente pueden sufrir un daño severo. Las ramas de los árboles pueden desgarrarse. Las colinas pueden deslizarse si el terreno está húmedo. Los niveles de agua en los pozos pueden cambiar.

Según la información contenida en Grünthal, 2009<sup>58</sup>, los efectos según la escala EMS-98, son severos, es difícil para algunas personas mantenerse en pie, los muebles pueden volcarse, los televisores y aparatos que estén sueltos se pueden caer, las lápidas pueden caerse o desplazarse, se pueden observar ondas suaves en el piso, algunos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5. Edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3 y algunos pocos grados 4. Edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3. Pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2

Las escalas mencionadas anteriormente, son aproximadamente equivalentes en sus valores actuales, pero se diferencian en el grado de sofisticación que se emplea para su formulación. Además la escala EMS, es más detallada teniendo en cuenta que define los daños por tipos concretos de edificios, también muestra las clases de vulnerabilidad que se tienen en cuenta para categorizar esos daños.

En ambas escalas cuando se presente un sismo de intensidad VIII, se presentan daños de diferentes grados en los edificios. En la escala MM, 56 se tiene en cuenta

---

<sup>58</sup> GRÜNTAL, G. ed. Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS – 98. Comisión Sismológica Europea (ESC). Edición Española F. Lorenzo Martín. Luxemburgo, 2009. 100 p.

los deslizamientos de las colinas y el nivel del agua, y en la escala EMS, 98 por así decirlo se le presta más atención a los daños que presenten las infraestructuras más altas, como los edificios, y que se pueden observar ondas suaves en el suelo. A partir de la comparación de las dos escalas anteriores, se tendrán en cuenta para este estudio los efectos para un sismo de intensidad VIII, los efectos en el terreno descritos por la escala (EMS, 98).

En Cali ocurrió un sismo de  $M_w = 7.8$ , de intensidades de VII-VIII, en julio de 1925. Si se llegase a repetir un sismo de estas características en el sector de estudio ocasionaría daños considerables en la infraestructura ya que en esta área se presentan aceleraciones de hasta 0.28g (Cuadro 18), además de encontrarse ubicado en zona de ladera. Los suelos no están consolidados, las viviendas no cuentan con una cimentación compatible con las condiciones físicas y topográficas del terreno, es así que la aceleración de los sismos en sectores como este llevaría a graves consecuencias.

Según la escala EMS-98, se espera que en el sector de estudio teniendo en cuenta sus el tipo de estructuras se presenten el siguiente tipo de vulnerabilidad C. “Estructuras de madera A. La flexibilidad innata de la construcción de madera les brinda mayor resistencia a los daños, aunque esto puede variar considerablemente en función de las condiciones en las que se encuentren las estructuras. La madera podrida o las uniones flojas pueden hacer una vivienda de madera bastante vulnerable al colapso. El sistema estructural que proporciona la resistencia lateral debe ser considerado cuidadosamente. Si las vigas y las columnas están conectadas mediante placas clavadas (de yeso u otros materiales quebradizos) o si estas conexiones son débiles, la estructura se colapsará si las conexiones fallan. Este tipo de estructuras de madera se representa típicamente por la clase de vulnerabilidad C y debería distinguirse de las estructuras de armazones de madera resistentes a cargas laterales causadas por la vibración sísmica<sup>59</sup>.

---

<sup>59</sup> Ibid., p. 39.

**4.2.2.4 Probabilidad de ocurrencia de un sismo de intensidad VIII en Santiago de Cali.** Para calcular la probabilidad de ocurrencia de un sismo de intensidad VIII en los próximos 100 años se utiliza la ley de Poisson y los datos de sismicidad histórica con repercusiones para Cali, según el Cuadro 15, se tiene que desde 1566 hasta el 2004, han ocurrido 2 sismos de intensidad VIII, lo que quiere decir que a lo largo de 438 años se han presentado dos eventos.

$$k = \frac{2}{438} = 0,0045 \quad [6]$$

Para  $t = 100$  años

La probabilidad de que ocurra un sismo de intensidad VIII en Santiago de Cali en 100 años es del 28%.

El periodo de retorno (PR) se define como el tiempo entre dos sucesos de similares condiciones y se calcula en base a la probabilidad de ocurrencia de una magnitud establecida en cierto intervalo de tiempo “t”.

$$PR = \frac{-t}{\ln(1-Pn(t))} \quad [7]$$

En base a lo anterior el periodo de retorno para un sismo de intensidad VIII en Santiago de Cali es de 304 años.

Con el fin de determinar cuál es el grado de amenaza en caso de ocurrencia de un sismo de intensidad VIII en el Sector Sur Occidente de la comuna 18, se proponen los siguientes rangos (Cuadro 18).

**Cuadro 18. Grado de amenaza causado por un sismo de intensidad VIII**

| Grado    | Probabilidad | Aceleración   | Valoración |
|----------|--------------|---------------|------------|
| Muy Alta | 100 - 76     | $\geq 30g$    | 3          |
| Alta     | 75 - 51      | 0.28g - 0.30g | 2          |
| Media    | 50 - 26      | 0.25g - 0.28g | 1          |
| Baja     | 25 - 0       | 0.21g - 0.25g | 0          |

Elaboración propia.

De acuerdo a lo expuesto en la tabla anterior se encuentra que la amenaza ante un sismo de intensidad VIII para Santiago de Cali y por consiguiente para el sector de estudio es de peligrosidad media.

Basándose en los cálculos y lo expuesto por la escalas EMS, 98, se sugiere que tras la ocurrencia de un evento de intensidad VIII, se registrarían daños leves en la infraestructura bien cimentada, en cambio para estructuras con cimentación inadecuada pueden sufrir daños severos.

En el caso de las viviendas construidas sin seguir las normas de construcción es decir sin vigas, zapatas, y con materiales poco resistentes, (como esterilla de guadua, cartón, carpas plásticas etc.) tal es el caso de la mayoría de las viviendas ubicadas en el sector de estudio, ya que no tienen un soporte lo suficientemente fuerte que le brinde estabilidad a la infraestructura, estas pueden presentar averías considerables o su destrucción total.

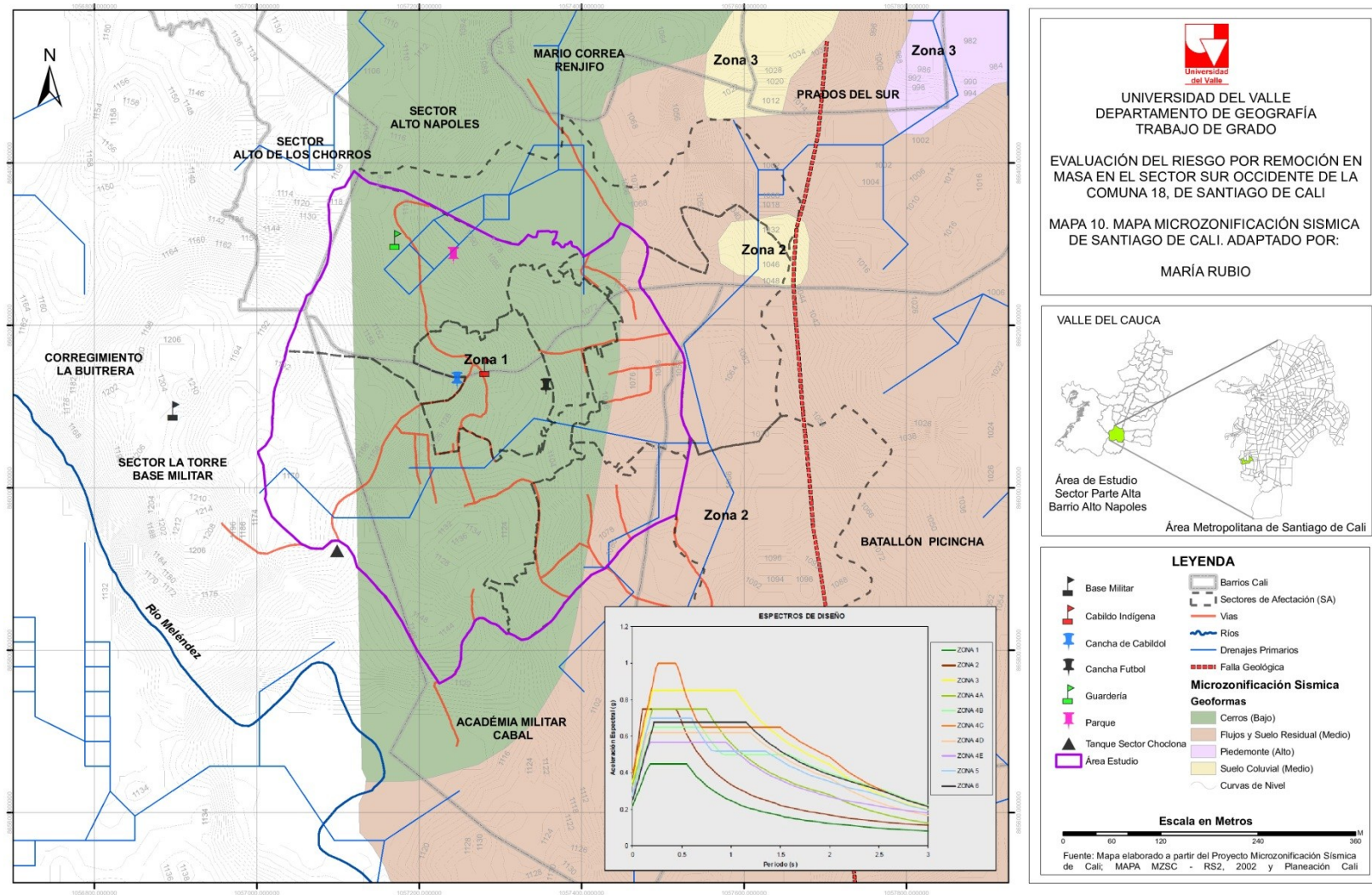
**4.2.2.5 Resultados de la amenaza por sismicidad.** Las fallas geológicas que atraviesan a Santiago de Cali, son las mayores fuentes de riesgo sísmico, junto con las condiciones físicas de los suelos como su geología y geomorfología. Para obtener el nivel de amenaza por detonante sismicidad se realizó la zonificación de la amenaza sísmica, para lo cual se tomó en consideración el inventario de eventos

sísmicos que han tenido repercusiones para Santiago de Cali. La probabilidad de ocurrencia de un evento de intensidad VIII, la aceleración y tiempo de retorno.

Se obtuvo como resultado el mapa de amenaza sísmica para un tiempo de exposición de 100 años con una probabilidad de ocurrencia de 0,28% y un periodo de retorno de 304 años para un evento de intensidad VIII. El mapa muestra las zonas con los diferentes rangos de amenaza sísmica (Figura 23). Para el área que comprende el Sector Sur Occidente de la comuna 18, se presenta una aceleración de 0,28g. Tomando en cuenta la aceleración se formularon cuatro categorías de amenaza sísmica: muy alta mayores o iguales a 0,30g, alta entre 0,28g y 0,30g, media entre 0,25g y 0,28g y baja entre 0,21g y 0,25g (Cuadro 18).

La distribución espacial de la amenaza sísmica muestra que corresponde a tres zonas, la mayor parte del sector tienen un nivel de amenaza sísmica baja, la cual se encuentra ubicada en el área correspondiente a los cerros. La amenaza media se encuentra en las áreas de suelos residuales y coluviales las zonas más críticas se encuentran al oriente del sector lo que se puede deber principalmente a su cercanía a la falla geológica Cali-Patía. La amenaza sísmica en este caso es de nivel medio.

Figura 23. Microzonificación Sísmica comuna 18.



**4.2.3 Amenaza total por factores detonantes.** Para calcular la amenaza por remoción en masa se tuvieron en cuenta dos factores: precipitaciones (factor 1) y sismicidad (factor 2). El cálculo se realizó de la siguiente manera.

Se superpuso el mapa de la susceptibilidad y el mapa de precipitación, se obtuvo el mapa de amenaza por factor detonante 1. Se realizó el mismo procedimiento pero con los mapas de susceptibilidad y el de sismicidad, obteniendo el mapa de amenaza por factor detonante 2. Los mapas resultantes se superpusieron para obtener el mapa de la amenaza total a PRM en el sector Sur Occidente.

La ponderación se realizó teniendo en cuenta los siguientes valores (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Grados amenaza por factor detonante 1 y 2**

| <b>Susceptibilidad</b> | <b>Precipitación o Sismicidad</b> | <b>Amenaza</b> |
|------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Muy Alto               | Muy Alto                          | Muy Alto       |
| Muy Alto               | Alto                              | Muy Alto       |
| Muy Alto               | Medio                             | Alto           |
| Muy Alto               | Bajo                              | Medio          |
| Alto                   | Muy Alto                          | Muy Alto       |
| Alto                   | Alto                              | Alto           |
| Alto                   | Medio                             | Alto           |
| Alto                   | Bajo                              | Medio          |
| Medio                  | Muy Alto                          | Alto           |
| Medio                  | Alto                              | Alto           |
| Medio                  | Medio                             | Medio          |
| Medio                  | Bajo                              | Bajo           |
| Bajo                   | Muy Alto                          | Medio          |
| Bajo                   | Alto                              | Medio          |
| Bajo                   | Medio                             | Bajo           |
| Bajo                   | Bajo                              | Bajo           |

Fuente: Llorente y Palacios, 2010 (Modificado)

Siguiendo lo propuesto en el Cuadro 19, se obtuvo el mapa de amenaza por factor detonante 1 (Figura 24) y el mapa por factor detonante 2 (Figura 25), los cuales se superpusieron para obtener el mapa de amenaza total.

El mapa de la amenaza por factor detonante 1, arroja como resultado una amenaza muy alta en los sectores SA1, SA2, SA3, SA4 y SA9, y una amenaza alta los sectores SA5, SA6, SA7 y SA8.

El mapa de amenaza por detonante 2, muestra un riesgo alto en los sectores SA2, SA3, SA5 y SA9, una amenaza media en los sectores SA4, SA6, SA7 y SA8 y finalmente una amenaza baja en el sector SA1.

En este caso la amenaza por factor detonante precipitación es más crítica que la amenaza por factor detonante sismicidad. Los sectores ubicados en el norte y nororiente del área de estudio son los que presentan mayor amenaza por ambos detonantes.

Figura 24. Mapa de amenaza a PRM por factor detonante 1 (precipitación)

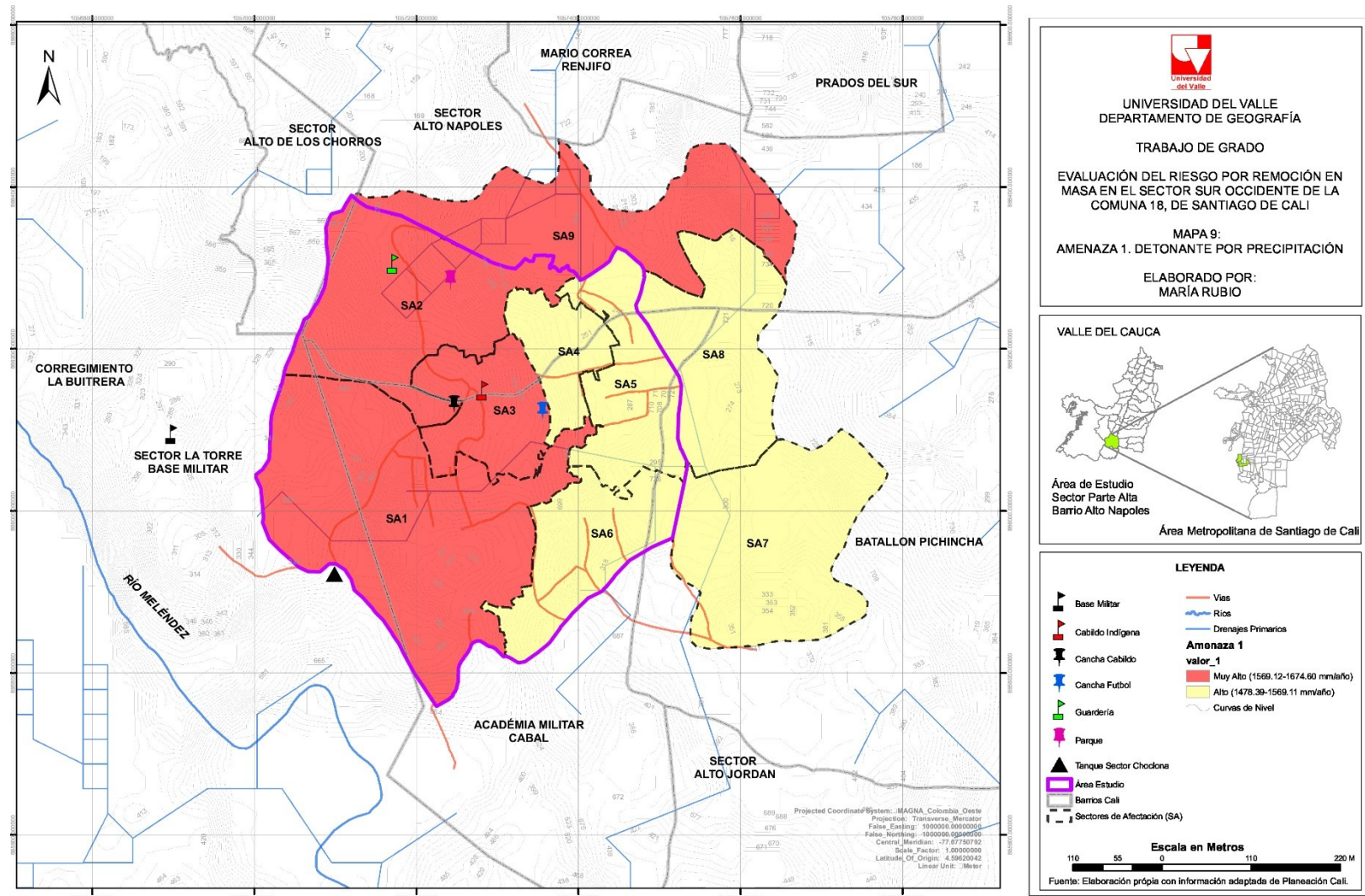
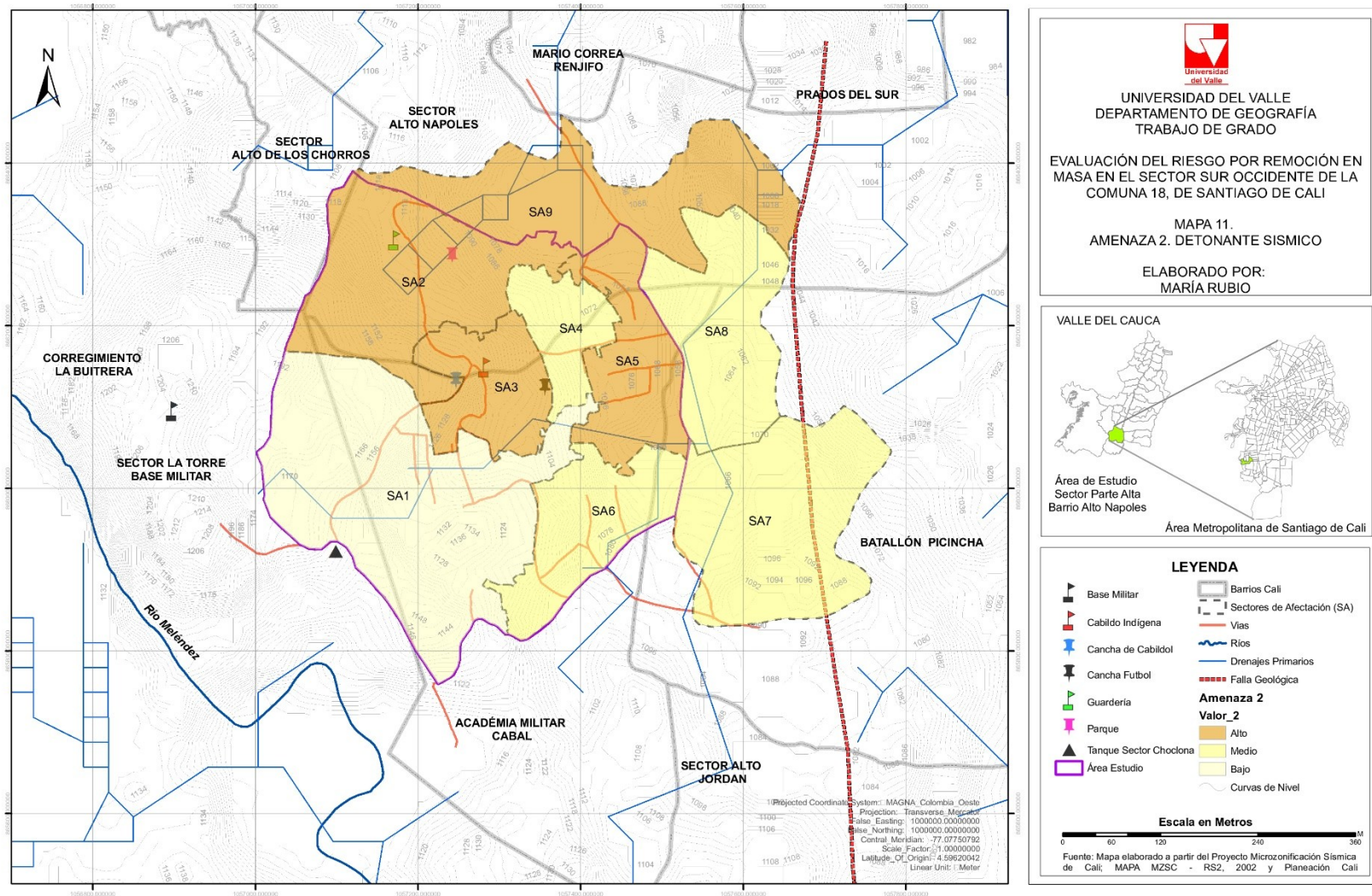


Figura 25. Mapa de amenaza por factor detonante 2 (sismicidad)



**4.2.3.1 Análisis y resultados de la amenaza total.** Para obtener la evaluación de la amenaza total a remoción en masa se realiza el cruce del factor detonantes 1 y 2, para lo cual se tendrá en cuenta lo expuesto por Rose, (2005) citado por Suárez Díaz, 2009<sup>60</sup>. En la matriz explicativa (Cuadro 20). La matriz indica cómo hacer la relación entre los grados de la amenaza por factor detonante 1 y la amenaza por factor detonante 2.

**Cuadro 20. Grado de amenaza total: Cruce de los factores detonante 1 y 2**

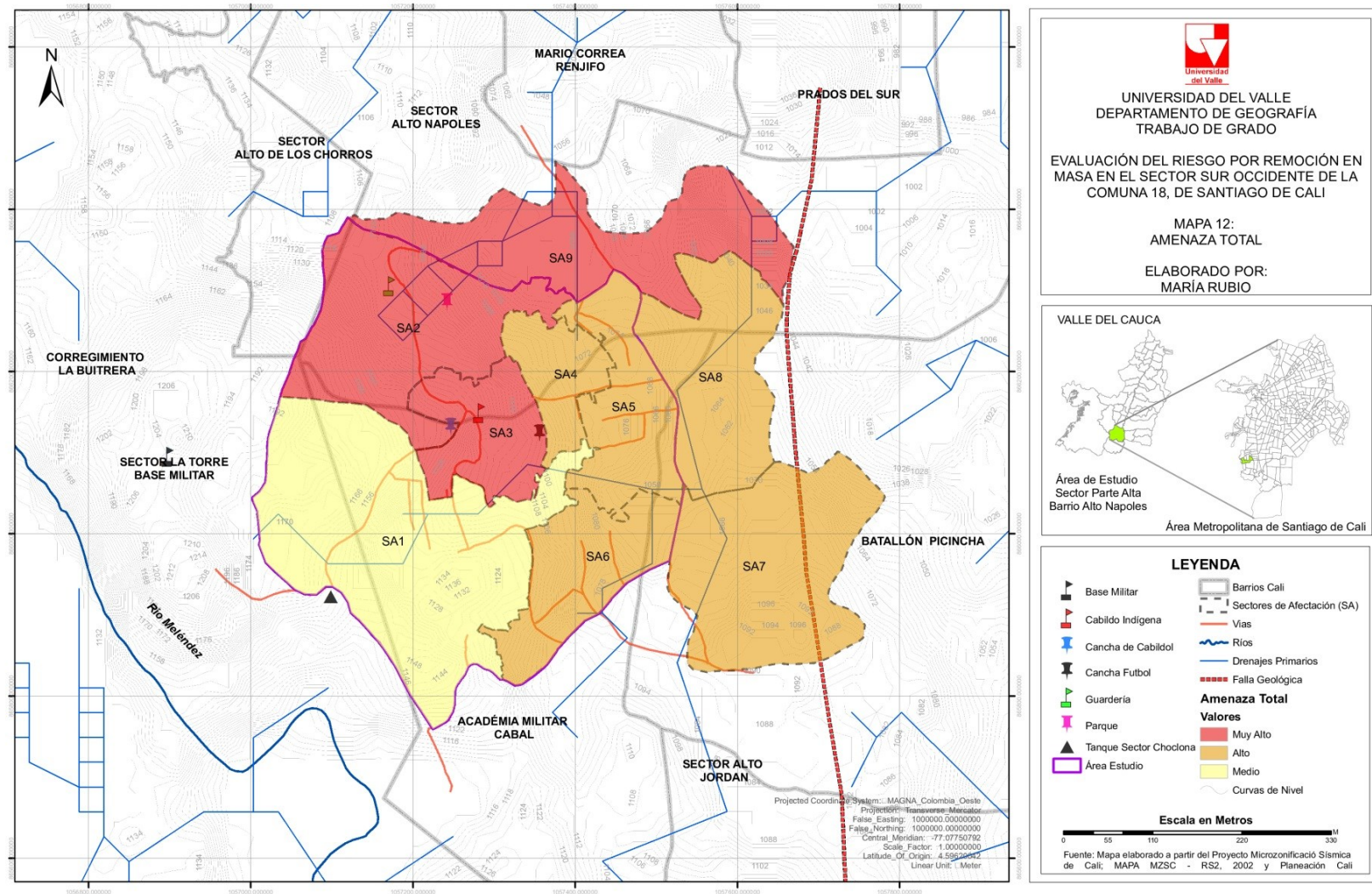
| Convenciones  |          | Factor 1 | Factor 2 |      |       |      |
|---------------|----------|----------|----------|------|-------|------|
| Amenaza total | Valor    |          | Muy Alta | Alta | Media | Baja |
| Muy Alta      | 100 - 76 | Muy alta |          |      |       |      |
| Alta          | 75 – 51  | Alta     |          |      |       |      |
| Media         | 50 – 26  | Media    |          |      |       |      |
| Baja          | 25 – 0   | Baja     |          |      |       |      |

Fuente: Rose, 2005 citado por Suárez Díaz. Modificado por la autora.

Siguiendo la calificación propuesta en el Cuadro 20 se obtuvo el mapa de la amenaza total (Figura 26) donde se evidencia que el sector Sur Occidente de la comuna 18 presenta una amenaza a procesos de remoción en masa muy alta en los sectores SA2, SA3, SA9, amenaza alta en los sectores SA4, SA5, SA6, SA7 y SA8, la amenaza media se presenta en el sector SA1. Según la espacialización los sectores con mayor grado de amenaza se encuentran ubicados en el noroccidente y en el nororiente, los sectores con amenaza alta se ubican en el nororiente y el suroriente. Según estos resultados se obtuvo que el nivel de amenaza total a procesos de remoción en masa que se presenta en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali es muy alto.

<sup>60</sup> ROSE B. T. Tennessee rockfall management system. 2005, citado por SUÁREZ DÍAS, Jaime. Deslizamientos. Universidad Industrial de Santander. Escuela de filosofía. Bucaramanga. 2009. 588 p.

Figura 26. Mapa, Amenaza total por remoción en masa.



## **5. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO A PRM**

### **5.1 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A PRM**

En este trabajo la vulnerabilidad es tomada como la combinación de las características que presenta una población con respecto al grado de exposición que tenga a la amenaza y su capacidad para resistir los posibles daños que pueda causar<sup>61</sup>. La evaluación de vulnerabilidad se puede realizar utilizando métodos cualitativos y cuantitativos, donde se puedan obtener resultados que estimen el grado de pérdida y/o de daños en las actividades económicas, infraestructura y que en general perturben el libre funcionamiento de las actividades humanas.

La metodología para evaluar la vulnerabilidad en el área de estudio, será la propuesta por Salgado, (2005)<sup>62</sup>. La cual propone una ponderación lineal asignando valores de 0 - 3 donde 0 fue asignado a la situación del indicador que presentó la menor vulnerabilidad y el valor de cuatro (4) se asignó a la situación más crítica, lo cual refleja la situación de mayor vulnerabilidad.

Se tuvieron en cuenta 5 de los 10 tipos de vulnerabilidad expuestos por Wilches-Chaux, (1989)<sup>63</sup>; física, social, educativa, cultural y económica las cuales se considera son las más notorias en el sector (Figura 27).

Así mismo, para evaluar la vulnerabilidad se identificaron los elementos que pudieran estar en riesgo por PRM. Para su realización se formuló una encuesta con preguntas concretas relacionadas con el tema de evaluación, la información se tomó directamente en el área de estudio.

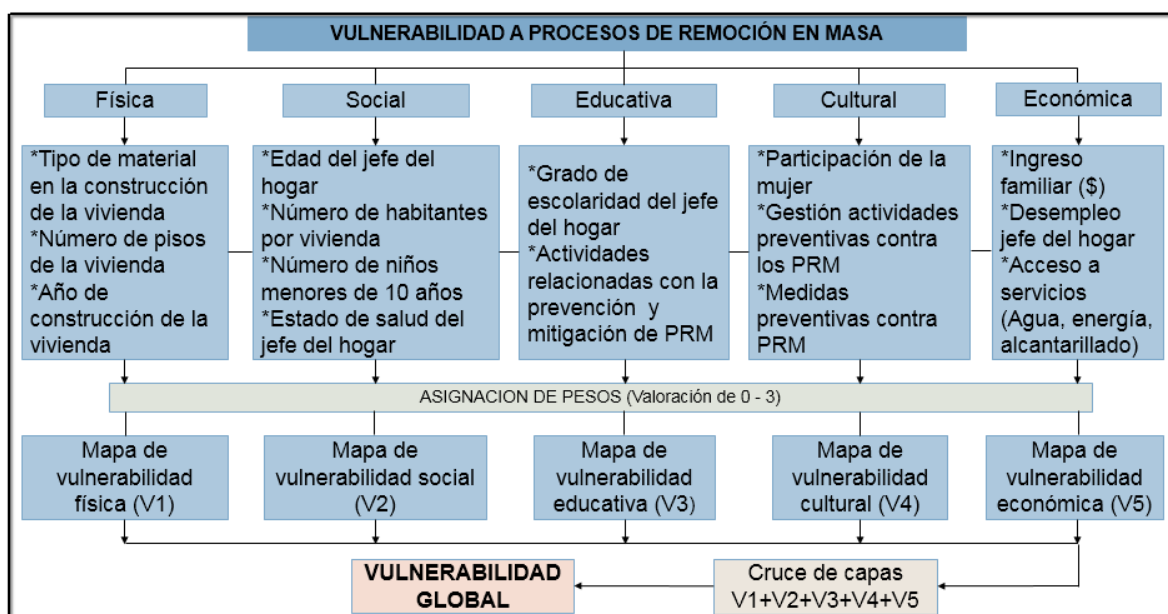
---

<sup>61</sup> Ibid., 588 p.

<sup>62</sup> SALGADO MONTTOYA, Ramón Antonio. Análisis Integral del Riesgo a Deslizamientos e Inundaciones en la Microcuenca del Río Gila, Copán, Honduras. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2005. 172 p.

<sup>63</sup> WILCHEZ-CHAUX, Op.cit. p. 23.

Figura 27. Diagrama metodológico para evaluar la vulnerabilidad ante PRM



Fuente: Elaboración propia

El área no cuenta con estudios conocidos que involucren censos de la población. Debido a esta carencia de información y a las limitaciones relacionadas al tiempo, seguridad y costos para realizar un conteo exhaustivo de las viviendas y de la población, se procedió a hacer un conteo de las viviendas utilizando una imagen de Google Earth, (2014). Este proceso arrojó como resultado un total de 540 viviendas. Es un número bastante elevado para aplicar la encuesta a la totalidad, por esta razón se calculó una muestra representativa de la población. Para hacer el cálculo se utilizó la formula usada para sacar muestras cuando el universo es finito, es decir contable y la variable es de tipo categórica. Primero que todo se debe conocer el valor de "N" el cual en este caso es el número total de viviendas que hay en el sector.

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad [5]$$

$n$  = tamaño de la muestra

$N$  = tamaño de la población

$Z_{\alpha}$  = Valor extraído de la Tabla de distribución Normal Estándar (1.96 es para un margen de seguridad del 95%)

$p$  = proporción, generalmente se usan valores entre el 0.005 y el 0.1. En este caso se usa 0.05, que corresponde al 5%

$q$  = complemento de  $p$ , es decir si  $p = 0.05$  entonces  $q = 0.95$ .  $p+q=1$

$d$  = Precisión deseada, generalmente se usan valores entre el 0.003 y el 0.08. Aquí utiliza, 0.05.

El cálculo de la muestra para establecer a cuantas viviendas se les debe aplicar la encuesta arrojó como resultado,  $n = 52$ , para efectos de aportar mayor confiabilidad de la información se aplicaron (54) encuestas que corresponden al 10% del total de las viviendas.

**5.1.1 Indicadores de la vulnerabilidad.** Se formularon indicadores según cada tipo de vulnerabilidad, descritas en la (Figura 27).

**5.1.1.1 Valoración de los indicadores seleccionados.** Para la valoración de los indicadores de la vulnerabilidad se debe tener en cuenta que son medibles de forma cuantitativa o cualitativa. Se les asignó un peso dependiendo de su aporte a la severidad de cada tipo de vulnerabilidad para luego sumarlas y obtener el valor de la vulnerabilidad global, los cuales se presentan en los cuadros consecutivos (Cuadro 21 al Cuadro 37).

- **Vulnerabilidad física**

**Cuadro 21. Materiales usados en la construcción de la vivienda**

| Material de construcción predominante en la vivienda |                |            |
|------------------------------------------------------|----------------|------------|
| Tipo de material                                     | Vulnerabilidad | Valoración |
| Bloque y/o ladrillo                                  | Baja           | 0          |
| Madera                                               | Media          | 1          |
| Esterilla de guadua                                  | Alta           | 2          |
| Sacos / carpas plásticas / cartón                    | Muy Alta       | 3          |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 22. Año en el que fue construida su vivienda**

| Año de construcción de la vivienda |                |            |
|------------------------------------|----------------|------------|
| Año                                | Vulnerabilidad | Valoración |
| <= 2001                            | Muy Alta       | 3          |
| 2000 - 2007                        | Alta           | 2          |
| 2008 - 2011                        | Media          | 1          |
| 2012 - 2014                        | Baja           | 0          |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 23. Número de pisos de la vivienda**

| Número de pisos de la vivienda |                |            |
|--------------------------------|----------------|------------|
| Pisos                          | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 4                          | Muy Alta       | 3          |
| 3                              | Alta           | 2          |
| 2                              | Media          | 1          |
| 1                              | Baja           | 0          |

Fuente: Elaboración propia.

- **Vulnerabilidad social**

**Cuadro 24. Edad del jefe del hogar**

| Edad del jefe del hogar |                |            |
|-------------------------|----------------|------------|
| Edad                    | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 48                  | Muy Alta       | 3          |
| 38 - 47                 | Alta           | 2          |
| 28 - 37                 | Media          | 1          |
| 18 - 27                 | Baja           | 0          |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 25. Estado de salud del jefe del hogar**

| Estado de salud del jefe del hogar |                |            |
|------------------------------------|----------------|------------|
| Estado                             | Vulnerabilidad | Valoración |
| Excelente                          | Baja           | 0          |
| Bueno                              | Media          | 1          |
| Regular                            | Alta           | 2          |
| Malo                               | Muy Alta       | 3          |

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 26. Número de habitantes por vivienda**

| Número de personas que habitan en la vivienda |                |            |
|-----------------------------------------------|----------------|------------|
| Personas por vivienda                         | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 4                                         | Muy Alta       | 3          |
| 3                                             | Alta           | 2          |
| 2                                             | Media          | 1          |
| 1                                             | Baja           | 0          |

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 27. Número de niños menores de 10 años por vivienda**

| Número de niños menores de diez años |                |            |
|--------------------------------------|----------------|------------|
| Número de niños                      | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 3                                | Muy Alta       | 3          |
| 2                                    | Alta           | 2          |
| 1                                    | Media          | 1          |
| 0                                    | Baja           | 0          |

Fuente: Elaboración propia.

- Vulnerabilidad económica**

**Cuadro 28. Porcentajes de desempleados (jefe del hogar)**

| Desempleo del jefe del hogar |                |            |
|------------------------------|----------------|------------|
| Rango (%)                    | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 21,00                    | Muy Alta       | 3          |
| 11,00 - 20,99                | Alta           | 2          |
| 5,00 - 10, 99                | Media          | 1          |
| 0,00 - 4,99                  | Baja           | 0          |

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 29. Ingreso familiar (S.M.M.L.V)**

| <b>Ingresos familiares en S.M.M.L.V</b> |                       |                   |
|-----------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Cantidad</b>                         | <b>Vulnerabilidad</b> | <b>Valoración</b> |
| < 1                                     | Muy Alta              | 3                 |
| 1                                       | Alta                  | 2                 |
| 1.5                                     | Media                 | 1                 |
| > = 2                                   | Baja                  | 0                 |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 30. Acceso a servicios públicos (Agua y energía)**

| <b>Acceso a servicios públicos (agua y energía)</b> |                       |                   |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Rango (%)</b>                                    | <b>Vulnerabilidad</b> | <b>Valoración</b> |
| >= 21,00                                            | Baja                  | 0                 |
| 11,00 - 20,99                                       | Media                 | 1                 |
| 5,00 - 10,99                                        | Alta                  | 2                 |
| 0,00 - 4,99                                         | Muy Alta              | 3                 |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 31. Acceso a servicios públicos (alcantarillado)**

| <b>Acceso a servicio de alcantarillado</b> |                       |                   |
|--------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Rango (%)</b>                           | <b>Vulnerabilidad</b> | <b>Valoración</b> |
| >= 21,00                                   | Baja                  | 0                 |
| 11,00 - 20,99                              | Media                 | 1                 |
| 5,00 - 10,99                               | Alta                  | 2                 |
| 0,00 - 4,99                                | Muy Alta              | 3                 |

Fuente: Elaboración propia.

- Vulnerabilidad educativa**

**Cuadro 32. Nivel de escolaridad alcanzado por el jefe del hogar**

| <b>Nivel de escolaridad alcanzado por el jefe de hogar</b> |                       |                   |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>Nivel educativo</b>                                     | <b>Vulnerabilidad</b> | <b>Valoración</b> |
| Profesional                                                | Baja                  | 0                 |
| Bachiller / Técnico                                        | Media                 | 1                 |
| Primaria                                                   | Alta                  | 2                 |
| Ninguno                                                    | Muy Alta              | 3                 |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 33. Porcentaje de la población que ha recibido capacitación sobre los PRM.**

| Ha recibido capacitación acerca de PRM |                |            |
|----------------------------------------|----------------|------------|
| Rango (%)                              | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 51,00                              | Baja           | 0          |
| 30,00 - 50, 99                         | Media          | 1          |
| 15,00 - 29,99                          | Alta           | 2          |
| 0,00 - 14,99                           | Muy Alta       | 3          |

Fuente: Elaboración propia.

- Vulnerabilidad cultural**

**Cuadro 34. Participación de la mujer en actividades de mitigación PRM**

| Participación de la mujer en actividades preventivas y de mitigación |                |            |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|------------|
| Rango (%)                                                            | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 51,00                                                            | Baja           | 0          |
| 30,00 - 50, 99                                                       | Media          | 1          |
| 15,00 - 29,99                                                        | Alta           | 2          |
| 0,00 - 14,99                                                         | Muy Alta       | 3          |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 35. Toma de medidas preventivas contra los PRM.**

| Han tomado medidas preventivas contra la ocurrencia de un PRM |                |            |
|---------------------------------------------------------------|----------------|------------|
| Rango (%)                                                     | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 51,00                                                     | Baja           | 0          |
| 30,00 - 50, 99                                                | Media          | 1          |
| 15,00 - 29,99                                                 | Alta           | 2          |
| 0,00 - 14,99                                                  | Muy Alta       | 3          |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 36. Participa o gestiona actividades preventivas de los PRM.**

| Asiste, participa o gestiona actividades relacionadas con la prevención de los PRM |                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|
| Rango (%)                                                                          | Vulnerabilidad | Valoración |
| > = 51,00                                                                          | Baja           | 0          |
| 30,00 - 50, 99                                                                     | Media          | 1          |
| 15,00 - 29,99                                                                      | Alta           | 2          |
| 0,00 - 14,99                                                                       | Muy Alta       | 3          |

Fuente: Elaboración propia.

- **Vulnerabilidad global**

Para el cálculo de la vulnerabilidad global se empleara la siguiente formula.

$$\text{Vulnerabilidad global} = \sum (V_f * F) + (V_s * F) + (V_e * F) + (V_c * F) + (V_{ed} * F)$$

Dónde:

V<sub>f</sub> - Vulnerabilidad física,

V<sub>s</sub> - Vulnerabilidad social,

V<sub>ed</sub> - Vulnerabilidad educativa,

V<sub>c</sub> - Vulnerabilidad cultural,

V<sub>e</sub> - Vulnerabilidad económica,

F - Contribución relativa (%) a la vulnerabilidad global.

La contribución relativa a la vulnerabilidad global (F), se asigna con base a información secundaria y opiniones de la autora (porcentajes van de 0 a 1,00 %).

Para realizar la espacialización de la vulnerabilidad, se utilizaron los valores ponderados (Cuadro 37). Para obtener los tipos de vulnerabilidad de manera individual y sobreponerlos para obtener la vulnerabilidad global del sector.

**Cuadro 37. Ponderación de los niveles de vulnerabilidad**

| Vulnerabilidad | Valor | Porcentaje (%) |
|----------------|-------|----------------|
| Baja           | 0     | 00,00 - 25,00  |
| Media          | 1     | 25,01 - 50,00  |
| Alta           | 2     | 50,01 - 75,00  |
| Muy Alta       | 3     | 75,01 - 100,0  |

Fuente: Elaboración propia.

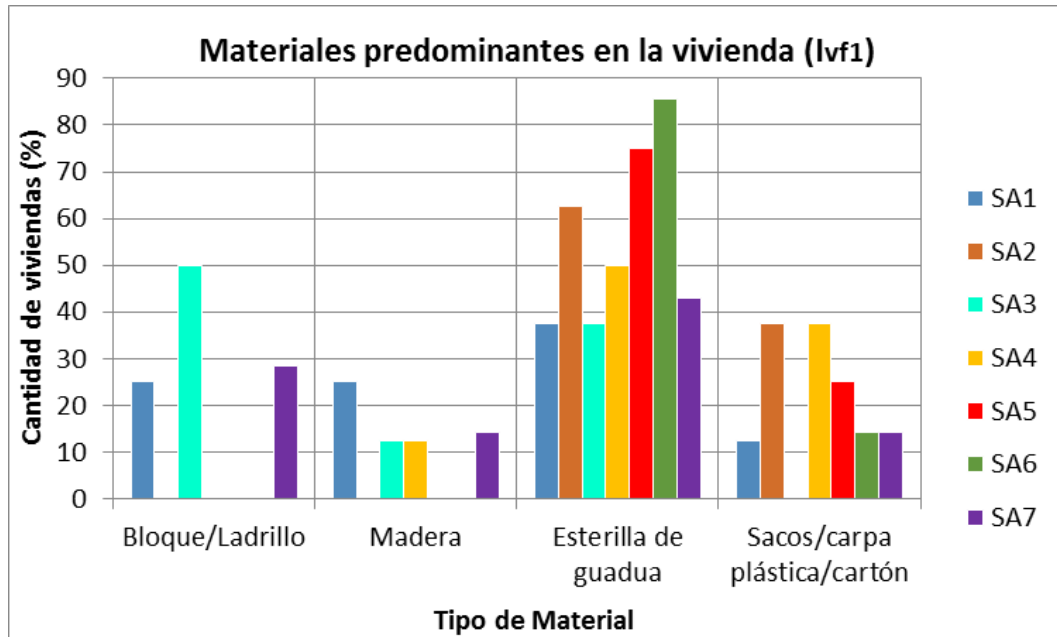
**5.1.2 Resultados evaluación de la vulnerabilidad global.** A continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad global por PRM presente en el sector Sur Occidente de la comuna 18.

**5.1.2.1 Vulnerabilidad física.** Se evalúa con base a la infraestructura y sus posibles debilidades para soportar los efectos que pueden causar los PRM. Para evaluar este tipo de vulnerabilidad se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores:

- **Materiales de construcción predominante en la vivienda (Ivf<sub>1</sub>).**

Este indicador es quizá uno de los más importantes a la hora de plantear la estimación de la vulnerabilidad. La resistencia de las viviendas está dada principalmente por el tipo de material con el que fue construida, es decir, que una vivienda construida con ladrillos o bloques es mucho más resistente que una construida en madera o plástico.

Los materiales utilizados para construir las viviendas son ladrillo, bloque, madera, esterilla de guadua y carpas plásticas en todo el sector. Tomando en cuenta lo anterior el tipo de material predominante en la construcción de las viviendas en el área de estudio es la esterilla de guadua (Figura 28). El sector SA6, es el más crítico, con un porcentaje del 85.7%, de sus viviendas construidas con este material. Seguido por los sectores SA5, SA2 y SA4 principalmente. El segundo material más utilizado son los sacos, carpas plásticas y cartón. Según este indicador se presenta una vulnerabilidad alta.

**Figura 28. Material utilizado en la construcción de las viviendas**

Fuente: Elaboración propia.

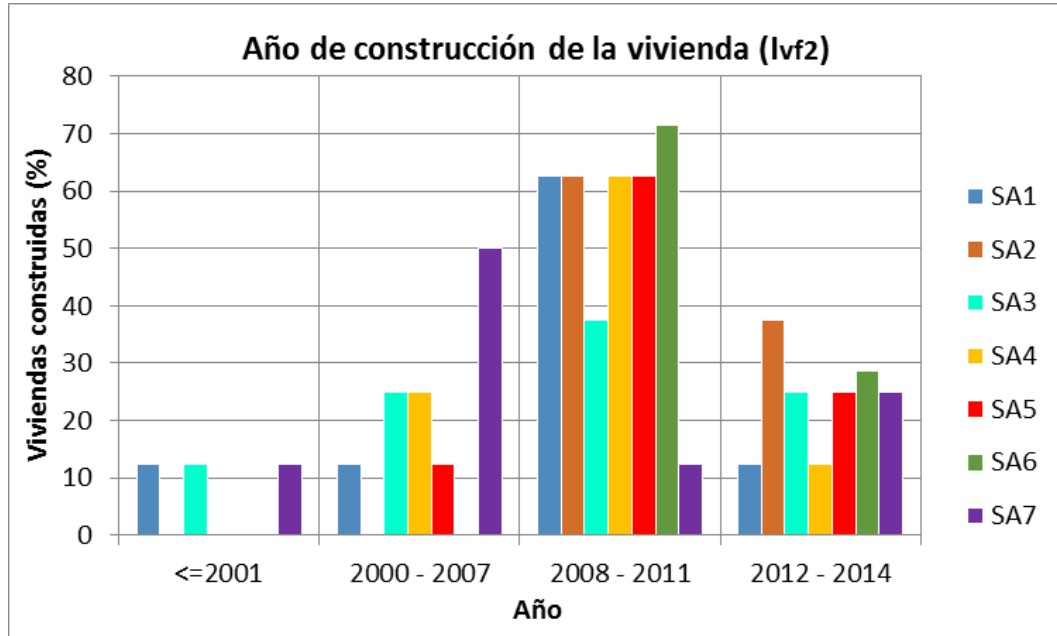
- **Año de construcción de la vivienda (lvf2)**

Este indicador se tuvo en cuenta debido al tipo de material utilizado en la construcción de las viviendas. Los materiales se caracterizan por su poca durabilidad y resistencia lo que indica que dependiendo el tiempo de construida de una vivienda presenta menor o mayor deterioro lo que disminuye su resistencia para soportar los efectos del riesgo. También se buscó evidenciar si alguna de las viviendas fue construida bajo la norma sismoresistente.

Teniendo en cuenta que el 100% de las viviendas encuestadas fueron construidas sin aplicar la norma de construcción sismoresistente se considera que por este aspecto la vulnerabilidad sería alta en todo el sector. La mayoría de las viviendas fueron construidas en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2011 (Figura 29), el sector más críticos es el, SA6, con un porcentaje de 71.4% de sus viviendas construidas durante el periodo mencionado, seguido por los sectores SA1, SA2,

SA4 y SA5 con un porcentaje superior al 60% de las viviendas en esta época. El sector SA7, presenta el 50% de sus viviendas construidas durante el periodo 2000 y 2007, según este indicador se presenta una vulnerabilidad media (Cuadro 38).

**Figura 29. Año en el que se construyó su vivienda**



Fuente: Elaboración propia.

- **Número de pisos de la vivienda (lvf3)**

El número de pisos se tiene en cuenta debido a que en el sector la mayoría de los materiales usados para construir no presentan alta durabilidad y resistencia, por lo que se considera que a mayor cantidad de pisos mayor vulnerabilidad. El mayor porcentaje de viviendas del sector posee 1 piso, los más representativos son el sector SA2 con el 100%, el sector SA5 el 87,5%, el sector SA6 el 71.4%. Por otra parte el sector con mayor criticidad es el SA1 con un 12,5% de sus viviendas con 4 o más pisos, según este indicador la vulnerabilidad es baja.

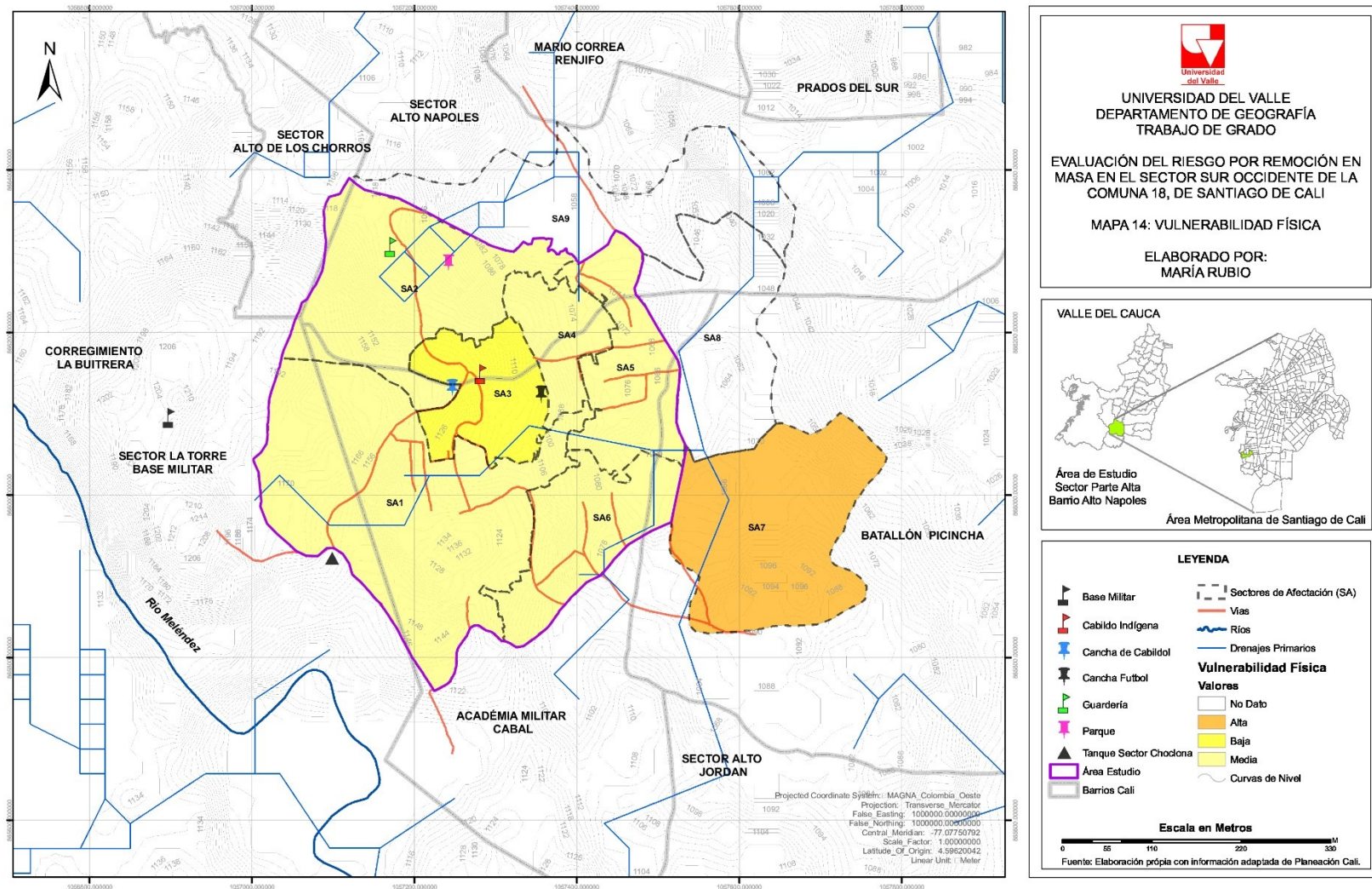
Se calculó la vulnerabilidad física para cada sector. Se presenta un resumen de la vulnerabilidad física del sector Sur Occidente de la comuna 18 (Cuadro 38), donde se muestra que solo el sector SA7 presenta vulnerabilidad alta. Los sectores que presentan vulnerabilidad media son: SA1, SA2, SA4, SA5, SA6 y el sector SA3 presenta vulnerabilidad baja. En este caso el sector más vulnerable es el SA7, este sector debe tomarse como prioritario para realizar mitigación. La vulnerabilidad física global para el sector de estudio es media. También se realizó la espacialización de la vulnerabilidad física (Figura 30).

**Cuadro 38. Resumen de la vulnerabilidad física**

| SECTOR | VULNERABILIDAD FÍSICA (Vf) |      |      |              |       |                |
|--------|----------------------------|------|------|--------------|-------|----------------|
|        | Ivf1                       | Ivf2 | Ivf3 | Calificación | %     | Vulnerabilidad |
| SA1    | 2,00                       | 1,00 | 0,00 | 1,00         | 33,33 | Media          |
| SA2    | 2,00                       | 1,00 | 0,00 | 1,00         | 33,33 | Media          |
| SA3    | 0,00                       | 1,00 | 1,00 | 0,67         | 22,22 | Baja           |
| SA4    | 2,00                       | 1,00 | 1,00 | 1,33         | 44,44 | Media          |
| SA5    | 2,00                       | 1,00 | 0,00 | 1,00         | 33,33 | Media          |
| SA6    | 2,00                       | 1,00 | 0,00 | 1,00         | 33,33 | Media          |
| SA7    | 2,00                       | 2,00 | 1,00 | 1,67         | 55,56 | Alta           |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Mapa Vulnerabilidad Física



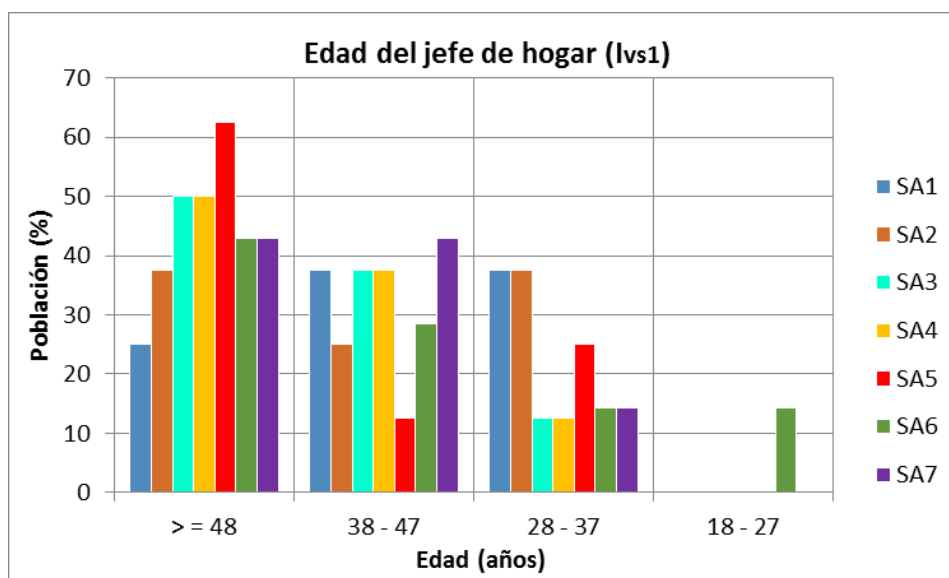
**5.1.2.2 Vulnerabilidad social.** La vulnerabilidad social se refiere a las características de la población, comportamiento y tipos de organizaciones comunitarias. Se tuvieron en cuenta 3 indicadores.

- **Edad del jefe del hogar (lvs<sub>1</sub>)**

Con este indicador se busca saber cuál es el rango de edades predominante del jefe del hogar. El jefe del hogar es la persona encargada de proveer a la familia de lo necesario, de protegerla, de socorrerla, es la guía, la persona que toma las decisiones. Teniendo en cuenta lo anterior se cree que a menor edad le será más fácil sacar a su familia adelante, a diferencia de una persona mayor a la cual le puede costar mayores esfuerzos esta tarea. A los más jóvenes les es más fácil conseguir empleo, tienen las fuerzas, la salud y las ganas. Le costará menos esfuerzo levantarse y seguir. Además también se debe tener en cuenta que en la actualidad la edad es un requisito muy importante para los empleadores, en muchos casos las personas después de determinadas edades son consideradas poco aptas por las empresas. La edad del jefe del hogar se tomó en los rangos de años de 18 a 27, 28 a 37, 38 a 47 y mayores o iguales a 48 (Figura 31).

Esta figura muestra que el mayor porcentaje de edad del jefe del hogar se da en el rango mayores o iguales a 48 años, siendo el sector SA5 el que presenta el mayor porcentaje con un 62.5%, seguido por los sectores SA3 y SA4 con porcentajes de 50%. Según este indicador la vulnerabilidad es muy alta.

Figura 31. Edad del jefe del hogar



Fuente: Elaboración propia.

- **Estado de salud del jefe del hogar (lvs2)**

El estado de salud de las persona a la hora de enfrentarse a los efectos causados por el riesgo es importante, pero la del jefe del hogar lo es aún más, porque él es la cabeza visible del mismo, es quien representa a su familia su soporte más fuerte tanto física como económicamente, si no goza de un buen estado de salud no solo estará en desventaja él, si no todo su núcleo familiar.

El estado de salud del jefe del hogar en el sector de estudio es: Excelente, bueno, regular y malo. El estado de salud del jefe del hogar, más representativo es bueno, seguido por regular. El sector más crítico en cuanto a la edad se refiere es SA6 con un porcentaje de 42.9%, de los sectores SA4 y SA5 con un 25%. La vulnerabilidad según esté indicador es media.

- **Número de habitantes por vivienda (lvs3)**

Se evalúa cuantas personas viven por vivienda, teniendo en cuenta que entre más habitantes por vivienda mayor será la vulnerabilidad, ya que es más difícil evacuar

u organizarse para una actividad, al igual que es difícil en cuestiones económicas mantener una familia numerosa con bajos ingresos.

Para la evaluación se plantearon 4 categorías, 1, 2, 3 y mayores o iguales a 4, donde el mayor número representa mayor vulnerabilidad y viceversa. En el sector Sur Occidente de la comuna 18, el número de habitantes por vivienda más representativo es mayores o iguales a 4, los sectores más vulnerables son el SA4 y el SA7 con un porcentaje del 100%, seguidos por los sectores SA1, SA2, SA3 y SA5 con más del 80%, y, por último, el sector SA6, con más del 70%, Según este indicador la vulnerabilidad es muy alta.

- **Número de niños menores de 10 años por vivienda (lvs<sub>4</sub>)**

Se tienen en cuenta el número de niños menores de 10 años partiendo de que entre más niños haya en un hogar mayor será la vulnerabilidad que se presente. Este ítem se consideró importante por la procedencia de la comunidad asentada en el sector, en su gran mayoría es de origen indígena (Foto 9) y estas comunidades se caracterizan por tener una población infantil alta.

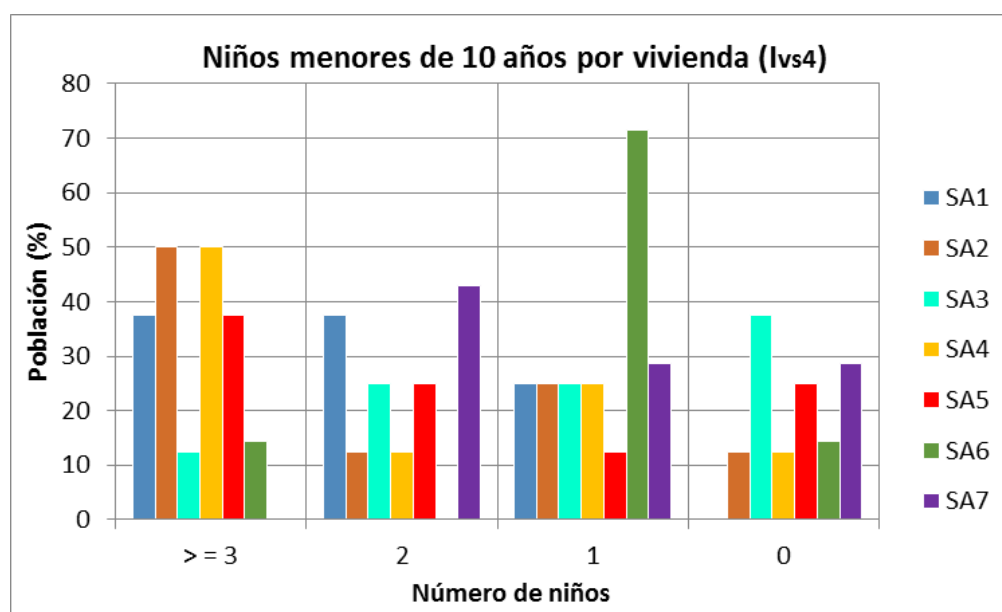
**Foto 9. Niños de la comunidad indígena Nasa**



Fuente: Autora.

Los resultados arrojaron que el número de niños por hogar se encuentra entre los rangos, 0,1, 2, y 3 o más (Figura 32). Esta figura muestra que los valores más representativos en cuanto al número de niños menores de 10 años por vivienda, se presentan en el sector SA6 con un 71.4% seguido por los sectores SA2, SA4, con un 50% y el SA7 con un 42.9%. Según este indicador la vulnerabilidad es muy alta

**Figura 32. Número de niños menores de 10 años por vivienda**



Fuente: Elaboración propia.

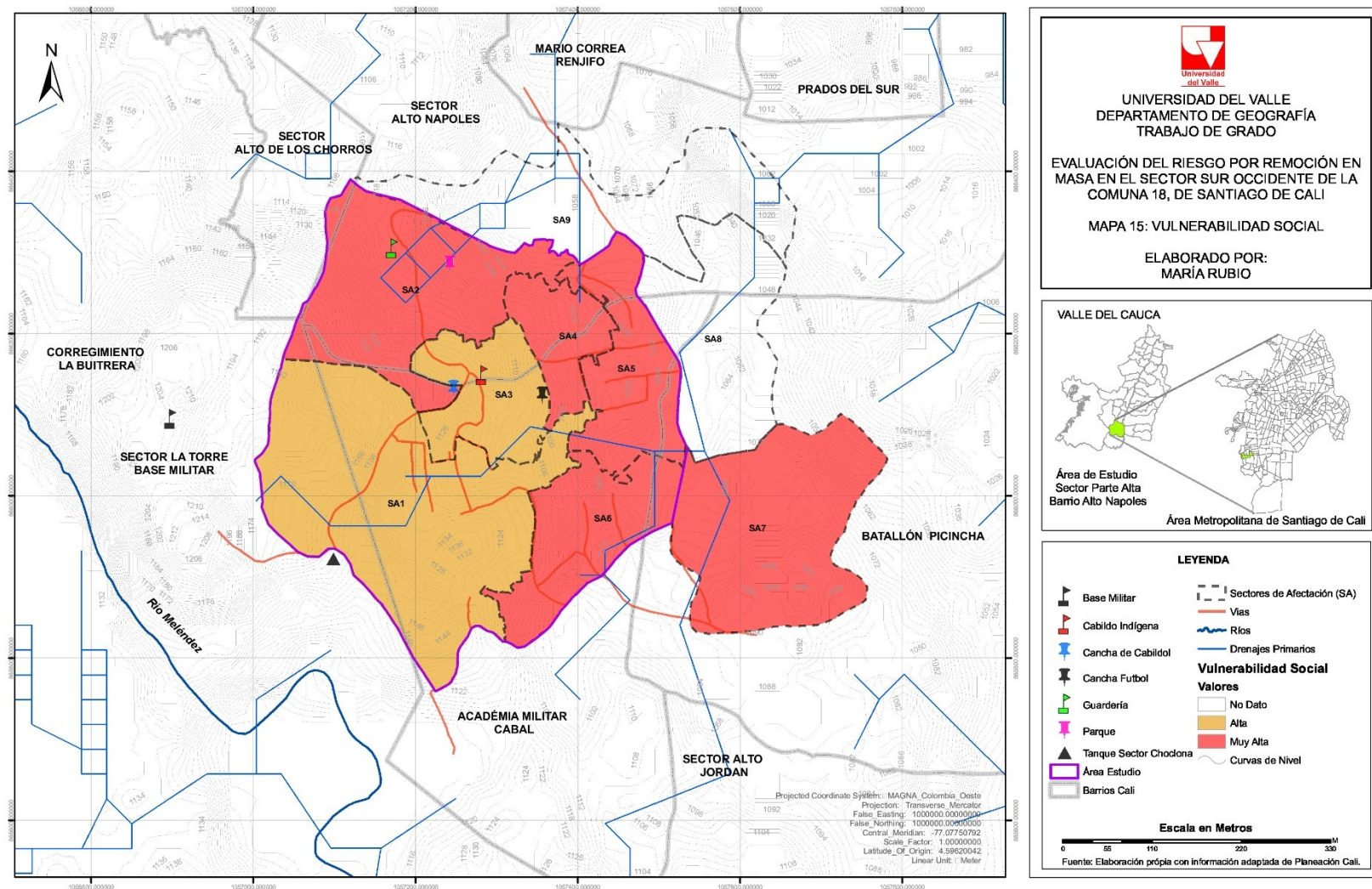
Después de haber obtenido la vulnerabilidad según los indicadores propuestos, se presenta el resumen de la vulnerabilidad social (Cuadro 39). El cuadro muestra los resultados de la vulnerabilidad social por sectores. Los sectores que presentan una vulnerabilidad muy alta son, SA2, SA4, SA5, SA6 y SA7. Estos sectores deben ser prioritarios a la hora de formular y aplicar medidas de mitigación, esta vulnerabilidad se presenta en gran parte del sector. La vulnerabilidad alta la presentan los sectores SA1 y SA3. La vulnerabilidad social en el sector se puede decir que es crítica en el 100% del área, la espacialización de la vulnerabilidad social permite identificar las áreas más críticas (Figura 33).

**Cuadro 39. Resumen vulnerabilidad social**

| SECTOR     | VULNERABILIDAD SOCIAL (Vs) |      |      |      |              |       |                |
|------------|----------------------------|------|------|------|--------------|-------|----------------|
|            | lvs1                       | lvs2 | lvs3 | lvs4 | Calificación | %     | Vulnerabilidad |
| <b>SA1</b> | 2,00                       | 1,00 | 3,00 | 3,00 | 2,25         | 75,00 | Alta           |
| <b>SA2</b> | 3,00                       | 1,00 | 3,00 | 3,00 | 2,50         | 83,33 | Muy Alta       |
| <b>SA3</b> | 3,00                       | 1,00 | 3,00 | 0,00 | 1,75         | 58,33 | Alta           |
| <b>SA4</b> | 3,00                       | 2,00 | 3,00 | 3,00 | 2,75         | 91,67 | Muy Alta       |
| <b>SA5</b> | 3,00                       | 2,00 | 3,00 | 3,00 | 2,75         | 91,67 | Muy Alta       |
| <b>SA6</b> | 3,00                       | 3,00 | 3,00 | 1,00 | 2,50         | 83,33 | Muy Alta       |
| <b>SA7</b> | 3,00                       | 2,00 | 3,00 | 2,00 | 2,50         | 83,33 | Muy Alta       |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Mapa Vulnerabilidad Social



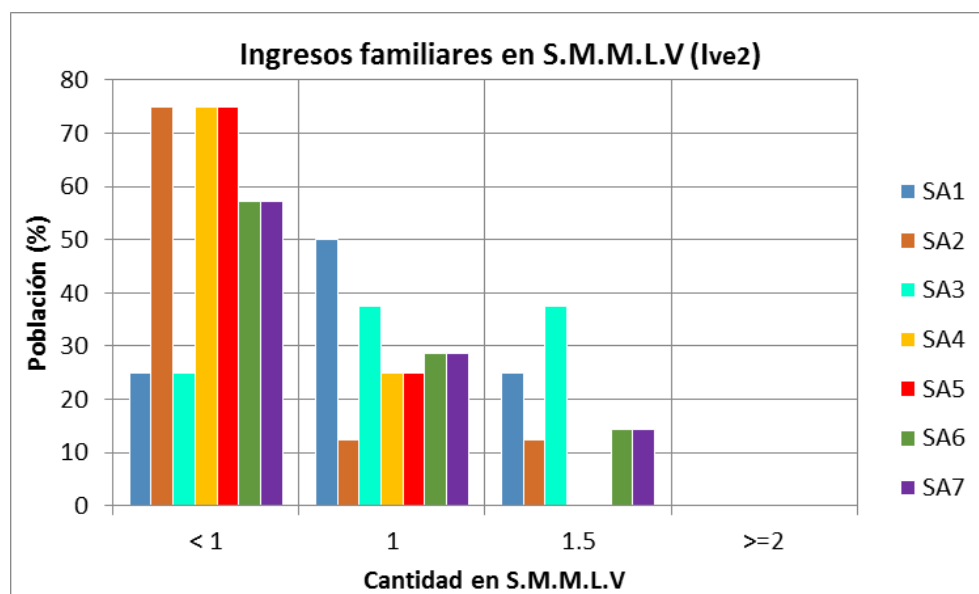
**5.1.2.3 Vulnerabilidad económica.** La vulnerabilidad económica se refiere al desarrollo económico que ha logrado la población, se cree que entre menos ingresos económicos tengan serán más vulnerables, se toman en cuenta los siguientes indicadores.

- **Desempleo del jefe del hogar (Ive<sub>1</sub>)**

El desempleo del jefe del hogar se propuso como un indicador de la vulnerabilidad económica ya que a mayor desempleo de la cabeza del hogar mayor vulnerabilidad para el núcleo familiar. Para evaluar este indicador se tomaron 4 rangos de medida, como resultado se obtuvo que el desempleo del jefe del hogar es mayor o igual al 21%, lo que se traduce a una vulnerabilidad muy alta para este indicador, los sectores más críticos son, SA2 y SA4 con un porcentaje de desempleo del 50%, y los sectores SA1 y SA5 con porcentajes por encima del 36%, y los sectores SA3, SA6 y SA7 con un porcentaje de desempleo por encima del 25%.

- **Ingreso familiar en salarios mínimos mensuales legales vigentes (S.M.M.L.V) (Ive<sub>2</sub>)**

Este indicador se evaluó con base a los ingresos totales de la familia, esta población en su mayoría no cuentan con un empleo fijo, sobreviven en su mayoría de trabajos informales como moto-taxi, trabajo doméstico, jardinería, reciclaje, entre otros. Lo que indica que sus ingresos no son constantes, en muchos casos el jefe del hogar está desempleado y los que aportan económicamente son otros miembros del hogar. Los ingresos del mayor porcentaje de la población son de menos de 1 salario mínimo mensual legal vigente (Figura 34). Los sectores con menos ingresos familiares son SA2, SA4 y SA5, con porcentajes mayores al 70%. Solo el 14.3% de la población de los sectores SA6 y SA7 tienen ingresos mayores o iguales a 1.5 salarios, la vulnerabilidad según este indicador es muy alta.

**Figura 34. Ingresos familiares (S.M.M.L.V)**

Fuente: Elaboración propia.

- **Acceso a servicios públicos agua y energía (Ive<sub>3</sub>)**

Este indicador se evaluó en dos etapas. Esta decisión se tomó en base a que el mayor porcentaje de la población cuenta con el servicio de agua potable y energía eléctrica pero no sucede lo mismo con el servicio de alcantarillado, y de haberse evaluado los tres servicios de forma conjunta se habría obtenido información errónea. La población cuenta con servicios de agua y energía por que fueron instalados por ellos mismos de manera no formal por lo cual no cancelan una tarifa por el servicio, también es esta la razón por la que no cuentan con servicio de alcantarillado.

Se consideró importante incluir la carencia de alcantarillado puesto que el hecho de no contar con el servicio algunos miembros de la comunidad arrojan las agua a las vías o a los patios de los vecinos sin ningún tipo de control, lo que ocasiona malestar e incluso consecuencias más graves como el desplome del suelo e inundaciones a viviendas y malos olores. Este indicador refleja que el 100% de la población asentada en el sector Suroccidente de la comuna 18, cuenta con el servicio de agua

potable y energía eléctrica. Lo que se traduce en una vulnerabilidad baja para este indicador.

- **Acceso a servicios públicos alcantarillado (Ive4).**

Por otra parte, el indicador de acceso a al servicio de alcantarillado es nulo en el sector, es decir el 100% de la población no cuenta con el servicio, por lo que se toma la vulnerabilidad como muy alta para este indicador.

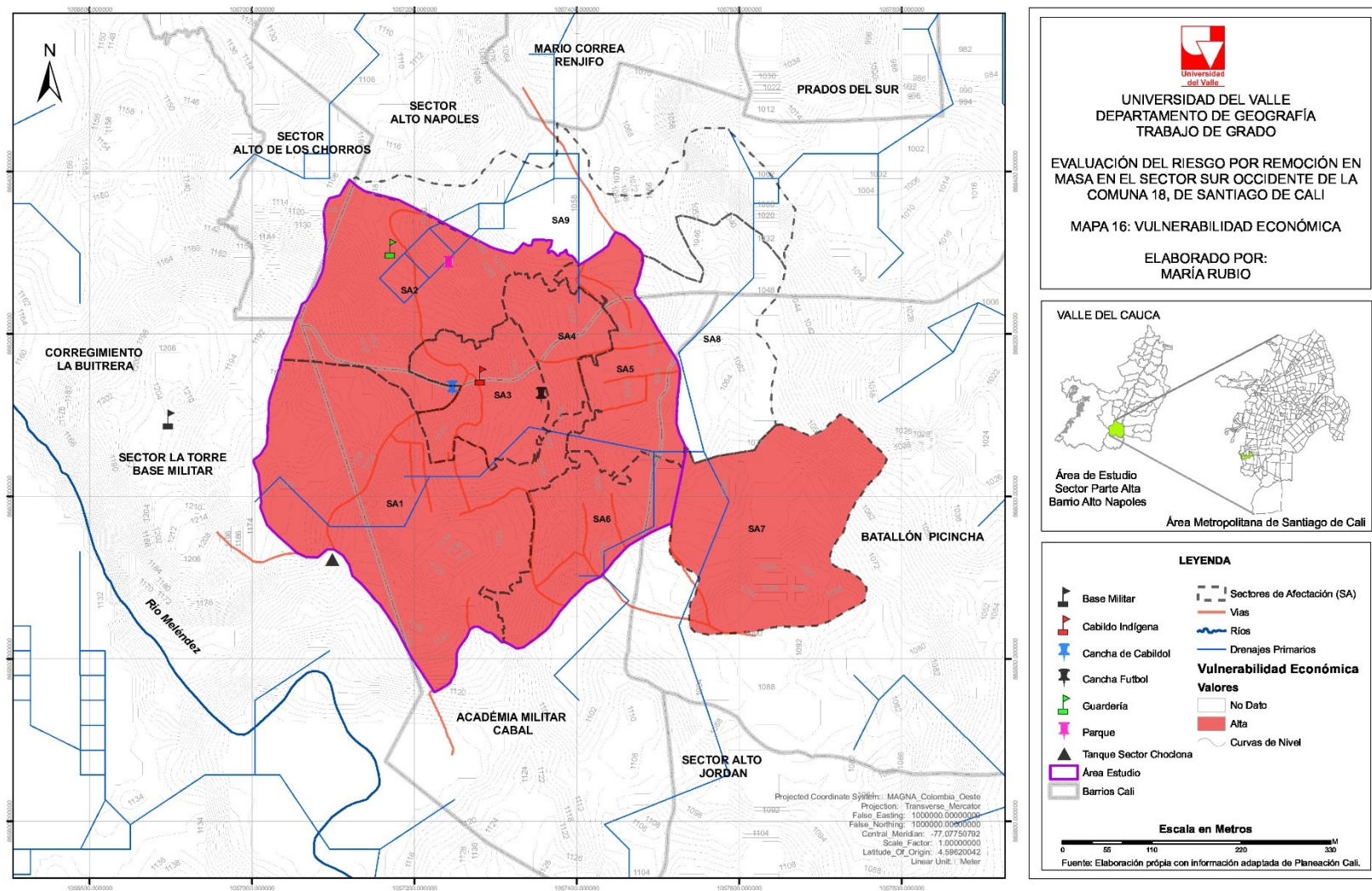
A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos de los cálculos de los indicadores propuestos para evaluar la vulnerabilidad económica (Cuadro 40), muestra que la vulnerabilidad para el sector Suroccidente de la comuna 18, es alta. Esta calificación se da debido al desempleo, los bajos ingresos y la carencia total del servicio de alcantarillado. Este resultado puede sugerir que se deben realizar medidas de mitigación que permitan que la población cuente con empleos más estables y mejor remunerados, al igual que implementar sistemas de alcantarillado. La espacialización de la vulnerabilidad económica presente en cada sector de la zona de estudio muestra que todos los sectores que componen el área de estudio presentan una vulnerabilidad alta (Figura 35).

**Cuadro 40. Resumen vulnerabilidad económica**

| SECTOR | VULNERABILIDAD ECONÓMICA (Ve) |      |      |      |              |       |                |
|--------|-------------------------------|------|------|------|--------------|-------|----------------|
|        | Ive1                          | Ive2 | Ive3 | Ive4 | Calificación | %     | Vulnerabilidad |
| SA1    | 3,00                          | 2,00 | 0,00 | 3,00 | 2,00         | 66,67 | Alta           |
| SA2    | 3,00                          | 3,00 | 0,00 | 3,00 | 2,25         | 75,00 | Alta           |
| SA3    | 3,00                          | 2,00 | 0,00 | 3,00 | 2,00         | 66,67 | Alta           |
| SA4    | 3,00                          | 3,00 | 0,00 | 3,00 | 2,25         | 75,00 | Alta           |
| SA5    | 3,00                          | 3,00 | 0,00 | 3,00 | 2,25         | 75,00 | Alta           |
| SA6    | 3,00                          | 3,00 | 0,00 | 3,00 | 2,25         | 75,00 | Alta           |
| SA7    | 3,00                          | 3,00 | 0,00 | 3,00 | 2,25         | 75,00 | Alta           |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Mapa Vulnerabilidad Económica



**5.1.2.4 Vulnerabilidad cultural.** La vulnerabilidad cultural se toma en cuenta por las características propias de la población que habita el sector. La comunidad en su mayoría es de origen indígena lo que indica que presentan una serie de diferencias con otras comunidades. Ellos poseen una educación, creencias y formas de actuar diferentes por así decirlo. Se toma como punto de partida la participación de la mujer en actividades de prevención y mitigación del riesgo, la incorporación de la mujer a estos procesos trae beneficios para toda la comunidad.

- **Participación de la mujer en actividades preventivas y de mitigación del riesgo (Ivc<sub>1</sub>).**

La sociedad actual es un poco más consiente a la hora de permitir la incorporación de la mujer en diferentes roles y las comunidades indígenas no son la excepción. Estas mujeres se involucran en aspectos tanto políticos como en las tareas que requieran trabajo físico. Aun no se puede hablar de una equidad de género pero si de una colaboración mutua en estas tareas lo que lleva a que logren efectuar una reducción del riesgo.

Este indicador se tuvo en cuenta por que la mayoría de la población asentada en el sector de estudio es de origen indígena. En estas comunidades la participación femenina no se limita a las tareas del hogar, las mujeres también participan en diferentes procesos realizados por toda la comunidad. La mujer ocupa cargos políticos, realiza algunas tareas en igualdad con el hombre participan en los procesos de mitigación del riesgo incluso con trabajo físico (Foto 10)

**Foto 10. Mujeres realizando tareas en igualdad con el hombre.**



Fuente: Autora.

**Foto 11. Participación de la mujer en el trabajo físico**



Fuente: Autora.

La participación de la mujer en actividades grupales tales como la toma de decisiones y la construcción de obras de mitigación se evidencia en las diferentes visitas de campo realizadas a la comunidad donde se asistió a reuniones y recorrido del área (Foto 11).

La participación de la mujer se midió en porcentajes de 0.0 a 14.99, 15.00 a 29.99, 30.00 a 50.99 y mayores o iguales a 51.00, (los rangos más bajos indican menor participación de la mujer, ejemplo: 0.0 a 14.99). Las mujeres de la comunidad asentada en el sector de estudio tienen una participación activa en los procesos de mitigación y prevención del riesgo, el sector más vulnerable es el SA7, con un porcentaje de participación de la mujer del 14.3%, lo que representa una vulnerabilidad muy alta. El sector SA3 presenta vulnerabilidad alta con un porcentaje del 25.0%, los sectores SA2, SA4, SA5, SA6, presenta vulnerabilidad media, y el sector menos vulnerable con una participación activa de la mujer es el SA1, con el 62,5% de participación. La vulnerabilidad en este caso es media.

- **Han tomado medidas preventivas contra la ocurrencia de un PRM (Ivc<sub>2</sub>).**

Teniendo en cuenta que en la zona se han producido PRM, se buscó saber si la comunidad ha tomado algunas medidas que les permita mitigar su vulnerabilidad. Los resultados arrojan que en la zona todos los sectores han tomado algunas medidas preventivas que le permitan mitigar su vulnerabilidad en caso de la ocurrencia de un PRM. Los sectores más críticos son el SA2 y SA5, los cuales presentan una vulnerabilidad muy alta. Los sectores SA4 y SA6, presentan vulnerabilidad alta con un 25% y 28.6%, respectivamente. Los sectores SA3 con un 37.5% y SA7 42.9% presentan vulnerabilidad media, y el sector SA1 presenta vulnerabilidad baja con un 62.5%. La vulnerabilidad según este indicador es alta.

El sector SA1, es el único donde la vulnerabilidad es baja, ya que el 62,5% de la población ha tomado medidas preventivas, estas medidas fueron evidenciadas

durante el trabajo de campo (Foto 12) donde se observan algunas construcciones de obras que han tomado con el fin de mitigar la vulnerabilidad. Este sector está habitado por la comunidad indígena Nasa principalmente, quienes en muchos aspectos de su vida actúan en bloque, lo que les ha permitido organizar actividades en pro de su seguridad. Han construido canales para guiar el agua de las precipitaciones y así evitar que baje por la pendiente sin ningún control, algunos de los callejones de acceso a las viviendas son construidos en concreto (Foto 13).

**Foto 12. Construcción de mitigación sector SA1**



Fuente: Autora

**Foto 13. Obras de mitigación sector SA1**



Fuente: Autora

- **Asiste, participa o gestiona actividades relacionadas con la prevención de los PRM (Ivc<sub>3</sub>).**

Este indicador se considera importante porque si la comunidad está informada del riesgo al que se expone, es más probable que tome medidas de mitigación, y si gestiona información y educación para el resto de la comunidad significa que los niveles de vulnerabilidad del total de la población serían más bajos. La población asentada en el sector de estudio por es más activa en su participación en la construcción de las obras, pero en cuanto a lo que tiene que ver con la gestión son mucho más renuentes. Los sectores más activos en la labor son SA7 con un 42,9%, SA6 con un 28.6%, SA1 y SA3. En este indicador la vulnerabilidad es media.

A continuación se presenta un resumen de los indicadores propuestos para realizar la evolución de la vulnerabilidad cultural presente en el Sector Suroccidente de la comuna 18 (Cuadro 41). Se muestran los resultados de la vulnerabilidad cultural que presenta el sector de estudio, donde se obtuvo que los sectores SA2 y SA5 presentan una vulnerabilidad muy alta. A estos dos sectores se les debe dar prioridad a la hora de efectuar programas de mitigación. Los sectores SA3, SA4, SA6 y SA7, presentan vulnerabilidad alta, siendo el único sector del área de estudio en presentar una vulnerabilidad cultural baja el SA1. La vulnerabilidad cultural es alta.

**Cuadro 41. Resumen vulnerabilidad cultural**

| SECTOR     | VULNERABILIDAD CULTURAL (Vc) |      |      |              |       |                |
|------------|------------------------------|------|------|--------------|-------|----------------|
|            | Ivc1                         | Ivc2 | Ivc3 | Calificación | %     | Vulnerabilidad |
| <b>SA1</b> | 0,00                         | 0,00 | 2,00 | 0,67         | 22,22 | Baja           |
| <b>SA2</b> | 1,00                         | 3,00 | 3,00 | 2,33         | 77,78 | Muy Alta       |
| <b>SA3</b> | 2,00                         | 1,00 | 2,00 | 1,67         | 55,56 | Alta           |
| <b>SA4</b> | 1,00                         | 2,00 | 2,00 | 1,67         | 55,56 | Alta           |
| <b>SA5</b> | 1,00                         | 3,00 | 3,00 | 2,33         | 77,78 | Muy Alta       |
| <b>SA6</b> | 1,00                         | 2,00 | 2,00 | 1,67         | 55,56 | Alta           |
| <b>SA7</b> | 3,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,67         | 55,56 | Alta           |

Fuente: Elaboración propia.

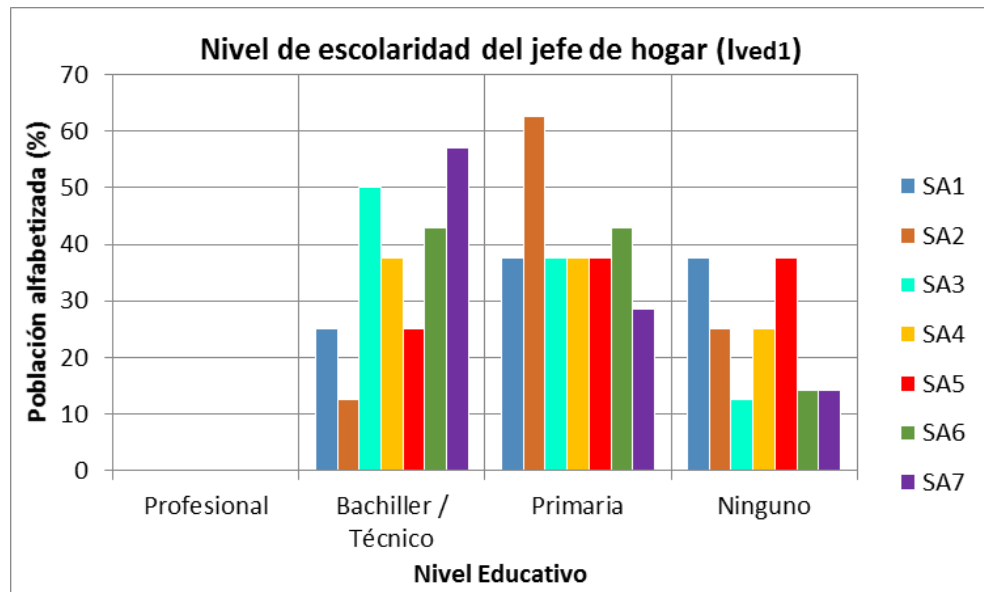
**5.1.2.5 Vulnerabilidad educativa.** Se enfoca principalmente en el nivel educativo o de preparación académica del jefe del hogar y del resto de la comunidad, la cual es una herramienta que pueden usar en la disminución de la vulnerabilidad, poseer más o menos conocimientos harán la diferencia a la hora de aplicarlos en su vida cotidiana para enfrentar los posibles efectos del riesgo. Se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores:

- **Nivel de escolaridad alcanzado por el jefe del hogar (lved<sub>1</sub>)**

La adquisición de educación para esta comunidad no es fácil. Primero que todo provienen de comunidades que habitan en el campo donde las escuelas y colegios son escasas y ni decir de los institutos o universidades. Además de esto la mayoría de estas comunidades se educan para vivir de la tierra, lo que deja en segundo plano la educación formal, las pocas personas que se interesen en estudiar encuentran barreras como la lejanía de los centros educativos, los altos costos del transporte, la alimentación o el arriendo, lo que en muchos casos los persuade.

El nivel educativo tiene una relación directa con la vulnerabilidad, puesto que si una persona no posee una formación académica acorde con las exigencias del mercado laboral difícilmente será contratado y si lo es, los salarios devengados son irrisorios para suplir los costes de vida en la tercera ciudad más importante de Colombia, por los que se cree que a menor formación académica mayor vulnerabilidad.

Para medir el nivel de escolaridad de la población jefe del hogar se plantearon 4 niveles (Figura 36), donde se muestra que la mayor parte de la población alcanzó el nivel educativo primaria, seguido por bachiller y/o técnicos y, por último, la población que no ha cursado estudios. En la población no se registrados personas que hayan alcanzado un nivel profesional. Los sectores que presentan vulnerabilidad muy alta son SA1 y SA5 principalmente, la vulnerabilidad según este indicador es alta.

**Figura 36. Nivel de escolaridad alcanzado por el jefe del hogar**

Fuente: Elaboración propia.

- **Han recibido capacitación acerca de los PRM (lved2)**

Las capacitaciones permiten obtener información sobre los PRM de personas estudiosas del tema, lo que se convierte en una herramienta para la comunidad que puede aplicarla en su sector. Los rangos de capacitación recibida por la población es baja, la cual se ubica en el rango de 0,0 a 14,99%, lo que indica que todos los sectores presentan una vulnerabilidad muy alta, a excepción del sector SA4, que presenta una vulnerabilidad alta, ya que el 25% de su población ha recibido capacitación, según este indicador la vulnerabilidad es muy alta.

Se presenta el resumen de los indicadores ponderados, utilizados para evaluar la vulnerabilidad educativa (Cuadro 42). Se muestra que la vulnerabilidad en los sectores que conforman el área de estudio está entre muy alta y alta, lo que se traduce que la vulnerabilidad educativa en el sector Sur Occidente de la comuna 18, es muy alta. Este resultado indica que la población requiere que se implementen o fortalezcan programas educativos, no solo de educación tradicional si no también

programas específicos que traten el tema de la vulnerabilidad y riesgos naturales en general.

**Cuadro 42. Resumen de la vulnerabilidad educativa**

| SECTOR     | VULNERABILIDAD EDUCATIVA (Ved) |       |              |        |                |
|------------|--------------------------------|-------|--------------|--------|----------------|
|            | lved1                          | lved2 | Calificación | %      | Vulnerabilidad |
| <b>SA1</b> | 3,00                           | 3,00  | 3,00         | 100,00 | Muy Alta       |
| <b>SA2</b> | 2,00                           | 3,00  | 2,50         | 83,33  | Muy Alta       |
| <b>SA3</b> | 1,00                           | 3,00  | 2,00         | 66,67  | Alta           |
| <b>SA4</b> | 2,00                           | 2,00  | 2,00         | 66,67  | Alta           |
| <b>SA5</b> | 3,00                           | 3,00  | 3,00         | 100,00 | Muy Alta       |
| <b>SA6</b> | 2,00                           | 3,00  | 2,50         | 83,33  | Muy Alta       |
| <b>SA7</b> | 1,00                           | 3,00  | 2,00         | 66,67  | Alta           |

Fuente: Elaboración propia.

**5.1.3 Vulnerabilidad global.** La evaluación de la vulnerabilidad global consta de la evaluación de los cinco tipos de vulnerabilidad descritos. Los resultados y análisis de la vulnerabilidad global a deslizamientos por PRM. En el sector Suroccidente de la comuna 18 (Cuadro 43) donde se presentan los resultados generales de la evaluación, se evidencia que se presenta una vulnerabilidad global alta. Este resultado indica que se deben gestionar y aplicar con cierta celeridad, medidas que permitan reducir o mitigar los niveles de vulnerabilidad de la población. Las vulnerabilidades más crítica son la social y la educativa con porcentajes de vulnerabilidad de 80.95%. Seguidas por la vulnerabilidad económica con un porcentaje del 72.62 y la cultural con un 57.14%.

**Cuadro 43. Resultados generales vulnerabilidad global**

| Tipo Vulnerabilidad    | Vulnerabilidad Promedio | Vulnerabilidad Existente (%) | Peso Relativo (P) | Vulnerabilidad |
|------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------|----------------|
| <b>Social (Vs)</b>     | 2,43                    | 80,95                        | 1,00              | Muy Alta       |
| <b>Física (Vf)</b>     | 1,10                    | 36,51                        | 1,00              | Media          |
| <b>Económica (Ve)</b>  | 2,18                    | 72,62                        | 0,95              | Alta           |
| <b>Cultural (Vc)</b>   | 1,71                    | 57,14                        | 0,90              | Alta           |
| <b>Educativa (Ved)</b> | 2,43                    | 80,95                        | 0,95              | Muy Alta       |
| <b>Global (Vg)</b>     | <b>1,89</b>             | <b>62,96</b>                 |                   | Alta           |

Fuente: Elaboración propia.

**5.1.3.1 Análisis de la vulnerabilidad global.** A continuación se presentan los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad global del Sector Sur Occidente de la comuna 18, los cuales fueron obtenidos al realizar el cruce de los resultados de cada uno de los 5 tipos de vulnerabilidad propuestas para el estudio.

- **Vulnerabilidad física.** A nivel global es media, sin embargo algunos sectores presentan vulnerabilidad alta y baja. Estos resultados indican que la mayoría de las viviendas del lugar no están construidas con materiales que aporten resistencia y durabilidad, la construcción masiva de las viviendas se ha dado en años recientes y el mayor porcentaje de las viviendas posee un piso. El indicador más crítico es el tipo de materiales utilizados en la construcción. A la hora de proponer y realizar medidas de mitigación se debe priorizar el tema de los tipos de materiales usados en la construcción de las viviendas.
- **Vulnerabilidad social.** Esta vulnerabilidad a nivel global es muy alta. Este resultado se da debido a que la edad del jefe del hogar es avanzada lo que se convierte en una barrera en la concesión de empleos y en el desempeño de actividades que impliquen agilidad. La cantidad de habitantes por

vivienda es un factor que aporta mucho peso en este resultado dado que en la mayoría de las viviendas habitan más de 4 personas lo que alcanza porcentajes entre el 70% y el 100% en todos los sectores en los que se divide el área total de estudio. Otro factor determinante es el número de niños menores de 10 años por vivienda, estas características de la población les representa que les sea más difícil reaccionar con mayor rapidez y absorber los efectos causados ante una posible situación de desastre.

- **Vulnerabilidad Económica.** Es alta a nivel global. La condición de desempleo del jefe del hogar es alto, más de 21% de la población está desempleado. Lo que hace que la economía del hogar dependa de otros miembros que en ocasiones son menores de edad y desempeñan labores como el reciclaje, ventas de golosinas, comidas rápidas, trabajo doméstico, entre otros. Los ingresos familiares son bajos como para sostener a toda una familia. El 100% de la población no tiene acceso a servicio de alcantarillado lo que ha generado que la población implemente varias maneras de deshacerse de los desechos, las cuales en muchos casos no cumple con su función a mediano plazo. Estas condiciones económicas llevan a la población a quedar expuestas a sufrir con mayores consecuencias los efectos del desastre.
- **Vulnerabilidad cultural.** Esta vulnerabilidad global es alta, la participación de la mujer es precaria. En el área total de estudio se destaca el sector SA1, en el cual la participación de la mujer es representativa en comparación con los otros sectores. La población aún no es consciente que deben tomar medidas que les ayude a disminuir su vulnerabilidad y los que las han tomado se debe principalmente a que se han visto afectados por algún proceso como caída de rocas o deslizamientos, las medidas tomadas son a corto y mediano plazo. Las obras se limitan estrictamente a las

cercanías de la vivienda propia o la de las personas con las que se tiene algún tipo de vínculo familiar.

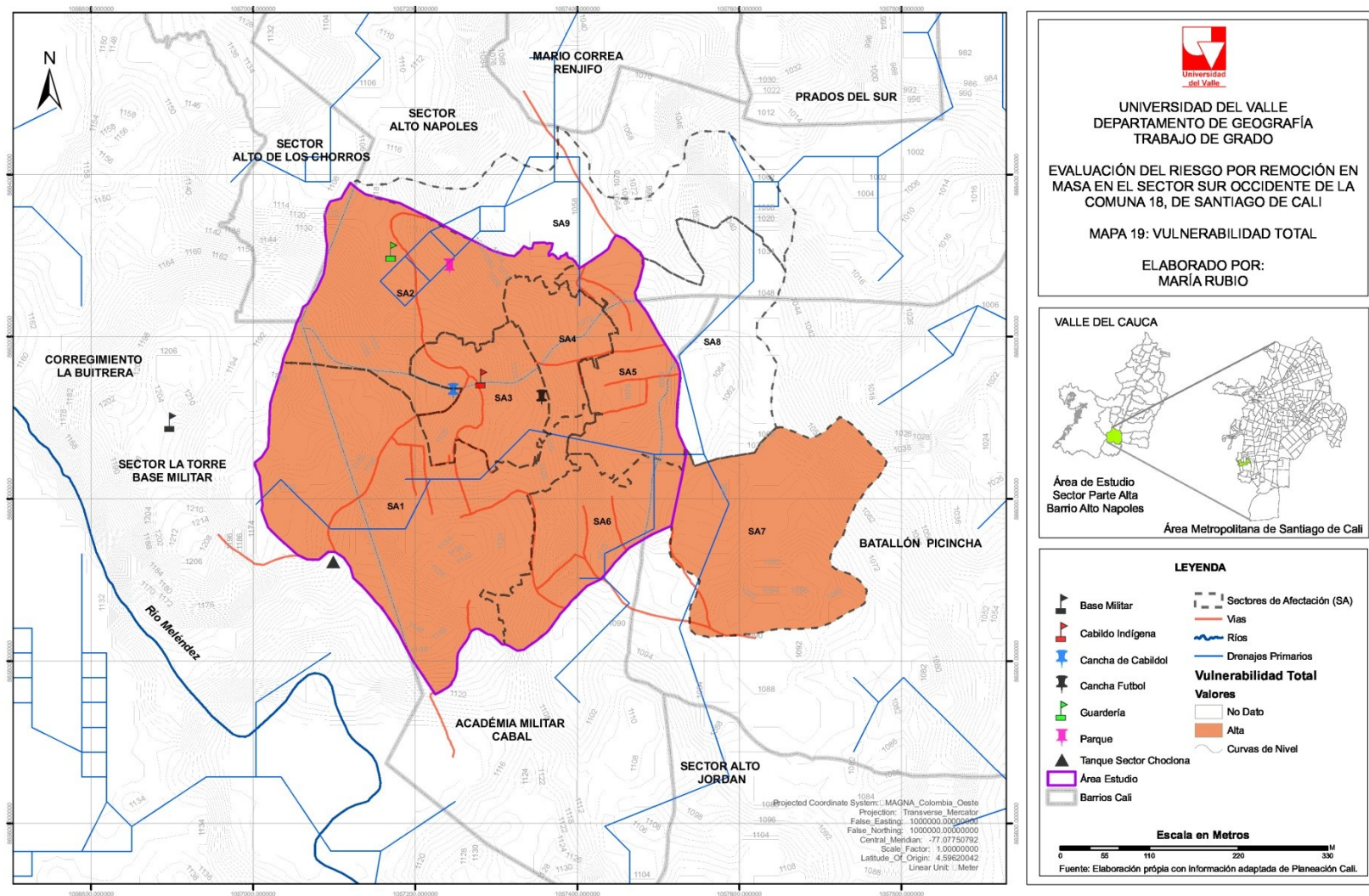
La población debe actuar en bloque, deben dejar a un lado el individualismo y aprender a trabajar en equipo, tomar acciones que favorezcan la prevención y mitigación del riesgo en zonas susceptibles en general y no solamente en la vivienda o sus límites más cercanos. Puesto que puede haber riesgos potenciales en otras áreas que se ignoran simplemente porque no se tienen en cuenta que también puede afectar su vivienda. Es sabido que el riesgo no es selectivo y afecta a toda la población en menor o mayor grado dependiendo las capacidades que se tengan para absorber los efectos de los desastres.

- **Vulnerabilidad educativa.** Esta es muy alta en todo el sector y se debe principalmente a que el nivel educativo es precario, donde se destaca la primaria como el nivel más cursado. Seguido a esto la mayoría de la población no ha recibido capacitación sobre PRM, lo que incrementa la vulnerabilidad puesto que no se tiene el conocimiento sobre los efectos y la forma de actuar para mitigar un desastre.

La espacialización de la vulnerabilidad global a PRM, en el sector Sur Occidente de la comuna 18 de Cali, es alta (Figura 37), incluyendo el sector SA7 que se encuentra fuera del perímetro de estudio. Para este cálculo no se tuvieron en cuenta los sectores SA8 y SA9, debido a la inseguridad del sector.

Se debe prestar atención especial a todos los aspectos que hacen vulnerable a la comunidad dado que todos contribuyen a su vulnerabilidad, es decir, al momento de actuar se debe tratar de reducir todos los tipos de vulnerabilidad y no centrarse solo en uno, puesto que todos tienen condiciones críticas. En el caso de que solo se pueda atender una vulnerabilidad a la vez sugeriría iniciar con la vulnerabilidad educativa, ya que se cree que por medio de esta se puede influenciar positivamente las vulnerabilidades restantes.

Figura 37. Mapa Vulnerabilidad Global



## 5.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO A PRM

Para la evaluación del riesgo por PRM, se tuvo en cuenta la evaluación de la amenaza total y la vulnerabilidad global, obteniendo el mapa de riesgo presente en el sector y se representa con la siguiente expresión.

$$A \times V = R \quad [6]$$

Donde:

A - Amenaza,

V - Vulnerabilidad,

R - Riesgo

Siguiendo el lineamiento planteado por Rose, 2005 citado por Suárez Díaz, 2009<sup>64</sup>, se realiza el cruce de la amenaza total vs vulnerabilidad global para obtener la evaluación del riesgo por remoción en masa en el sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali. (Cuadro 44).

**Cuadro 44. Método de evaluación del riesgo a fenómenos de remoción en masa**

| Convenciones  |          | Amenaza total | Vulnerabilidad global |      |       |      |
|---------------|----------|---------------|-----------------------|------|-------|------|
| <b>Riesgo</b> | Valor    |               | Muy Alta              | Alta | Media | Baja |
| Muy Alto      | 100 - 76 | Muy alta      |                       |      |       |      |
| Alto          | 75 - 51  | Alta          |                       |      |       |      |
| Medio         | 50 - 26  | Media         |                       |      |       |      |
| Bajo          | 25 - 0   | Baja          |                       |      |       |      |

Fuente: Rose, (2005), citado por Suarez Díaz, (2009). Modificada por la autora.

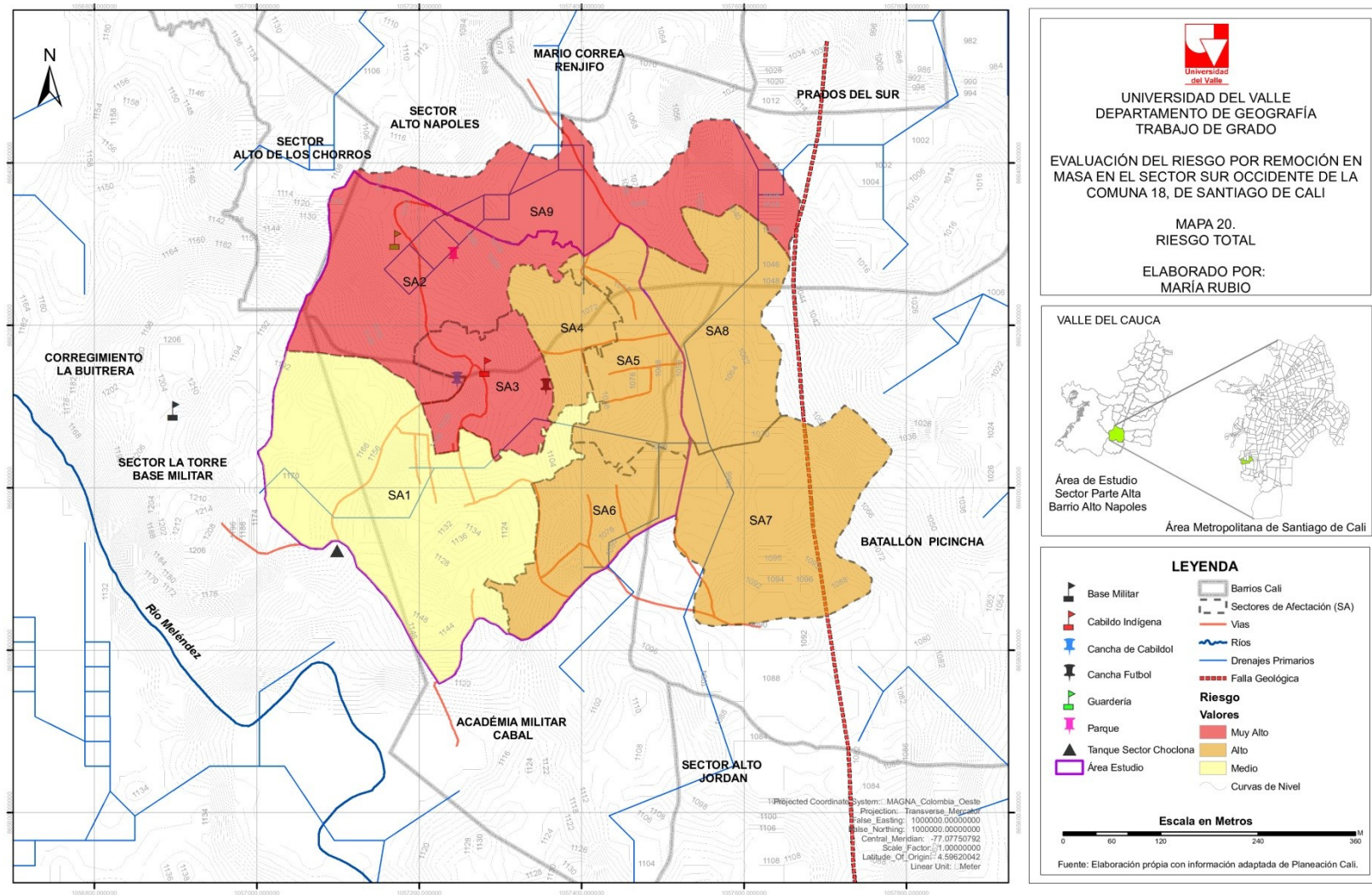
A continuación se muestra el resultado final del estudio (Figura 38), espacialización del riesgo por remoción en masa en el Sector Sur Occidente de la comuna 18 de

<sup>64</sup>ROSE B. T, citado por SUÁREZ DÍAS. Deslizamientos, Op.cit., p 570.

Cali. Los sectores SA2, SA3 presentan un riesgo muy alto, se localizan al norte y al noroccidente del lugar. Los sectores SA4 - SA8 presentan un riesgo alto, estos se ubican principalmente al oriente, el sector SA1 presenta un riesgo medio, lo que se debe al nivel de organización que posee la población, la participación activa de la mujer y las medidas y participación en obras que permiten mitigar sus niveles de vulnerabilidad.

Los niveles de riesgo del Sector Sur Occidente de la comuna 18 de Santiago de Cali son muy críticos ya que se encuentran entre alto y muy alto. Estos resultados se dan debido a los niveles amenaza y vulnerabilidad a la que está expuesta la población.

Figura 38. Mapa de riesgo por fenómenos de remoción en masa



### **5.3 POSIBLES MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

1. Crear estrategias que permitan fomentar en la comunidad el trabajo en equipo.
2. Realizar un control de las aguas servidas y de escorrentía ya que éstas se convierten en un factor desestabilizador del suelo. Las obras que se realicen deben ser acorde con los tipos de suelo teniendo en cuenta que presentan meteorización y en otras partes socavamiento, las obras no deben aportar peso al suelo.
3. Para disminuir los niveles de infiltración de agua principalmente en las viviendas se deben construir una serie de canales colectores que conduzcan el agua residual (lluvia) hacia la quebrada “El Entamborado”. En las zonas con mayor pendiente los canales deben tener graderías que disminuyan la velocidad y la fuerza del agua, se debe tener en cuenta el ancho de los canales ya que si son muy angostos el agua puede rebosarse, disminuyendo el efecto de la obra.
4. Fomentar la cultura de la prevención, pero para llegar a esto se debe educar primero, no se puede hablar de prevención si no se conoce lo que se debe prevenir. Se puede iniciar realizando reuniones con la comunidad, implementando talleres, charlas, haciendo presentaciones donde se exponga información sobre la susceptibilidad, la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo y todas las consecuencias que esto conlleva. También se debe implementar la educación sobre estos temas a niños y jóvenes desde la escuela y colegios.
5. Crear brigadas. Dividir a la población en grupos y asignarles tareas exclusivas, como la de realizar indagación en todo el sector después de las precipitaciones para verificar si el terreno ha sufrido cambios que puedan convertirse en riesgo para algún miembro habitante o sus pertenencias. Un grupo encargado de gestionar recursos económicos para la comunidad, grupo encargado de gestionar charlas educativas con relación al tema, grupo encargado de reforestar

las partes que aún están deshabitadas, grupo encargado de ejercer control para evitar que las personas construyan viviendas en los lugares de protección, en los lugares seleccionados como espacio público o identificados como susceptibles.

6. Implementar programas de manejo de residuos sólidos, buscando disminuir la quema de basuras que pueden ocasionar el incendio de las viviendas o de las áreas que poseen vegetación, lo que sería catastrófico para todos, teniendo en cuenta los tipos de materiales usados en la construcción de las viviendas y su cercanía, además que en gran parte del sector hay residuos de carbón

7. Identificar y marcar las zonas susceptibles a sufrir remociones en masa, con el fin de ejercer una protección especial en estos sectores buscando que disminuya el proceso erosivo, evitando a la vez que las personas aprovechen estos lugares para construir sus viviendas, tal como se ha dado en varios lugares del sector donde han construido viviendas aprovechando que la remoción ha dejado una especie de cavidad donde se les hace más fácil retirar el suelo y construir

8. Implementar programa de reubicación. La reubicación es quizá la medida más difícil de adoptar, puesto que acarrea altos costos en el ámbito social, cultural y económico. Esta medida debe ser implementada en el sector, pero mientras ocurre es importante tomar en cuenta la implementación de otras medidas que reduzcan la vulnerabilidad.

## **6. CONCLUSIONES**

Identificar los escenarios que puedan ser afectados ante la ocurrencia de un evento desastroso se convierte en una herramienta de gran importancia para los entes gubernamentales como Planeación Municipal, ya que de esta forma le será más práctico formular y aplicar medidas que estén encaminadas a la reubicación de poblaciones asentadas en sectores de alto riesgo o a implementar medidas de mitigación estructurales o coyunturales.

La mayoría de las viviendas del Sector Sur Occidente de la comuna 18 se encuentran ubicadas en terrenos inestables, seguido a esto los materiales y formas de construcción no son aptas para este tipo de terrenos, puesto que los materiales predominantes en las construcciones no brindan la resistencia necesaria para brindar buenos cimientos y estabilidad a la construcción ante la ocurrencia de un evento amenazante.

La zona de estudio está compuesta por suelos que corresponden en gran porcentaje a depósitos no consolidados, que se componen principalmente por areniscas, conglomerados y gravas, algunas con altos grados de meteorización. Sumado a esto, las actividades antrópicas propias de la construcción como cortes, rellenos, y los detonantes como las altas precipitaciones que en esta zona y la sismicidad, hacen que se den las condiciones idóneas para la ocurrencia de PRM.

Las coberturas del terreno han sido altamente intervenidas por el hombre, las intervenciones realizadas se deben principalmente a los procesos de la construcción de viviendas, vías de acceso y espacios para la recreación, estas actividades han afectado las áreas que anteriormente poseían coberturas

vegetales, como bosque primario y rastrojos, ahora están cubiertos por viviendas y otras se les ha quitado la capa superior con fin de ubicar allí espacios recreativos.

La elaboración de los diferentes mapas de susceptibilidad y amenaza por factores detonantes precipitación y sismos, vulnerabilidad y riesgo que representan el grado de afectación del sector de estudio y que se obtuvieron como productos de este estudio, constituyen una herramienta para realizar la planificación de posibles obras de mitigación. Además al haberse realizado la evaluación de cinco tipos de vulnerabilidad se tiene una información más detallada del sector.

Con el fin de mitigar la vulnerabilidad global se deben trabajar todos los tipos de vulnerabilidad para que de esta manera se obtengan mayores y mejores resultados, evitando a la vez que por tratar de mitigar solo un tipo de vulnerabilidad se pierdan los esfuerzos y la inversión humana y económica.

A través del uso de información primaria y secundaria fue posible la realización del diagnóstico de las condiciones de susceptibilidad y amenaza en el sector Suroccidente de la comuna 18, donde se obtuvo que las remociones en masa se presentan cuando confluyen condiciones como las pendientes mayores a 45 grados de inclinación, los suelos están erosionados y la precipitación es alta.

La zonificación de las áreas susceptibles a sufrir remociones en masa en el sector, fueron identificadas y representadas en un mapa, que permitirá que la población asentada en el lugar lo use como herramienta para implementar obras para impedir que el nivel de vulnerabilidad siga creciendo. Se debe tener en cuenta que al ser áreas susceptibles estas tarde o temprano pueden deslizarse, lo que depende de las condiciones físicas y también del uso antrópico.

El acceso a la información sobre precipitación obtenida en estaciones meteorológicas ubicadas dentro del área de estudio o en los límites próximos es difícil, al igual que los censos de la población asentada en la ladera de la comuna 18 de Santiago de Cali lo que limita hacer cálculos y evaluaciones más acertadas.

La cartografía del sector y estudios que evalúen el riesgo es limitada o nula, por lo que se procedió a la utilización de imágenes tomadas de Google Earth y corroboración en campo para poder identificar los procesos morfodinámicos y los cambios físicos a los que ha estado expuesto el sector.

La sectorización realizada para este estudio indica que el sector SA1, es el que presenta mayor participación de la mujer y donde se han tomado más medidas de mitigación, este sector está habitado por la comunidad indígena Nasa, los cuales ejercen un trabajo en pro de la comunidad que pertenece a su etnia por lo que todos incluyendo hombre y mujeres deben realizar trabajos físico y social.

El sector SA2, presenta una susceptibilidad muy alta, los sectores SA3, SA5 y SA9, susceptibilidad alta, los sectores SA4, SA6, SA7 y SA8 susceptibilidad media y el sector menos susceptible es el sector SA1.

La precipitación que se presenta en el sector de estudio supera los 1.674 mm, promedio anual, lo que lleva a que se presente una amenaza a fenómenos de remoción en masa por factor detonante precipitación alto.

La probabilidad de ocurrencia de un sismo de intensidad VIII, en un periodo de exposición de cien años y con periodo de retorno de 304 años es del 0.28%, lo que

representa que el sector de estudio presenta una amenaza media a sufrir remoción en masa por factor detonante sismicidad.

Se concluye que el sector presenta una vulnerabilidad global alta, con un porcentaje de 62.96%. Esta vulnerabilidad global está asociada a las condiciones sociales, físicas, económicas, culturales y educativas. Es necesario que los entes gubernamentales tomen medidas en relación a esta problemática y que trabaje en conjunto con la población expuesta para que lleven a cabo las medidas pertinentes que permita que la comunidad sea capaz de absorber los efectos y posibles pérdidas que se puedan registrar y le sea más fácil recuperarse.

Se concluye que en el sector Suroccidente de la comuna 18 de Santiago de Cali, los tipos de vulnerabilidad más críticos son el social, educativo y económico.

El incremento del desempleo, la falta de garantías laborales y la exigencia de mano de obra calificada, influyen en la carencia económica presente en la población asentada en el sector. Además se suma la falta de apoyo por entes gubernamentales, lo que lleva a que se conviertan en una población marginada sin oportunidad de resolver sus necesidades básicas insatisfechas, que día a día los sumirán aún más en la pobreza que será heredada por las generaciones venideras.

La falta de oportunidades para acceder a una vivienda digna, educación de calidad, servicio de salud y recreación contribuyen a que le sea prácticamente imposible a la población superar los niveles de pobreza.

La falta de compromiso por parte de las entidades ambientales y de la población para regular los usos del suelo, controlar la deforestación, la contaminación de los

cuerpos de agua y evitar los asentamientos en áreas de alto riesgo ha llevado al incremento de la vulnerabilidad de la población.

La falta de información y educación sobre las amenazas naturales y sus detonantes hacen que las personas no tomen conciencia de las consecuencias que acarrearán sus actos, es necesario que las entidades públicas y privadas incluyan en sus objetivos, programas en beneficio de estas comunidades y del medio ambiente, de esta manera aportan a la reducción de la degradación de los recursos naturales.

La problemática en relación con el riesgo que presenta el sector se debe principalmente a uso inadecuado que se le da al suelo. Las actividades que llevan a cabo para adecuar el lugar en su beneficio han causado que los suelos se degraden con más rapidez cuando se realizan actividades como retirar la capa vegetal del suelo. Este queda sin ninguna protección que ejerza amarre y amortigüe la caída del agua. Estas actividades favorecen la ocurrencia de remociones en masa y empobrecen los suelos.

El riesgo que se presenta en el sector es muy alto en los sectores SA2, SA3 y SA9, alto en los sectores SA4 - SA8 y riesgo medio en el sector SA1. Ninguno de los sectores presenta riesgo bajo, lo que indica que esta población requiere tomar medidas inmediatas que contribuyan a disminuir su vulnerabilidad.

Los sectores que presentan niveles muy altos de riesgo corresponden a los que están ubicados en las pendientes más altas situados en el centro y norte.

## **7. RECOMENDACIONES**

Los procesos de planeación y ordenamiento territorial deben incorporar la gestión del riesgo de manera activa, que permita el establecimiento de medidas orientadas a la prevención y mitigación obteniendo así la reducción del riesgo existente.

Se recomienda que la administración municipal promueva programas de reasentamientos y/o de mejoramiento de la infraestructura, ya que es un hecho de que la población está asentada en el lugar y que se debe optar por tratar de reducir la vulnerabilidad.

Fomentar el desarrollo integral de la comunidad, intervenir todos los tipos de vulnerabilidad que sea posible y no centrarse solo en uno, el trabajo en equipo es primordial, se debe tener en cuenta que se trabaja por el bien común y no por el bien individual. Las obras de mitigación no solo se deben contemplar para el área de estudio sino también para las zonas aledañas, ya que pueden verse afectadas.

Debido a que en el sector se presenta un riesgo por remoción en masa alto, se recomienda elaborar planes de emergencia, efectuar simulacros, y en general proponer planes de contingencia para preparar y sensibilizar a la comunidad ante la ocurrencia de un evento.

Se recomienda identificar, acordonar el área y realizar obras de mitigación en las áreas susceptibles a sufrir remociones en masa. Se debe efectuar obras como la reforestación, atrincheramientos para evitar que la degradación avance, a este proceso se le debe hacer un seguimiento constante que garantice que su recuperación sea exitosa.

Se recomienda que las oficinas de gestión del riesgo y planeación municipal trabajen en conjunto en beneficio de esta comunidad, que realicen un estudio detallado que permita conocer información primordial como la magnitud de los procesos de remoción en masa que pueden ocurrir.

Realizar un censo que permita conocer cuál es la población total asentada en áreas de alto riesgo por amenazas naturales en la ladera de la comuna 18 de Santiago de Cali.

En este trabajo se evaluaron cinco tipos de vulnerabilidades de las 10 que propone Wilches–Chaux, (1989). Se recomienda realizar la evaluación de los cinco tipos restantes de forma individual y global de esta manera se tiene un panorama más claro referente a la vulnerabilidad global del sector.

La zona que se tuvo en cuenta para realizar este estudio es reducida, se recomienda realizar un estudio en un área más extensa que abarque en lo posible toda la ladera de la comuna 18, haciendo énfasis en los sectores que presentan asentamientos informales ya que esta informalidad se traduce en vulnerabilidad.

Se recomienda la elaboración de cartillas didácticas en un lenguaje simplificado que ilustre los detonantes, consecuencias y posibles medidas de mitigación de los procesos de remoción en masa, al igual que hacer una difusión amplia de información referente a estos temas y establecer sistemas de alertas tempranas.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE SANTIAGO DE CALI. Plan de Desarrollo 2012 – 2015 Comuna 18. Territorio de Solidaridad para Alcanzar la Prosperidad. Santiago de Cali: [s.n], 2011?. 129 p. [Citado el 2014-06-20]. Disponible en: <http://files.asoediles.webnode.es/200000473-b7327b82c7/Plan%20de%20Desarrollo%20Comuna%2018.pdf>.

ALONSO C., Julio César, *et al.* Una mirada descriptiva a las comunas de Cali. Santiago de Cali: Feriva S.A, 2007. 118 p. Universidad Icesi. ISBN 978-958-8357-04-1. [Citado el 2013-07-08]. Disponible en: [http://www.icesi.edu.co/jcalonso/images/pdfs/Publicaciones/una\\_mirada\\_descriptiva\\_a\\_las\\_comunas\\_de\\_cali.pdf](http://www.icesi.edu.co/jcalonso/images/pdfs/Publicaciones/una_mirada_descriptiva_a_las_comunas_de_cali.pdf).

ARISTIZÁBAL, Edier; MARTÍNEZ, Héran y VÉLEZ, Jaime. Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. En: Rev. Acad. Colomb. Cienc. Junio de 2010. Vol. 34, no 131, p 209-227. ISSN 0370-3908. Disponible en: [http://www.accefyn.org.co/revista/Vol\\_34/131/209-227.pdf](http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_34/131/209-227.pdf).

BARÓN PORRAS, Luis F., Mg; OTÁLORA SEVILLA, Lady M. y LOAIZA QUINTERO, Luis A. Otra Ciudad Detrás de la Ladera. Estudio Sobre un Programa Socioeconómico de la Fundación Carvajal en Cali. En: Estudios Gerenciales. Julio-Septiembre, 2011. Vol. 27, no 120, p 63-82. [Citado el 2014-02-17]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eg/v27n120/v27n120a04.pdf>.

BIBLIOTECA DE AYUDA ARCGIS. Arcgis Resource Center. Copyright © 1995-2012 Esri. Consultado el 30-08-2015. Disponible en: [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com).

BLAIKIE, Piers, *et al.* Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). 1996. 290 p. Disponible en:

[http://desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo\\_sep-09-2002.pdf](http://desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo_sep-09-2002.pdf).

CASTRO M., Eduardo; MORENO E., Manuel y VARGAS C., German. Zonificación de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa en las Cuencas de los Ríos Bolo y Fraile, Valle del Cauca. VII CCG-Sociedad Colombiana de Geotecnia. 1998. Disponible en:

[http://www.palmira.gov.co/potpaigr/02.%20INFORMACION%20REGIONAL/Documentos%20consulta/zonificacion\\_cuencas.pdf](http://www.palmira.gov.co/potpaigr/02.%20INFORMACION%20REGIONAL/Documentos%20consulta/zonificacion_cuencas.pdf)

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR (CENICAÑA). Boletines diarios de la Red Meteorológica Automatizada – RMA [online]. Estación Meléndez. [Citado el 2014-10-04]. Disponible en: [http://www.cenicana.org/clima\\_/boletin\\_meteoro\\_diario.php?consulta=2&ema=3&days=30&months=12&years=1995#](http://www.cenicana.org/clima_/boletin_meteoro_diario.php?consulta=2&ema=3&days=30&months=12&years=1995#).

CENTRO REGIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE DESASTRES (CRID). Vocabulario Controlado Sobre Desastres. CRID, 2000. 104 p. [Citado el 2014-05-14]. Disponible en: <http://www.relaciger.org/revista/documentos/VCD.pdf>.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). Precipitación Total Mensual Multianual: Estación Cañaveralejo-PG, cuenca Lili-Meléndez-Cañaveralejo, corregimiento Los Andes. Cali, 2014. Serie de datos desde 1968 hasta 2014.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). Precipitación Total Mensual Multianual: Estación Cañaveralejo-Edificio, cuenca Lili-Meléndez-Cañaveralejo., corregimiento Santiago de Cali. Cali, 2014. Serie de datos desde 1984 hasta 2014.

------. Precipitación Total Mensual Multianual: Estación La Fonda, cuenca Lili-Meléndez-Cañaveralejo., corregimiento La Buitrera. Cali, 2014. Serie de datos desde 1964 hasta 2014.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL DE SANTIAGO DE CALI (DAP). Diagnóstico de amenazas naturales para la comuna 1. Santiago de Cali: La entidad. 1996.

------. Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cali (POT) por medio del cual se adopta el plan de ordenamiento territorial del municipio de Santiago de Cali: Concejo Municipal de Santiago de Cali. Cali, las entidades. 2000. 245 p.

------. Cali en Cifras 2013. Subdirección de Desarrollo Integral. ISSN 2011-4044. Santiago de Cali, 2014. 215 p. Disponible en: [http://planeacion.cali.gov.co/Publicaciones/Cali\\_en\\_Cifras/Caliencifras2013.pdf](http://planeacion.cali.gov.co/Publicaciones/Cali_en_Cifras/Caliencifras2013.pdf)

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL (DAGMA). Agenda Ambiental Comuna 18. Santiago de Cali: La entidad, 2009. 21 p. [Citado el 2013-05-04]. Disponible en: <http://consejoambiental.files.wordpress.com/2009/10/comuna-181.pdf>.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL (DAGMA). Comuna 18: Panorama Ambiental [en línea]. 2009. [Citado 2013-11-11]. Disponible en: <http://www.cali.gov.co/publico2/gobierno/dagmaweb/comuna18.htm>. 315 – 335 p.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL (DAGMA). El Dagma formula proyecto para prevenir riesgos y desastres naturales en Cali. Publicación: 27/08/2012. [Citado el 2014-01-24]. Disponible en: [http://www.cali.gov.co/publicaciones/el\\_dagma\\_formula\\_proyecto\\_para\\_prevenir\\_riesgos\\_y\\_desastres\\_naturales\\_en\\_cali\\_pub](http://www.cali.gov.co/publicaciones/el_dagma_formula_proyecto_para_prevenir_riesgos_y_desastres_naturales_en_cali_pub)

DÍAZ SÁNCHEZ, Rocío. Evaluación del riesgo por procesos de remoción en masa en el sector bajo Aguacatal de la comuna 1: un enfoque geográfico. Trabajo de grado. Santiago de Cali: Universidad del Valle. Facultad de Humanidades. Departamento de Geografía. 2010. 152 p.

FERNANDEZ TACHIQUIN, Ernesto. Asentamientos Irregulares Impactos y Alternativas. Trabajo de Grado. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. 2009. 76 p. [citado el 2014-02-17]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4099>.

GOOGLE EARTH. Versión 7.1.2.2041. Sistema Operativo Microsoft Windows (6.1.7601.1). Procesador DirectX. Fecha de la compilación 2013-07-10. Driver de video Google Inc. (00009.00017.00010.03347). Tamaño máx, de la textura 8192x8192, memoria de video disponible 1760 MB. Servidor kh.google.com. 2013 Google Inc. Todos los derechos reservados. Fecha de imágenes 2001, 2007, 2014.

GRÜNTAL, G. ed. Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS – 98. Comisión Sismológica Europea (ESC). Edición Española F. Lorenzo Martín. Luxemburgo, 2009. 100 p. [Citado el 2013-06-26]. Disponible en: [http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/57F5105E-696C-43AD-A26C-C1CDC3545F6C/120770/EMS98\\_Spanish.pdf](http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/57F5105E-696C-43AD-A26C-C1CDC3545F6C/120770/EMS98_Spanish.pdf).

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS Y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía Metodológica. Cali: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2001. 166 p.

-----, -----, Subproyecto de Sismotectónica. Informe 1-3, figura 96. Investigaciones Neotectónicas en el Centro Occidente Colombiano. Bogotá: 2005. 162 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS). Estudio de Microzonificación Sísmica de Santiago de Cali. Informe 2-1, Investigaciones Geológicas y Geomorfológicas. Bogotá: 2005. 49 p. Disponible en: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/CALI/Informe2.1Geologia.pdf>.

IZQUIERDO ÁLVAREZ, Aránzazu. Intensidad Macrosísmica. Física de la Tierra Instituto Geográfico Nacional. Madrid. ISSN 0214-4557. 1999. 252 P. Consultado el 29-08-2015. Disponible en file:///C:/Users/Luis%20Arley/Downloads/12947-13027-1-PB.PDF

LARA C, Marisol. Metodología para la Evaluación y Zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente,

Región Metropolitana. Tesis para optar al grado de magister en ciencias. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología. 2007. 212 p. Disponible en:  
[http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/lara\\_mc/sources/lara\\_mc.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/lara_mc/sources/lara_mc.pdf).

LARA C, Marisol y SEPÚLVEDA V, Sergio. GL62C Remociones en masa; apunte del curso. Chile; Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 2008. 63 p.

LLORENTE, L y PALACIOS, E. Diseño y desarrollo de un SIG para analizar el riesgo de deslizamientos de laderas en Tenerife ante dos factores detonantes: sísmico y pluvial. ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía UPM. Madrid. 2010. 189 p.

MARTÍNEZ PEÑA, Carolina. El 'Nuevo Siloe', se desmorona. Diario El País. 2008. [Citado el 2014-02-07]. Disponible en:  
<http://historico.elpais.com.co/paionline/calionline/notas/Febrero242008/cali01.html>

MASKREY, Andrew. comp. Los Desastres No Son Naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). 1993. 140 p. Disponible en: <http://www.oei.es/decada/portadas/Desnat.pdf>.

MUSSON, Roger; GRÜNTAL, G and STUCCHI, M. The Comparison of Macroseismic Intensity Scales. En: Springer Science + Business Media B.V. Received: 28 August 2008. Accepted: 14 May 2009. Published 30 May 2009, vol 14, p 413-428. Available from: <http://core.ac.uk/download/pdf/57741.pdf>.

PEÑA, Cielo y RAMÍREZ, Luisa. Proceso de Ocupación de Tierras en Alto Nápoles: El caso del sector Cumana Meléndez. Trabajo de grado. Santiago de Cali: Universidad del Valle. Facultad de Humanidades. Departamento de Geografía, 2011. 109 p.

RODRÍGUEZ SOLANO, Juan, *et al.* Zonificación del Peligro de Remoción en Masa en las Zonas Urbanas Según Método de Análisis Mora y Vahrson: Estudio de Caso. En: Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. Universidad de pamplona. 2013. Vol. 4, no. 1, p 13-22. ISSN 1900-9178.

SALGADO MONTROYA, Ramón Antonio. Análisis Integral del Riesgo a Deslizamientos e Inundaciones en la Microcuenca del Río Gila, Copán, Honduras. Tesis para optar al título de Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Escuela de Postgrado. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Turrialba, Costa Rica. 2005. 172 p.

SANTIAGO DE CALI. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN. Cali en Cifras 2005. Santiago de Cali: Feriva S.A, octubre 2005. 120 p. Disponible en: [http://planeacion.cali.gov.co/DirFTP/Cali\\_en\\_Cifras/Caliencifras2005.pdf](http://planeacion.cali.gov.co/DirFTP/Cali_en_Cifras/Caliencifras2005.pdf).

SOLANGE PÁEZ, María. Formación de microrelieves y procesos de remoción en masa en la subcuenca del río Las Juntas Ambato, Catamarca. Año 5, vol. 1, no. 6. 33 p. ISSN 1852-0006. [Citado el 2014-02-05]. Disponible en: [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/3460/paezproyeccion6.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3460/paezproyeccion6.pdf).

SUÁREZ DÍAZ Jaime. Control de la erosión en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2001. 548 p. ISBN 958-33-2734-4. [Citado el 2015-10-30]. Disponible en: [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co)

SUÁREZ DÍAS, Jaime. Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Vol. 1. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2009. 588 p. Isbn: 9789588504032. [Citado el 2014-01-09]. Disponible en: [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co)

UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTION DEL RIESGO DE DESASTRES. (UNGRD) Guía para la Formulación de Proyectos de Intervención Correctiva: Gestión Reducción del Riesgo. Versión 1. Código G – 1702- SRR – 01. Fecha de Actualización 2014-06-09. 13 p. Disponible en: [http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/SRR/guia\\_formulacion\\_proyectos\\_intervencion\\_correctiva.pdf](http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/SRR/guia_formulacion_proyectos_intervencion_correctiva.pdf)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (Sede Palmira). Climatología [en línea]. Dirección Nacional de Innovación Académica. [Citado 2014-09-16]. Disponible en: [www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000134/contenido/cap7/lec3.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000134/contenido/cap7/lec3.htm)

VARNES, David.J., 1978: Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Research Board, Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. National Academy of Sciences, Washington. D.C. 1978. 234 p.p

WILCHES-CHAUX, Gustavo. Desastres, Ecologismo y Formación Profesional: Herramientas para la crisis. Popayán: Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 1989. 274 p.

## **9. ANEXOS**

### **Anexo A. Encuesta**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA**

**TRABAJO DE GRADO:  
EVALUACIÓN DEL RIESGO POR  
REMOCIÓN EN MASA EN EL  
SECTOR SUR OCCIDENTE DE LA  
COMUNA 18, DE SANTIAGO DE  
CALI.**

(Encuesta de carácter académico, realizada para complementar el trabajo de grado para optar por el título de Geógrafa).

**Encuesta** ☐ **N°**

**1. Datos Personales del jefe de hogar:**

Edad: \_\_\_\_\_

Sexo: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Procedencia: \_\_\_\_\_

**2. Amenaza por procesos de remoción en masa (PRM).**

☐ Tiene conocimiento de (PRM) que puedan afectar su vivienda:

Si ☐ No ☐

En qué zona \_\_\_\_\_

Qué tipo de fenómenos: \_\_\_\_\_

Se ha visto afectado por alguno de estos procesos:.... Si ☐ No ☐

Año \_\_\_\_\_

Han tomado medidas preventivas contra la ocurrencia de PRM

Han recibido capacitación sobre temas relacionados con PRM o cómo prevenirlo:

Si ☐ no ☐ Cuantas: \_\_\_\_\_

Qué entidad u organización les brinda apoyo: \_\_\_\_\_

**3. Vulnerabilidad:**

**❖ Población por vivienda:**

Cuántas personas habitan en la vivienda: \_\_\_\_\_

N° de niños menores de 10 años: \_\_\_\_\_

**4. Nivel de escolaridad alcanzado por el jefe de hogar:**

☐ Profesional

☐ Técnico

☐ Bachillerato

☐ Primaria

☐ Ninguno

En qué sector está ubicado el colegio y/o escuela donde asiste la comunidad estudiantil: \_\_\_\_\_

**5. Estado de salud del jefe de hogar:**

☐ Excelente

☐ Bueno

☐ Regular

☐ Malo

**6. Ingresos familiares, (S.M.M.L.V \$616.000):**

☐ Menos de 1 salario

☐ 1 salario

☐ 1.5 salario

☐ Más de 2 salarios

Está desempleado el jefe de hogar:

Si ☐ No ☐

Otro miembro del hogar aporta económicamente: Si ☐ No ☐

Implementan algún plan de conservación de los suelos: Si ☐ No ☐

Cuales: \_\_\_\_\_

Cuantos: \_\_\_\_\_

Asiste, participa o gestiona actividades relacionadas con la prevención de PRM  
Si ☐ No ☐

Tienen una auto-organización:  
Si ☐ No ☐

Que uso le da al suelo: Vivienda ☐  
Comercio ☐ Mixto (comercio y vivienda) ☐

Tienen una ruta de evacuación: Si ☐  
No ☐ No sabe ☐

Las mujeres participan en los procesos de prevención y mitigación de los PRM:  
Si ☐ No ☐ No sabe ☐

#### 7. Generalidades de la vivienda:

En qué año fue construida su vivienda \_\_\_\_\_

Número de pisos de la vivienda: \_\_\_\_\_

#### 8. Material de construcción de la vivienda:

##### Paredes.

- ☐ Ladrillo
- ☐ Bloque
- ☐ Madera
- ☐ Esterilla de guadua
- ☐ Sacos / Plástico / Cartón

##### Techos.

- ☐ Plancha de concreto
- ☐ Teja de barro / eternit
- ☐ Zinc
- ☐ Sacos / cartón / Carpa plástica

#### 9. Servicios con los que cuenta la vivienda:

Energía eléctrica: Si ☐ No ☐  
Gas: Si ☐ No ☐  
Acueducto: Si ..... ☐ No ☐

Alcantarillado: Si ☐ No ☐  
Como evacuan las aguas servidas:

\_\_\_\_\_

Pagan por los servicios públicos:  
Si ☐ No ☐

Cuanto: \_\_\_\_\_

#### 10. Con cuales servicio cuenta el sector:

- ☐ Alimentador del MIO
- ☐ Gualas
- ☐ Moto-taxi
- ☐ Escuela
- ☐ Tiendas de abarrotes