

ELEMENTOS PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN EL SECTOR "EL CAMPITO" DEL MUNICIPIO SANTANDER DE QUILICHAO

CASTILLO GONZÁLEZ YELI CEIDY
ZÚÑIGA ESTACIO NISLEY

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
CALI
2017

ELEMENTOS PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN EL SECTOR "EL CAMPITO" DEL MUNICIPIO SANTANDER DE QUILICHAO

CASTILLO GONZÁLEZ YELI CEIDY

ZÚÑIGA ESTACIO NISLEY

Monografía de grado para optar al título de Geógrafas

Directores

Elkin de Jesús Salcedo Hurtado Ph.D en Ciencias de la Tierra – Director del
Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano.

Carlos Andrés García Perdomo. Arquitecto, Especialista en Gestión del Riesgo de
Desastres - Coordinador de la Oficina de Gestión del Riesgo de Desastre del
municipio Santander de Quilichao, Cauca.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

CALI

2017

Nota de aceptación

Elkin de Jesús salcedo Hurtado

Carlos Andrés García Perdomo

Evaluador

Santiago de Cali (29 de septiembre del 2017)

DEDICATORIA

A Dios y mi madre María Amparo González por ser la luz de mi vida, mi bastión de apoyo y esa mano amiga que no me dejó desfallecer con cada tropiezo de la vida, por ser tan incondicional y brindarme tu amor puro, gracias madre mía por ser mi motivación e inspiración, mi heroína.

Al profesor Elkin de Jesús Salcedo Hurtado, por su tenacidad y apoyo incondicional durante todo el proceso de formación académica, por no dejarnos desfallecer cuando creíamos que las cosas no eran posibles y por encaminarnos por el mejor sendero, el de la humildad y la capacidad, gracias profesor, amigo y confidente.

A la bella amistad que se formó en la academia, a mi cómplice, por soportar mis ataques de histeria, depresión y alegrías exóticas, por escucharme y comprenderme sin cuestionarme, a mi querida amiga Nisley Zúñiga.

Por último a todos los que no creyeron en mí. Porque con su actitud me hicieron más fuerte.

YeliCecidy Castillo González

A mi madre, Baleriana Zúñiga, por ser el pilar de mi vida y apoyarme en todo, eres la mejor mamá del mundo, gracias a tu esfuerzo y motivación pude seguir encaminada.

A mi hermano por soportarme, y ayudarme en todo momento.

A mi gran amiga y compañera de tesis y aventura Yeli Castillo, gracias por compartir tantas experiencias, han sido magníficos los momentos que compartimos, ¡quién iba a pensar que una pequeña expedición daría paso a tan grandiosa amistad!

A mi Loca Lina Marcela Grueso, a pesar de la distancia eres y serás esa chispa de locura que me hace vivir nuevas experiencias. Te quiero muchísimo.

A mi profe Elkin Salcedo, más que un maestro un mi amigo, gracias por enseñarme que la humildad lo es todo, Por cada momento de efervescencia y de odiosidad. Por cada enseñanza consejo y palabra de apoyo.

Nisley Zúñiga Estacio

AGRADECIMIENTOS

A mi familia que siempre me apoya y cree en mí.

A todos mis profesores por cada momento de aprendizaje y de ajuste de cuerdas, por enseñarme a dar siempre lo mejor de mí y no permitir que me conformara con lo mínimo.

A mis compañeros de clase y a todos y cada uno de los chicos del OSSO, me queda una partecita de todos ellos en el alma.

A las personas del sector "El Campito" por abrir las puertas de sus hogares y hacer más fácil este proceso.

Neli Caidy Castillo González

Le Agradezco a mi familia por su apoyo y motivación lo cual me permitió seguir el rumbo.

A mis profesores, desde la escuela hasta la universidad, Gracias por sus conocimientos y apoyo

A mis amigas, amigos y compañeros gracias por su ayuda en determinados momentos

A los pobladores del sector "el Campito" y a la Oficina de Planeación municipal de Santander de Quilichao por su amable colaboración

Nisley Zúñiga Estacio

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
<u>1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	<u>15</u>
1.1) JUSTIFICACIÓN	16
1.2) OBJETIVOS	18
1.2.1) OBJETIVO GENERAL	18
1.2.2) ESPECÍFICOS	18
1.3) METODOLOGÍA Y MÉTODOS	19
Los pasos seguidos para este estudio fueron:	22
1.3.1) RECONOCIMIENTO PRELIMINAR DEL TERRITORIO	22
1.3.2) RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	23
<u>2. CAPÍTULO II. ASPECTOS TEÓRICOS</u>	<u>30</u>
2.1) MARCO CONCEPTUAL	30
2.1.1) ESPACIO GEOGRÁFICO Y TERRITORIO	30
2.1.2) ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES	31
2.1.3) EL RIESGO Y SUS COMPONENTES	31
2.1.4) MOVIMIENTO EN MASA O DESLIZAMIENTO DE TIERRA.	35
2.1.5) MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD	38
2.1.6) FACTOR DE SEGURIDAD	39
2.2) MARCO LEGAL	40
2.2.1) NIVEL INTERNACIONAL	40
2.2.2) NIVEL NACIONAL	40
<u>3. CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL TERRITORIO</u>	<u>44</u>
3.1) ASPECTOS FÍSICOS Y AMBIENTALES	44
3.1.1) GEOLOGÍA	46
3.1.2) GEOMORFOLOGÍA	48
3.1.3) HIDROLOGÍA	48
3.1.4) SUELO	48
3.2) LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO SECTOR "EL CAMPITO".	50
<u>4. CAPÍTULO IV. CÁLCULO DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA DE ESTUDIO</u>	<u>59</u>
4.1) EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD	59
4.1.1) MODELO DIGITAL DEL TERRENO	60
4.1.2) GEOLOGÍA	61

4.1.3) GEOMORFOLOGÍA	62
4.1.4) HIDROLOGÍA	62
4.1.5) SUELO	63
4.1.6) USO DEL SUELO Y COBERTURA DE LA TIERRA	63
4.1.7) PRECIPITACIÓN	64
4.2) CÁLCULO DE LA AMENAZA ANTE MOVIMIENTOS EN MASA	70
4.2.1) AGENTES DETONANTES DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA	72
4.2.2) PRECIPITACIÓN COMO DETONANTE DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.	72
4.2.3) NIVEL DE AGUA MÁXIMA	74
4.2.4) SISMICIDAD HISTÓRICA REGIONAL	75
Sismo 1566 por Arroyo y Aragón	76
4.2.5) SISMICIDAD INSTRUMENTAL	80
4.2.6) AMENAZA SÍSMICA	84
4.2.7) INESTABILIDAD DEL TALUD (FACTOR DE SEGURIDAD)	86
Material del suelo o textura	86
Angulo de fricción:	87
Peso de las viviendas:	88
Coeficiente de cohesión	88
Peso por unidad de medida de la composición del suelo o peso específico:	88
 5. CAPÍTULO IV: ELEMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	 106
 5.1) CONDICIONES PARA LA VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	 109
5.1.1) CONDICIONES DE AMENAZA	109
	110
5.1.2) IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS	112
Corporales.	112
Viviendas	112
Funcionales	114
Elementos ambientales.	117
 6. CONCLUSIONES	 118
 7. RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS	 120
 8. BIBLIOGRAFÍA	 122

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DETALLES A TENER EN CUENTA PARA LOS ESTUDIOS DE AMENAZAS Y RIESGO.	23
TABLA 2. MÉTODOS DEL PROGRAMA SLIDE PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD. ...	27
TABLA 3. TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA SEGÚN EL MATERIAL.....	38
TABLA 4. CAMBIOS DE ALTITUD EN EL ÁREA DE ESTUDIO	50
TABLA 5. PESO Y PONDERACIÓN DE LAS VARIABLES.....	65
TABLA 6. PERIODO DE RETORNO DE MÁXIMAS PRECIPITACIONES	74
TABLA 7. SISMICIDAD HISTÓRICA DEL MUNICIPIO SANTANDER DE QUILICHAO	76
TABLA 8. ACELERACIÓN PICO DE LA ONDA SÍSMICA	86
TABLA 9. VALORES ASIGNADOS AL CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD	86
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE DIVERSOS SUELOS.....	89
TABLA 11. CARACTERÍSTICAS DE LA TEXTURA DEL SUELO	89
TABLA 12. COORDENADAS PARA LA SIMULACIÓN DE LA PENDIENTE EN EL PROGRAMA SLIDE...	90
TABLA 13. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE DISEÑO DEL GASODUCTO	115

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CAMBIOS EN EL CRECIMIENTO POBLACIONAL EN EL PERIODO 2009-2015 DEL SECTOR "EL CAMPITO" MUNICIPIO SANTANDER DE QUILICHAO.	17
FIGURA 2. DISEÑO METODOLÓGICO.....	20
FIGURA 3. CONDICIONES DEL TERRENO EN TEMPORADA SECA EN EL SECTOR "EL CAMPITO", MUNICIPIO SANTANDER DE QUILICHAO.	21
FIGURA 4. CAMBIOS EN EL TERRENO EN TEMPORADA DE LLUVIA, EN EL SECTOR "EL CAMPITO", MUNICIPIO SANTANDER DE QUILICHAO.....	22
FIGURA 5. TEMAS PARA GENERAR EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	24
FIGURA 6. SALIDA DE CAMPO PARA CORROBORAR LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR EL CAMPITO DE SANTANDER DE QUILICHAO.	25
FIGURA 7. EJEMPLO DE LA SALIDA DE SLIDE	28
FIGURA 8: REUNIONES CON LA COMUNIDAD Y REPRESENTANTES DE LAS SECRETARÍAS DE GOBIERNO MUNICIPAL.	29
FIGURA 9. ELEMENTOS DEL RIESGO	32
FIGURA 10. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LOS MOVIMIENTOS DE TIERRA	36
FIGURA 11. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA.....	37
FIGURA 12. LOCALIZACIÓN MUNICIPIO SANTANDER DE QUILICHAO.....	45
FIGURA 13. MAPA GEOLOGÍA DE SANTANDER DE QUILICHAO.....	47
FIGURA 14. MAPA UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.	49
FIGURA 15. LÍMITES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	50
FIGURA 16. PERFIL DE ELEVACIÓN	51

FIGURA 17. MAPA GEOLOGÍA SECTOR EL CAMPITO	52
FIGURA 18. SUELOS DEL ÁREA DE ESTUDIO	54
FIGURA 19. MAPA DE GEOMORFOLOGÍA ÁREA DE ESTUDIO	55
FIGURA 20. ESPACIO PARA LA RECOLECCIÓN DE BASURAS LOS DÍAS MARTES Y JUEVES EN EL SECTOR DE LAS COLONIAS.....	56
FIGURA 21. ALCANTARILLADO RUDIMENTARIO EN LOS SECTORES DE LAS COLONIAS Y FUNDACIÓN PROVIVIENDA LA MAGDALENA.	57
FIGURA 22. MEDIOS DE TRANSPORTE	58
FIGURA 23. DISEÑO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD	59
FIGURA 24. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DEM PARA EL ÁREA DE ESTUDIO	60
FIGURA 25. MAPA DE CAMBIOS EN LA PENDIENTE EN EL ÁREA DE ESTUDIO	61
FIGURA 26. COBERTURA DE LA TIERRA ÁREA DE ESTUDIO	64
FIGURA 27. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR EL CAMPITO.....	66
FIGURA 28. SECTOR 1 DONDE LA SUSCEPTIBILIDAD RESULTO ALTA	67
FIGURA 29. DESLIZAMIENTOS EN EL BARRIO VECINO AL SECTOR 1	68
FIGURA 30. SECTOR 2 FUNDACIÓN PROVIVIENDA LA MAGDALENA	69
FIGURA 31. FORMAS INADECUADAS DE TERRACEO PARA LA CONSTRUCCIÓN EN EL SECTOR DE PROVIVIENDA LA MAGDALENA	70
FIGURA 32. DISEÑO METODOLÓGICO PARA EL CÁLCULO DE LA AMENAZA ANTE MOVIMIENTO EN MASA	71
FIGURA 33. CAUSAS DE DESESTABILIZACIÓN	73
FIGURA 34. INTENSIDAD DE LAS LLUVIAS PERIODO 1978-2016	74
FIGURA 35. MAPA DE SISMICIDAD PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	81
FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DE LOS EVENTOS SÍSMICOS EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD PARA EL PERIODO 1993-2016 EN LA ZONA DE ESTUDIO	82
FIGURA 37. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE EVENTOS POR MAGNITUD EN EL PERIODO 1993- 2016 EN LA ZONA DE ESTUDIO	83
FIGURA 38. CANTIDAD DE EVENTOS POR AÑOS, PERIODO 1993- 2016	84
FIGURA 39. MAPA DE AMENAZA SÍSMICA Y VALORES DE AA DE COLOMBIA.	85
FIGURA 40. TIPO DE SUELO EN EL ÁREA	87
FIGURA 41. TALUD SIN CARGAS, A (LADO IZQUIERDO)	91
FIGURA 42. TALUD SIN CARGAS, B (LADO DERECHO)	91
FIGURA 43 TALUD CON CARGAS ESTRUCTURALES, LADO A	92
FIGURA 44. TALUD CON CARGAS ESTRUCTURALES LADO B	92
FIGURA 45. FACTOR DE SEGURIDAD CON EL NIVEL FREÁTICO DE 10 - 50 CM LADO IZQUIERDO	93
FIGURA 46. FACTOR DE SEGURIDAD CON EL NIVEL FREÁTICO DE 50-100 CM LADO IZQUIERDO	94
FIGURA 47. FACTOR DE SEGURIDAD CON EL NIVEL FREÁTICO DE 100 - 150CM LADO IZQUIERDO.....	94
FIGURA 48. FACTOR DE SEGURIDAD CON EL NIVEL FREÁTICO DE 10 - 50 CM LADO DERECHO	95
FIGURA 49. FACTOR DE SEGURIDAD CON EL NIVEL FREÁTICO DE 50 CM - 100 CM LADO DERECHO	95
FIGURA 50. FACTOR DE SEGURIDAD CON EL NIVEL FREÁTICO DE 100 -150 CM LADO DERECHO.....	96
FIGURA 51. FACTOR DE SEGURIDAD CON SISMOS LADO B	97
FIGURA 52. FACTOR DE SEGURIDAD CON SISMO.	97
FIGURA 53. ESTADO CRÍTICO CON PRECIPITACIONES LADO IZQUIERDO (AMENAZA 1)	99
FIGURA 54. ESTADO CRÍTICO CON PRECIPITACIÓN LADO DERECHO (AMENAZA 1).....	99
FIGURA 55. ESTADO CRÍTICO CON AUMENTO DEL NIVEL FREÁTICO (HÚMEDO) LADO IZQUIERDO (AMENAZA 2)	100
FIGURA 56. ESTADO CRÍTICO CON AUMENTO DEL NIVEL FREÁTICO (HÚMEDO) LADO DERECHO (AMENAZA 2).	100
FIGURA 57. ESTADO CRÍTICO (SUELO SATURADO) LADO IZQUIERDO (AMENAZA 2).....	101
FIGURA 58. ESTADO CRÍTICO (SUELO SATURADO) LADO DERECHO (AMENAZA 2).....	101
FIGURA 59. HIDRATACIÓN DEL SUELO ARCILLOSO.	102
FIGURA 60.FLUJO DE LODO EN EL SECTOR, DETONADO POR LLUVIAS (20 DE ABRIL DE 2017)	103
FIGURA 61. ESTADO DE LA LADERA DESPUÉS DEL DESLIZAMIENTO	104
FIGURA 62. COSTALES DE TIERRA PUESTOS POR LOS HABITANTES PARA DETENER EL DESLIZAMIENTO.	104
FIGURA 63. TINAS LLENAS DE TIERRA PUESTAS AL PIE DE LA LADERA PARA REDUCIR EL DESLIZAMIENTO	105
FIGURA 64. RELACIÓN POBREZA Y VULNERABILIDAD.....	107

FIGURA 65. SUSCEPTIBILIDAD IDENTIFICADA EN LOS PREDIOS DEL CAMPITO Y FUNDACIÓN MAGDALENA	110
FIGURA 66. PROCEDENCIA GEOGRÁFICA DE LOS HABITANTES DEL SECTOR	111
FIGURA 67. MATERIAL DE LAS VIVIENDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	113
FIGURA 68. ALCANTARILLADO IMPROVISADO.....	114
FIGURA 69. SEÑALIZACIÓN DEL PASO DEL GASODUCTO.	115
FIGURA 70. TUBERÍA DE AGUA	116
FIGURA 71. CASA DE JUSTICIA MUNICIPAL.....	117
FIGURA 72. QUEBRADA AGUA CLARA O CALZONAZO	117

SIGLAS

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

MDE: Modelo Digital de Elevación

MM: Movimientos en Masa

OSSO: Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano

PBOT: Plan Básico de Ordenamiento Territorial

PMGRD: Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres

POMCA: Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca Hídrica

POT: Plan de Ordenamiento Territorial

SGC: Servicio Geológico Colombiano

SIG: Sistema de Información Geográfico

SIGOT: Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial

RESUMEN

Este documento expone una propuesta metodológica mediante la cual se determinará la distribución espacial de las variables que intervienen en los procesos de remoción en masa, como la geología, geomorfología y la cobertura del suelo, a partir de la recolección de información secundaria obtenida de instituciones nacionales como SGC, IGAC, IDEAM, SIGOT, junto con herramientas técnicas como los MDE y los SIGs, los cuales se relacionan por medio de un modelo de susceptibilidad, que permite obtener el potencial de inestabilidad del suelo. Posteriormente, en los lugares donde la susceptibilidad es alta, se estima la distribución espacio-temporal de la precipitación que se utiliza como factor detonante en el cálculo de la amenaza, ya que se evidencia que en la zona la mayor cantidad de movimientos ocurren a causa de fuertes precipitaciones (declaraciones presentadas por los habitantes del sector durante las visitas a campo); otro factor detonante que se tendrá en cuenta son los sismos, la información anterior se procesa mediante el programa Slide, el cual dio como resultado el modelo de inestabilidad de la ladera.

El modelo resultante servirá para determinar los insumos básicos para la evaluación de la vulnerabilidad (exposición, fragilidad y capacidades), donde los

resultados de la amenaza sean altos, ya que se evidencia que los fenómenos de remoción en masa están afectando la infraestructura y amenazan la integridad física de la población. Finalmente, se realizarán algunas observaciones que permitan a las entidades encargadas de la planificación territorial, elaborar estrategias para la identificación y mitigación del riesgo.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto ha focalizado como área de estudio el sector “El Campito” del municipio de Santander de Quilichao, localizado al sur del casco urbano. Surge como una urbanización ilegal¹ producto de la venta irregular de lotes por parte de terceros desde el año 2012. En la actualidad el sector se conforma por cinco “barrios”: Nueva Colonia I y II (estos son producto de invasiones a la propiedad privada), Fundación Provivienda la Magdalena (venta de lotes de manera ilegal), Bajo Lourdes (ubicación temporal de desplazados a quienes después por intereses individuales se les empezó a vender lotes de manera ilegal), El Campito (el más desarrollado de los sectores, también surge de la venta ilegal de lotes por parte de los herederos de Leonel Ramírez). Se puede afirmar que más del 90% de los habitantes del sector son desplazados de diferentes partes de los departamentos de Cauca y Nariño por causa del conflicto armado en el país (información otorgada por la comunidad).

El Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Santander de Quilichao PMGRD (2016), reconoce que en el municipio se identifican escenarios de riesgo asociados con fenómenos de origen hidrometeorológico (avenidas torrenciales, inundaciones, vendavales, sequías producto de la variabilidad climática), fenómenos de origen geológico (movimientos en masa y sismos), fenómenos de origen tecnológico y fenómenos de origen humano no intencional, entre otros. Aunque el área de estudio no es reconocida en el PBOT, ni en el PMGRD del municipio por considerarse un asentamiento ilegal, se debe precisar que de acuerdo a los registros de la Oficina de Gestión de Riesgo de Desastres Municipal y las entidades encargadas de la gestión del riesgo, el sector se ha visto fuertemente afectado por vendavales; inundaciones causadas por el desbordamiento de la quebrada Agua Clara; incendios estructurales y, por último; los movimientos en masa. Lo cual invita a la evaluación del riesgo en el sector con el fin de consolidar una herramienta que impulse la realización de estudios a mayor detalle, permitiendo una mejor implementación para los procesos de la Gestión del Riesgo como lo son el conocimiento, reducción y manejo del desastre, la toma de decisiones y ordenamiento territorial en áreas donde se presenten las mismas condiciones, a su vez, mejorar la calidad de vida de sus habitantes reduciendo su vulnerabilidad.

Si bien es cierto que el área de estudio es susceptible a los eventos anteriormente mencionados, en este trabajo se aborda exclusivamente los movimientos en masa; “se llamarán fenómenos de movimiento en masa o remoción en masa, a

¹ CODIGO PENAL COLOMBIANO, CAPITULO III, **ARTICULO 318. URBANIZACION ILEGAL.** El que adelante, desarrolle, promueva, patrocine, induzca, financie, facilite, tolere, colabore o permita la división, parcelación, urbanización de inmuebles, o su construcción, sin el lleno de los requisitos de ley (...)

todo lo relacionado con deslizamientos, volcamientos, caídas, flujos y propagación lateral de materiales como tierra o detritos”².

El alcance de este estudio es determinar los elementos para el análisis del riesgo por movimientos en masa en el sector “El Campito” del municipio Santander de Quilichao en el periodo 2012-2017³. Cuando se menciona "elementos", se hace alusión a los componentes del riesgo, la amenaza y la vulnerabilidad. El trabajo se inicia con la delimitación del área de estudio, posteriormente se identifica la susceptibilidad a los movimientos en masa, luego, se realiza el cálculo de la amenaza en las áreas donde la susceptibilidad resulta alta, este proceso se realiza con la modelación del factor de seguridad con el programa Slide. Por cuestiones técnicas la amenaza no se espacializa cartográficamente; y después se determinan los elementos expuestos como insumo para la vulnerabilidad, finalmente el cálculo de esta no se lleva a cabo por falta de información acerca de la fragilidad y las capacidades como elementos de la vulnerabilidad.

Esta investigación se enmarca en el contexto del conocimiento y la prevención del desastre como elementos de la Gestión del Riesgo, lo cual se convierte en una herramienta que permite fortalecer los planes de gestión y planificación del riesgo a nivel local, dado que se realizan procesos técnico espaciales para determinar las zonas con amenaza ante deslizamientos en el sector “El Campito”, principalmente en el área de la Fundación Provivienda la Magdalena, zona que carece de estudios relacionados con este tipo de fenómenos, pero que es susceptible a la ocurrencia de deslizamientos.

Cabe resaltar que los productos obtenidos se realizaron bajo información secundaria debido a que no hay estudios de detalle en el área, y tampoco se contó con el presupuesto para realizarlos.

El documento cuenta con una propuesta metodológica, que permite determinar la distribución espacial de las variables influyentes en los deslizamientos de tierra en la zona de estudio, tales como, la pendiente y la litología, a partir de la aplicación de los modelos de susceptibilidad a movimientos en masa ajustado a la metodología del IDEAM; el uso de los SIGs, modelación del factor de seguridad con el programa SLIDE, incluyendo factores detonantes como la precipitación y la sismicidad en la zona de estudio, junto con la experiencia adquirida en campo para la identificación de los elementos expuestos que pueden aportar para la evaluación de la vulnerabilidad.

Este estudio se desarrolla en el marco del convenio entre la Universidad del Valle y la Alcaldía del municipio Santander de Quilichao, que establece como objetivo realizar el análisis de la vulnerabilidad. El trabajo fue desarrollado por las estudiantes Yeli Ceidy Castillo González y Nisley Zúñiga Estacio en cumplimiento

²MONCAYO, J. *et al.* Evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía Metodológica. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2001. 166p. ISBN 958-8060-20-6.

³ El periodo 2012-2017 hace alusión al momento en que se empezó a densificar el sector y la oficina de planeación reconoce su existencia.

de la pasantía de trabajo de grado para optar al título de geógrafas. Cuyo informe se presento a la dirección del programa.

Aunque el convenio citado señala como objetivo realizar el análisis de la vulnerabilidad, en este no se logró avanzar, puesto que no existían estudios o información que asevere la exposición ante algún fenómeno amenazante, por lo tanto, se hizo necesario iniciar desde la identificación de la susceptibilidad ante el fenómeno de movimiento o remoción en masa. Al finalizar esta etapa se expuso los resultados ante el Concejo Municipal y se conformó un grupo de trabajo entre todas las secretarías de Gobierno para el levantamiento de la información que permitiera efectuar la evaluación de la vulnerabilidad. Sin embargo, no se contó con el presupuesto para culminar este proceso, por lo tanto, solo se brindarán insumos para la identificación de los elementos expuestos y se realizarán recomendaciones para la evaluación y análisis del riesgo.

La presente monografía se encuentra estructurada de la siguiente manera:

En el capítulo I se presenta el problema de investigación, el cual está compuesto por la descripción, la pregunta problema, la justificación del porqué el desarrollo del presente documento, los objetivos y la metodología llevada a cabo para el cumplimiento de los objetivos.

En el capítulo II, se presentan los aspectos teóricos necesarios para la interpretación conceptual de los términos manejados a lo largo del documento, se expresa la normativa mediante la cual se enmarca la problemática.

Capítulo III, se realiza la descripción general del territorio; se expone la localización geográfica del municipio Santander de Quilichao, sus características geológicas, geomorfológicas e hídricas, para luego aterrizarlo al área de interés el sector “El Campito”.

Capítulo IV, cálculo de la amenaza por movimientos en masa. Se realiza la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa en el área de estudio teniendo en cuenta la geología, la geomorfología y la cobertura del suelo; con los resultados obtenidos se pasó a realizar el cálculo de la amenaza, en las áreas donde los niveles de susceptibilidad resultaron altos, aquí se tiene en cuenta los factores detonantes como precipitaciones (periodo de retorno e intensidad de las lluvias) y los sismos (historicidad de eventos y la aceleración horizontal pico y la vertical para el norte del Cauca; NRS10,2010). Finalmente, se tiene una modelación del factor de seguridad para la ladera realizado con el programa Slide.

Capítulo V, se toma como herramienta, las salidas de campo y el levantamiento fotográfico, para determinan los elementos expuestos como una aproximación para el análisis de la vulnerabilidad.

Por último se presentan, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos necesarios para la culminación del presente documento.

1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los fenómenos de movimientos en masa se convierten en una amenaza para la población debido al incontrolado y acelerado proceso de urbanización que ha permitido que las personas se localicen en áreas propensas a estos eventos. Algunas actividades que favorecen estos procesos son la deforestación, la precipitación a causa de los cambios en los patrones climatológicos y actividad sísmica.

Por la ubicación geográfica, geología, tectónica, topografía, pisos térmicos y uso del suelo, el territorio colombiano es constantemente amenazado por múltiples fenómenos naturales como sismos, movimientos en masa, lluvias, inundaciones, avenidas torrenciales, entre otros. Desde 1990 al 2015 se registraron 34355 eventos tanto naturales como antrópicos a nivel nacional, causando pérdidas humanas y económicas. A menor escala, en el departamento del Cauca se identificaron 1743 datos para este periodo, representando el 5,07% de los eventos a nivel nacional; donde la ciudad de Popayán figuró el mayor número de sucesos (160) equivalentes al 9,17% del departamento y 0,47% a nivel nacional. Por sus condiciones geológicas, hidrográficas y climáticas, Santander de Quilichao se ha visto afectado por 49 acontecimientos los cuales representan un 2,8% en el Cauca, durante el periodo anteriormente mencionado. Cabe resaltar que durante este lapso los eventos más recurrentes han sido vendavales (13), inundaciones (12) y movimientos en masa (9) respectivamente (Desinventar, s.f).

En la actualidad el análisis de la amenaza por movimientos en masa a escala local se complejiza debido a que la información para el procesamiento de estos eventos se encuentra a gran escala haciendo que se dificulte la fiabilidad, calidad y efectividad de los trabajos, "los modelos estadísticos que se calculan, son afectados por la cantidad, calidad y relevancia de los datos disponibles" (Carrara, 1998).

Por lo anterior, es necesario gestionar estudios y metodologías que permitan el análisis del riesgo en los territorios, lo cual facilite los fines del ordenamiento y la toma de decisiones, teniendo en cuenta que el riesgo condiciona el uso del suelo y es un determinante para el ordenamiento territorial.

El Campito es un asentamiento de desarrollo incompleto ubicado al sur de la cabecera municipal de Santander de Quilichao, el cual se crea en el año 2012 a partir de la venta ilegal de terrenos, en un área susceptible a deslizamiento, en la actualidad el sector cuenta con más de 1000 viviendas. Por lo anterior la pregunta a resolver está encaminada a identificar ¿En qué condiciones de amenaza se encuentran los habitantes del sector "El Campito" del municipio de Santander de Quilichao ante los movimientos en masa?

1.1) JUSTIFICACIÓN

El alto crecimiento demográfico y las dificultades económicas que hoy en día se presentan en los países en vías de desarrollo, ha permitido que personas con pocos ingresos se localicen en lugares no planificados; estas prácticas y las ventajas que de forma inmediata ofrece un determinado espacio a las personas, son las que permiten el asentamiento en lugares poco apropiados, de manera inconsciente o simplemente, se busca suplir una necesidad básica como la de vivienda, permitiendo así, que las comunidades se expongan a situaciones naturales o antrópicas que pueden afectar a los habitantes, su infraestructura, bienes, entre otros; situación presente en el sector "El Campito", del municipio Santander de Quilichao.

El dinamismo en las transformaciones territoriales por uso del suelo, asentamientos en zonas de riesgo y presencia significativa de eventos amenazantes, demandan mejor preparación y coordinación de acciones para la Gestión del Riesgo. Por tanto, este estudio se orienta a identificar conceptos y aplicaciones teóricas, junto con una metodología que permita abordar las complejidades presentes en el territorio y con ello avanzar en la construcción de entornos más seguros.

El sector "El Campito" se conformó como una urbanización ilegal producto de la venta de lotes de propiedad privada en la vereda el Guabo del municipio Santander de Quilichao⁴. La Oficina de Planeación Municipal indica que en el año 2012 llegaron los primeros habitantes al asentamiento; en la actualidad cuenta con más de 1000 viviendas. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 1, donde se evidencia que para el año 2009 el área de estudio no cuenta con muchas viviendas, pero en el 2012 se notan los primeros ocupantes al sur del sector, lo cual, según sus pobladores, se da por el fraude del que fueron víctimas al comprar lotes en este sitio⁵; pero en sí, la ocupación descontrolada del Sector se aprecia en el 2015. En seis años el sector pasa de ser un área de pocos pobladores a ser un asentamiento de desarrollo incompleto, el cual no cuenta a la fecha con los estudios de riesgo necesarios.

Se parte con la siguiente hipótesis; Las dinámicas internas y externas de la tierra (sismos, precipitaciones, fuertes temporadas de calor, etc.), las condiciones físicas del terreno y el uso no planificado del suelo, hacen que los habitantes y las estructuras del sector "El Campito" se encuentren expuestas a procesos de remoción en masa, principalmente en temporada de lluvia afectando fuertemente la integridad de la población en el sector.

⁴RESEÑA HISTÓRICA de James Jhonier Hernández Ipia, Líder comunitario de la "Asociación Popular de Vivienda campito O.P.V" Sector el Campito. Santander de Quilichao, 5 de octubre de 2016

⁵Ibíd.

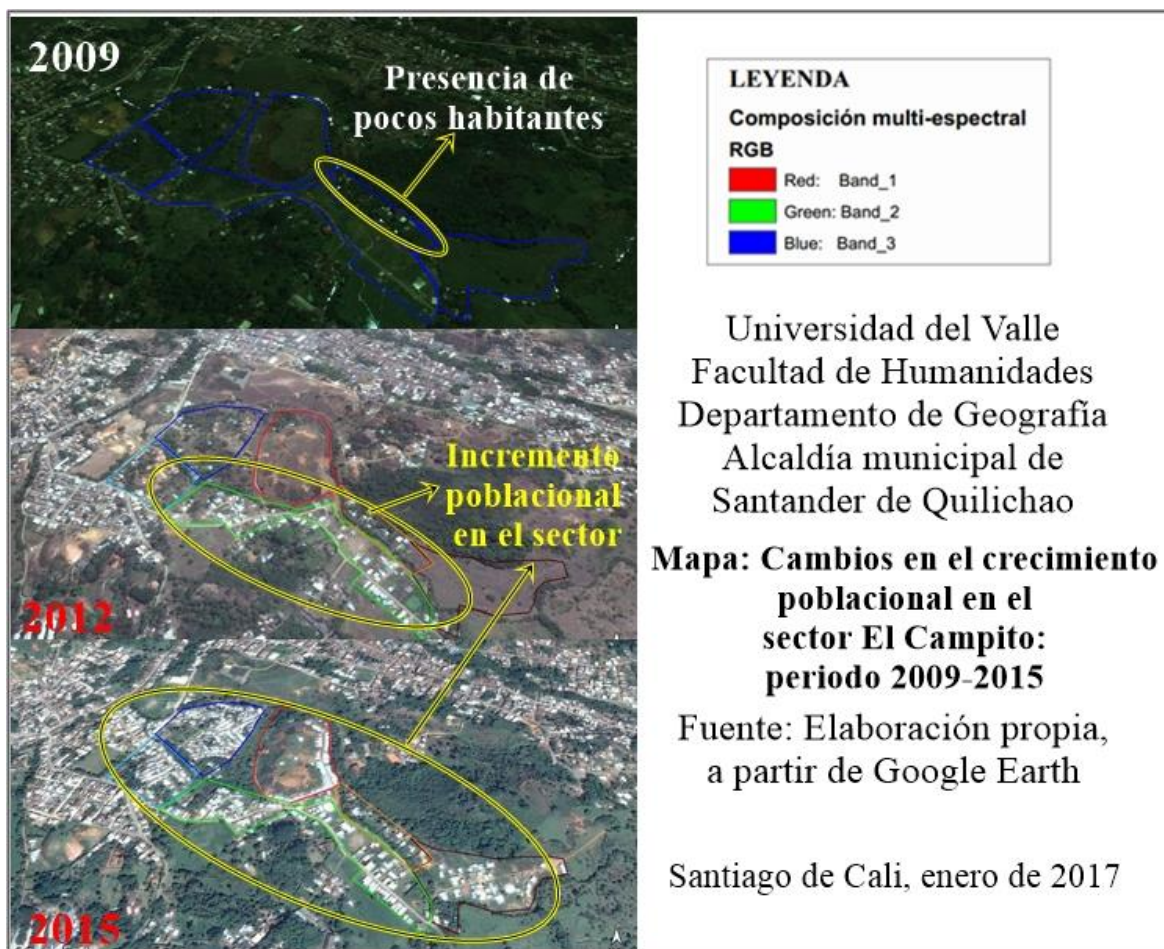


Figura 1. Cambios en el crecimiento poblacional en el periodo 2009-2015 del sector "El Campito" municipio Santander de Quilichao.

Fuente: Elaboración Propia a partir de las imágenes de Google Earth Pro 2016.

A la administración municipal más que la condición de urbanización ilegal que presenta el sector, le preocupa el crecimiento descontrolado y no planificado del mismo, lo cual expone a los habitantes a fenómenos socio-naturales que en su desencadenamiento los puede afectar abruptamente. Para los fines de este proyecto se hará hincapié en los relacionados con movimientos en masa.

En consecuencia, este estudio es de vital importancia en el sector "El Campito", porque permitirá valorar el nivel de la amenaza a los movimientos en masa a los que se encuentra expuesta la comunidad y a su vez brindar una herramienta inicial que permita la evaluación a corto plazo del riesgo en el sector, y así, tener insumos para mitigar numerosos eventos que pueden generar cuantiosas pérdidas humanas y económicas en el área de estudio.

1.2) OBJETIVOS

1.2.1) Objetivo general

Valorar las condiciones de amenaza por movimientos en masa como elemento para el análisis del riesgo en el sector "El Campito" del municipio Santander de Quilichao

1.2.2) Específicos

- Delimitar el área geográfica del sector "El Campito" en el municipio de Santander de Quilichao.
- Evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa en el sector.
- Calcular el factor de seguridad en la ladera susceptible a movimientos en masa.
- Determinar los elementos expuestos como una aproximación para el análisis de la vulnerabilidad.

1.3) METODOLOGÍA Y MÉTODOS

En el siguiente diseño (Figura 2), se presenta la metodología y los métodos llevados a cabo para el cumplimiento de los objetivos planteados en este proyecto.

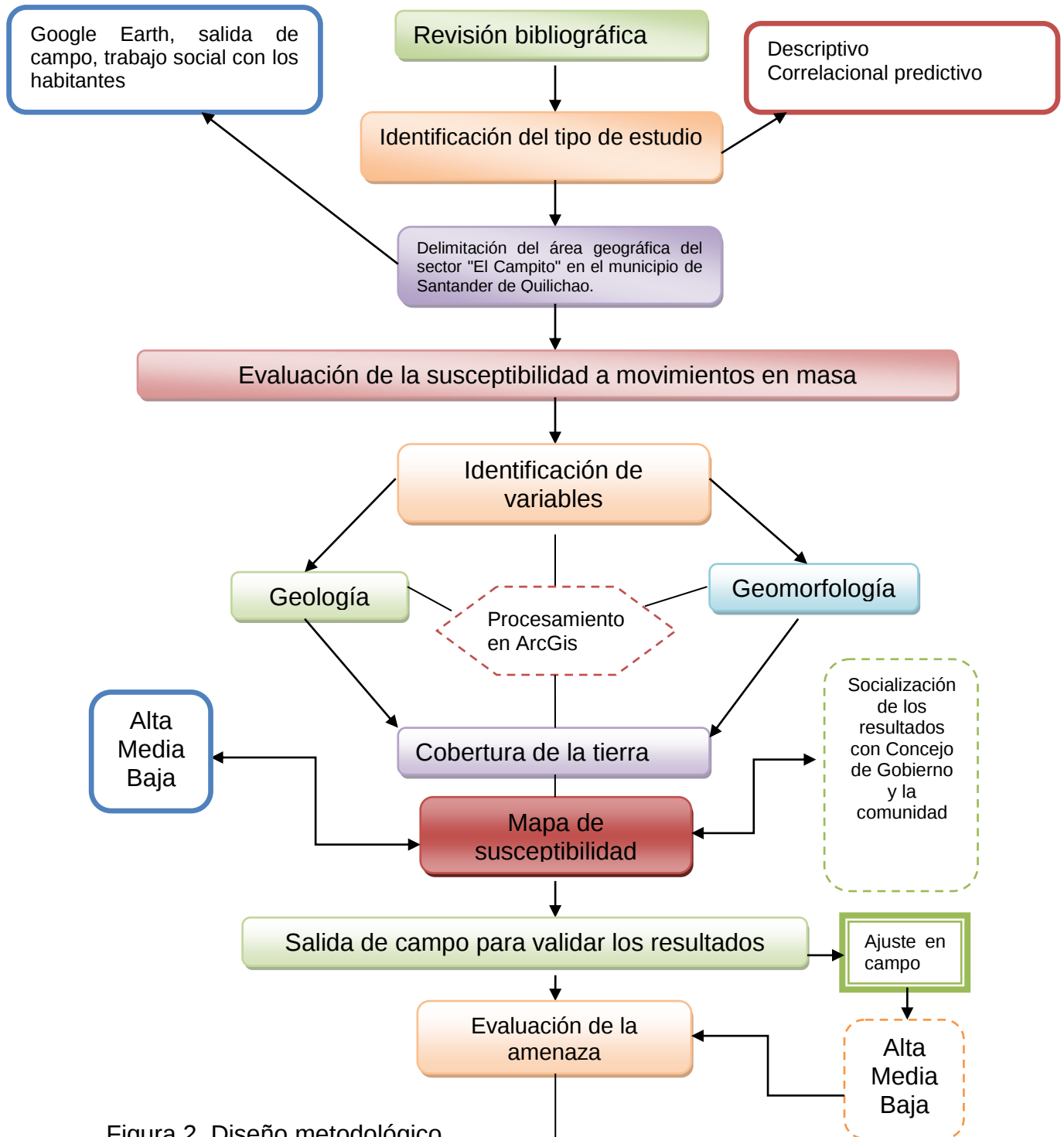


Figura 2. Diseño metodológico

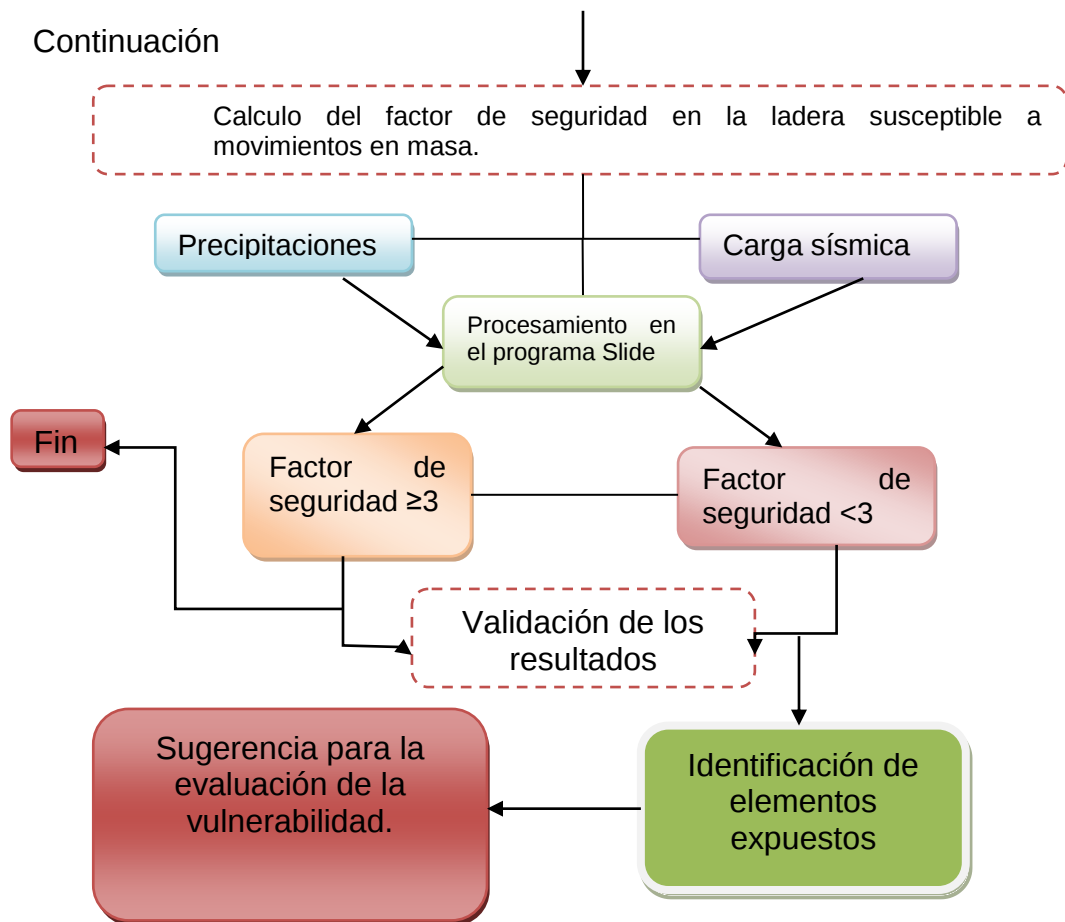


Figura 2. Continuación diseño metodológico.

Elaboración propia.

Esta investigación es de carácter mixto, debido a que globalmente cumple con las características del enfoque descriptivo, pero en secciones de la investigación se identifican características correlacional-predictiva.

La metodología propuesta en este proyecto se convierte en un piloto aplicable a las demás áreas del municipio de Santander de Quilichao donde se presenten amenazas relacionadas con el objeto de estudio. Dicho producto constituye un insumo fundamental para fortalecer la gestión del riesgo de desastres y la planificación territorial, dado que en la actualidad el municipio carece de estudios técnicos que soporten la amenaza y la vulnerabilidad.

Cabe resaltar que las variables para el cálculo de la susceptibilidad y la amenaza son de fuentes de información secundaria, debido a que no se contó con el presupuesto para hacer estudios técnicos de las características físicas del terreno.

También, el levantamiento de información en las salidas de campo constituyó un elemento fundamental para reconocer los procesos morfodinámicos que afectan a "El Campito". Se realizó el levantamiento fotográfico y la observación de los cambios en el área en temporada seca (enero 2017). En la Figura 3 se identifican

los procesos de erosión de la ladera en temporada seca; cárcavas profundas (fracturamiento del suelo) y procesos de inestabilidad producida por la textura del suelo, compuesto por arcillas (IGAC, 2009).

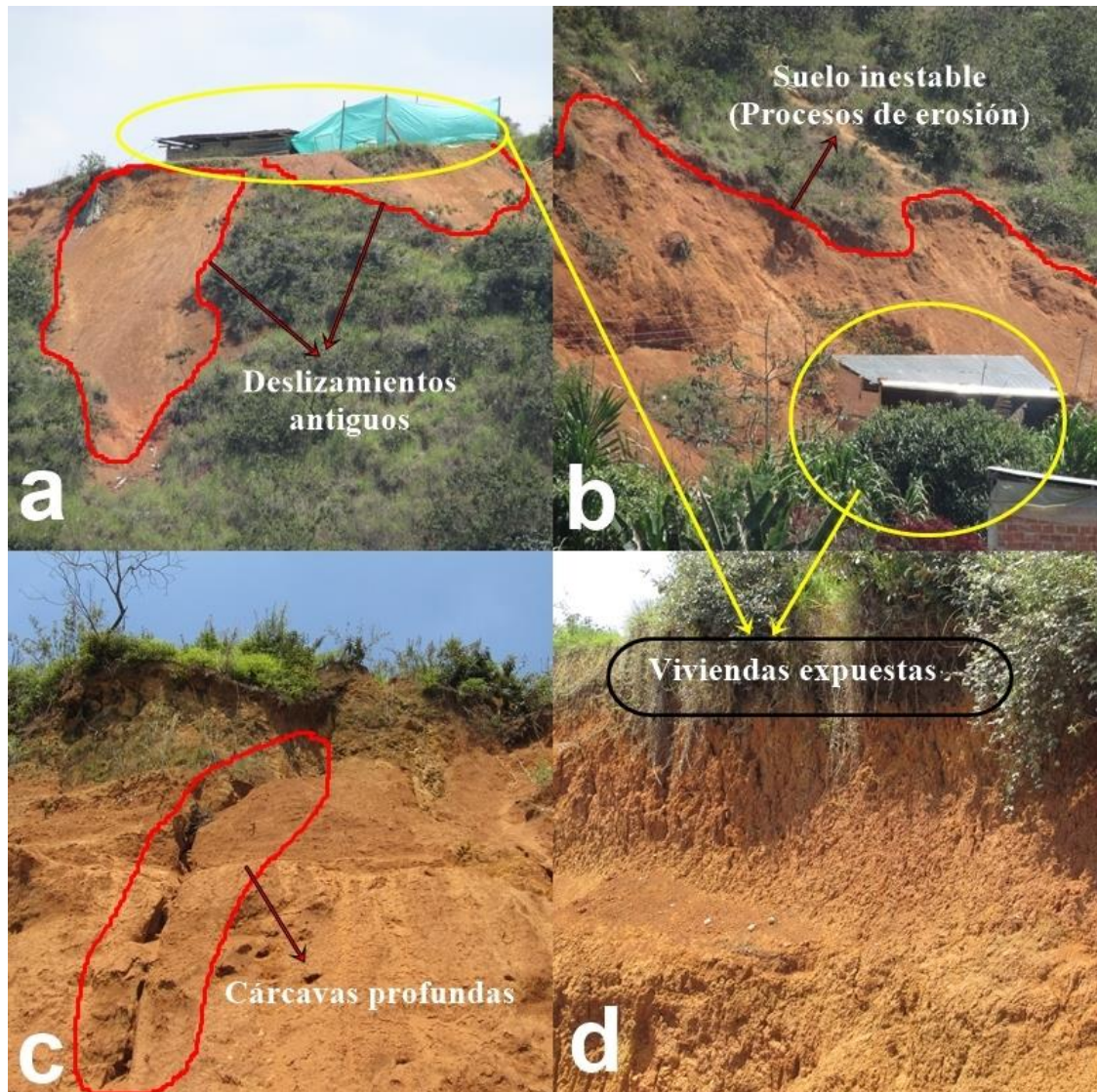


Figura 3. Condiciones del terreno en temporada seca en el sector "El Campito", municipio Santander de Quilichao.

Fuente: Elaboración propia

También en temporada de lluvia (diciembre 2016, marzo y abril del 2017) (Figura 4), En esta figura se identifica los cambios en el suelo cuando hay saturación, es decir, las arcillas se expanden por la cantidad de agua absorbida, una vez el agua se evapora los espacios ocupados por ésta quedan vacíos generando fisuras y deslizamientos de tierra o lodo.



Figura 4. Cambios en el terreno en temporada de lluvia, en el sector "El Campito", municipio Santander de Quilichao.

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior permitió avanzar en la sistematización de la información base para la delimitación del sector.

Los pasos seguidos para este estudio fueron:

1.3.1) Reconocimiento preliminar del territorio

El área de estudio se zonifica según el geoportal del IGAC como urbana en el sector de Las Colonias y rural en lo demás, aunque, para la Oficina del Planeación Municipal el uso del suelo para el área de estudio es rural en general.

Por tanto, se delimita el área de estudio a través del reconocimiento en campo y cartografía social, este, consiste en extraer una imagen de Google Earth del área y con la experiencia vivencial de los habitantes del sector se inicia la delimitación real de cada asentamiento que lo compone. Con los resultados obtenidos en la primera salida de campo se creó el polígono base en Google Earth y luego se georeferenció en el programa ArcGis donde se obtuvo la línea base para la cartografía.

1.3.2) Recopilación y análisis de información

La información se tomó del Servicio Geológico Colombiano (SGC), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), El Plan de Ordenamiento Territorial del municipio (POT), el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD 2016), el POMCA del Río Quinamayó, el Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano (OSSO) y del Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales (IDEAM).

Se tiene en cuenta la Guía de Integración de la Gestión del Riesgo de Desastres y el Ordenamiento Territorial Municipal, de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2015). Esta guía presenta algunos horizontes a tener en cuenta para la realización de programas y proyectos orientados al conocimiento, reducción y manejo de escenarios de riesgo, como ejes conductores de la gestión del riesgo de desastres, basados en el decreto 1807 del 2014, donde se sugieren los métodos a trabajar según el nivel de detalle de los estudios y la presentación de la cartografía (Tabla1).

También precisa la delimitación y zonificación de áreas de amenaza asociadas a fenómenos de Movimientos en masa, y otros que no son aplicados en este estudio.

Tabla 1. Detalles a tener en cuenta para los estudios de amenazas y riesgo.

Tipo de estudio	Clase de suelo	escala	Método de análisis
Estudio básico	Urbano o expansión urbana	1:5000	Estadístico, determinístico, o probabilístico
	Rural	1:25000	Heurístico, estadístico
Estudio detallado	Urbano o expansión urbana	1:2000	Determinístico o probabilístico
	Rural Suburbano	1:5000	

Fuente: Adaptado de la Guía de Integración de Gestión del Riesgo de Desastres para el Ordenamiento Territorial, 2015

En esta misma guía se indican los insumos que se deben tener en cuenta para el análisis de los movimientos en masa según el Decreto 1807, estos factores condicionantes son: geología para ingeniería, geomorfología y, cobertura y uso del

suelo. Cabe resaltar que en este caso se trabajará con el método heurístico para el cálculo de la susceptibilidad.

El Método Heurístico, es el más subjetivo de todos ya que el especialista es quien decide el tipo o grado de riesgo para una zona en cuestión, utilizando la asignación directa o indirecta. Así, dos tipos de análisis heurísticos pueden distinguirse: el análisis geomorfológico y la combinación cualitativa de mapas (Van Westen, et al citado por Cardozo, 2013). El primer método se basa en categorizar y ponderar los factores o variables que causan la inestabilidad, según la influencia esperada en el fenómeno estudiado y se aplica para estudios regionales. Sin embargo, en la combinación cualitativa de mapas, (la cual se utilizará para fines de éste estudio), el científico usa su criterio experto para asignar pesos (valores que representan un determinado grado de importancia) a una serie de mapas parámetro (mapas de factores condicionantes que se consideran relacionados con la ocurrencia de movimientos en masa). Tales factores se suman de acuerdo con éstos pesos, dando como resultado valores de susceptibilidad que pueden ser agrupados en categorías o clases.

Igualmente se complementa con la Metodología para la Zonificación de Susceptibilidad General del Terreno a los Movimientos en Masa del IDEAM (2012), esta indica paso a paso como calcular la susceptibilidad a movimientos en masa, donde se utilizan cuatro capas temáticas: geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra Figura 5. Estas variables se procesan en la plataforma ArcMap del software ArcGis.

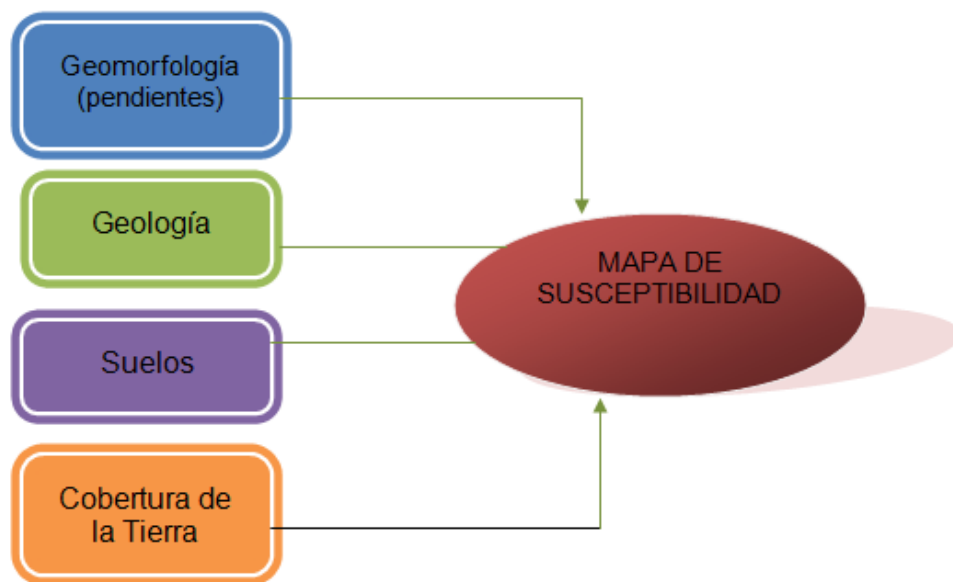


Figura 5. Temas para generar el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa

Fuente: Metodología IDEAM (2012)

Al obtener el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa se realizó una salida de campo para corroborar los resultados de la evaluación de susceptibilidad por movimientos en masa en terreno y realizar los ajustes pertinentes (12 de febrero, Figura 6). Posteriormente, se realiza el cálculo de la amenaza a movimientos en masa, ya que los estudios de susceptibilidad tan solo son un preámbulo para definir que un área es propensa a que se presente un movimiento en masa, es de destacar que el concepto de susceptibilidad, no considera la probabilidad temporal ni la magnitud de los movimientos en masa esperados; sin embargo, los estudios de amenaza brindan mayor certeza de que esto suceda. Caracterizar la amenaza por movimientos en masa requiere una evaluación tanto de la susceptibilidad de la ladera a fallar, como de la probabilidad de ocurrencia del movimiento.



Figura 6. Salida de campo para corroborar los resultados de la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa en el sector El Campito de Santander de Quilichao.

Fuente: Elaboración propia

Otro insumo para el cálculo de la amenaza es el nivel freático, al no tener estudios detallados de este, se trabajó con la información otorgada a través de entrevistas a los funcionarios de Emquilichao, quienes para el mes de enero se encontraban instalando el servicio de alcantarillado en El Campito (Campito), informaron que el nivel freático en el sector se encuentra a 80cm. Por otra parte, se toma como referente el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Cauca (IGAC,

2009), el cual indica que los suelos del área de estudios se limitan por el nivel freático y el límite es de 127cm, por tanto se toman estos valores como referente y se trabajan varios modelos con nivel freático de 10 cm - 50 cm, de 50 cm - 100 cm y de 100 cm - 150 cm. Como lo recomienda Mora (2000).

Posteriormente, como detonantes de los movimientos en masa se toman las precipitaciones y la carga sísmica. Para el caso de la amenaza, es necesario convertir en términos de frecuencia y magnitud estos factores los cuales son muy específicos y dinámicos para el sitio de ocurrencia, mientras que los factores antrópicos se incluyen en forma implícita o condicionante en la topografía y en la cobertura y uso del suelo. Para las precipitaciones se pide información al IDEAM sobre las lluvias diarias desde el año 1978 hasta el 2016, dado que desde esta fecha se tienen registros completos de la información requerida, y con ella realizar el cálculo de la intensidad, duración, frecuencia y lluvia crítica.

Una vez adquirida la información se procesa en el programa R con el cual se calcula la distribución de las lluvias y el periodo de retorno de las mismas mediante la distribución Gumbel(Sáez, 2009); ésta, según Aparicio 2001, esta distribución indica, "que si se tienen N muestras, y cada una de ellas contiene n eventos. Al seleccionar el máximo x de los n eventos, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de la probabilidad de x tiende a seguir la siguiente formula ":

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \text{ Para } -\infty \leq x \leq \infty \quad (1)$$

La función de densidad de probabilidad entonces:

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]} \quad (2)$$

Donde α y β son los parámetros de la función; los cuales se estiman como:

$$\alpha = \frac{1,2825}{S} \quad (3)$$

$$\beta = \bar{x} - 0,45 S \quad (4)$$

(Para muestras grandes)

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \quad (5)$$

$$\beta = \bar{x} - \mu_y / \alpha \quad (6)$$

(Para muestras pequeñas)

Donde χ representa el valor a asumir por la variable aleatoria y e la constante de Neper (Aguilera, 2007.15).

La aceleración sísmica se obtiene del mapa de zonificación sísmica a nivel nacional donde se identifica el grado de la aceleración pico para el municipio de Santander de Quilichao.

El método usado para el cálculo de la amenaza fue el determinístico; éste tiene como base a los modelos hidrológicos y de estabilidad, que consideran la información detallada de las pendientes fundadas en la mecánica de suelos. Éste método busca eliminar la subjetividad cuantificando los grados de la amenaza en valores absolutos, como el factor de seguridad (Barredo *et.al.*, 2000).

La información anterior se procesa en el programa Slide, es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D, que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc.(Rocscience.com).

Slide maneja múltiples metodologías para calcular el factor de seguridad; dentro de éstas se encuentra el método de Bishop Simplificado, Janbú y Spencer. La Tabla 2 muestra las características de estos métodos.

Tabla 2. Métodos del programa Slide para el cálculo del factor de seguridad.

MÉTODO	SUPERFICIE DE FALLA	EQUILIBRIO	CARACTERÍSTICAS
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla.	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.

Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales Suarez (1998).

Para la modelación del factor de seguridad en el programa Slide se trabajará con el método de Bishop simplificado. Siendo este uno de los más utilizados para el cálculo de factores de seguridad de los taludes.

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión:

$$F.S = \sum \frac{[C' b + (W - ub)\text{Tan}\phi'/ma]}{\sum w \sin \alpha} \quad (7)$$

Donde:

$$ma = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F.S.}\right) \quad (8)$$

b= Ancho de la Dovela

W = Peso de cada dovela

α =Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

C', φ' = Parámetros de resistencia del suelo.

u= Presión de poros en la base de cada dovela = $\gamma_w x h_w$

En este caso Slide permitió identificar el factor de seguridad que tiene la ladera (Figura7) adicionando detonantes como la carga sísmica y el peso de las viviendas relacionado con la resistencia de los suelos, el ángulo de fricción, coeficiente de cohesión y el peso específico o por unidad de medida; estas variables las determina el material del suelo. Adicionalmente, se tiene en cuenta el nivel freático.

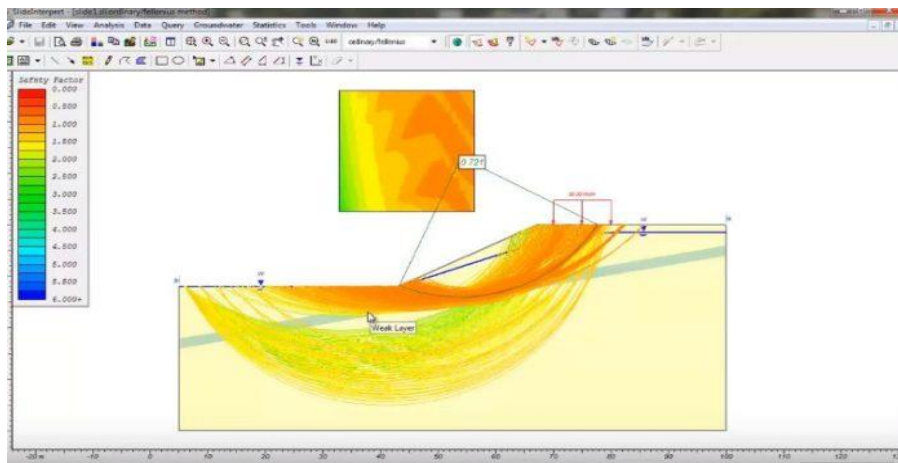


Figura 7. Ejemplo de la salida de Slide

Fuente: página principal de Slide.
<https://www.rocscience.com/rocscience/products/slide>

Los resultados obtenidos durante el proceso se socializaron con el Concejo de Gobierno del municipio el día 11 de enero del 2017 y con los líderes del sector. Posteriormente con los habitantes el 15 de febrero del 2017.

Durante el proceso se planteó realizar el análisis de vulnerabilidad en el área de estudio. Para tal fin se convocó a diferentes representantes del Concejo de Gobierno y encargados de la Gestión del Riesgo de Desastres en el municipio (Bomberos, Defensa Civil, Secretaria de Salud, Tránsito Municipal, los miembros de la comunidad etc.) con el objeto de hacer el levantamiento de información para la evaluación de la vulnerabilidad (Figura 8). Se diseñó una encuesta como base para levantar la información de primer orden, la cual debe ser aplicada en cada hogar. El formato se realizó paulatinamente con el apoyo de los tutores de pasantía, secretaria de educación y secretaria de salud. Para los alcances de esta etapa se solicita un presupuesto pero por cuestiones internas de la Alcaldía Municipal, no fue aprobado. Por lo tanto, en este proyecto no se desarrolla la evaluación de la vulnerabilidad, solo se identifican los elementos expuestos y se dejan sugerencias para la culminación de la etapa (Anexo A1).



Figura 8: Reuniones con la comunidad y representantes de las secretarías de Gobierno municipal.

Fuente: Elaboración propia

2. CAPÍTULO II. ASPECTOS TEÓRICOS

Con el fin de proporcionar claridad frente a los alcances del presente proyecto, esta sección del documento pretende exponer los principales elementos conceptuales y normativos que guían esta investigación. En virtud del alcance del estudio de "Elementos para el análisis del riesgo por movimientos en masa en el sector "El Campito" del municipio Santander de Quilichao". La noción de espacio geográfico, territorio, Ordenamiento Territorial, riesgo y sus componentes, son de interés central, además de los de movimientos en masa o deslizamiento de tierra; al igual que aproximarse a entender el rol de las comunidades en el ámbito de la gestión del riesgo de desastres.

2.1) MARCO CONCEPTUAL

2.1.1) ESPACIO GEOGRÁFICO Y TERRITORIO

Luna (2010) plantea que "el espacio geográfico es el objeto de estudio de la Geografía y se caracteriza por la existencia de una combinación dinámica, este ha sido entendido como el sistema en donde interactúan los factores físico-bióticos y humano-culturales". Para Restrepo (2011), el espacio geográfico:

Se forma y evoluciona a partir de un conjunto de relaciones soportadas en cinco caracteres fundamentales: localizable y concreto, cartografiable, diferenciado, cambiante y homogéneo. Complementario a los caracteres señalados por Dollfus, Méndez (1988) los cuales identifican una serie de características que fortalecen teóricamente la dinámica del espacio geográfico, estas son: no ser neutral, estar originado en la iniciativa humana, ser una construcción social, ser objeto de consumo, ser funcional, ser dinámico y ser heterogéneo. (Restrepo, 2011)

Por otra parte "las interacciones que se establecen en un momento y en un espacio geográfico determinado, entre los seres humanos y el medio físico natural, definen el territorio, como construcción social e histórica que se expresa en las prácticas cotidianas de la sociedad". (Orozco, *et al.*, 2008). Restrepo (2011) indica que:

"Las ciencias sociales incorporan el concepto de territorio para la especie humana como el espacio de dominación, propiedad y/o pertenencia, de los individuos o las colectividades, sean éstas naciones, estados o pueblos, es decir, como espacio sometido a unas relaciones de poder específicas; ésta fue la herencia que recibió la Geografía del Estado-nación como proyecto y como cultura política". (Restrepo *óp. cit*)

El territorio que habitamos es producto de un paciente y largo proceso de conformación que ha tomado muchos años y muchas vidas, que tiene las huellas de los antepasados pero también nuestras propias huellas; por eso descifrarlo puede convertirse en apasionante aventura de descubrimiento de nosotros mismos.⁶

⁶Ibíd. Restrepo (2011)

El territorio no es simplemente lo que vemos; mucho más que montañas, ríos, valles, asentamientos humanos, puentes, caminos, cultivos, paisajes, es el espacio habitado por la memoria y la experiencia de los pueblos. Por eso aprender a leerlo y descifrarlo puede enseñar mucho sobre cómo resolver los problemas y los conflictos, las dudas y las incertidumbres que enfrentamos en el presente⁷.

2.1.2) ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Por lo anterior es necesario plantear medidas que permitan una mejor planificación del territorio, uso del suelo sostenible y equilibrado conforme al ser humano, donde se causen los mínimos efectos perjudiciales para la sociedad y el ambiente. Una de estas medidas y quizá la más significativa se orienta hacia el Ordenamiento Territorial (OT), este se puede entender como un proceso integrador de la planificación global y sectorial, tomando como base el territorio, orientado al planeamiento urbano y del uso de la tierra (Massiris, 2005; Pujadas y Font, 1998). Se trata de un proceso de planificación técnico-político que pretende organizar el uso y ocupación del territorio, acorde con las potencialidades y las limitaciones del mismo y de las aspiraciones de su población (Ministerio de Vivienda, 2012). Si en el territorio no se tienen en cuenta las políticas orientadas hacia el OT se conforman situaciones descontroladas de ocupación y uso del suelo (actividades económica, la minería, tala de bosques, etc.) y sociales (localización de la población sobre antiguos cauces de los ríos, sobre laderas inestables, etc.), que lo ponen en condiciones de riesgo. En consecuencia, la Gestión del Riesgo de Desastres es considerada como eje estructurante de la intervención territorial; por lo tanto, se hace necesario la incorporación de la Gestión del Riesgo de Desastre en el marco del OT, esta puede entenderse como la definición y adopción de un grupo de medidas regulatorias y programáticas tendientes a reducir el riesgo presente y evitar el riesgo futuro (Narváez et al, 2009), que busca un equilibrio y armonización del territorio.

2.1.3) EL RIESGO Y SUS COMPONENTES

Lo anterior indica que es necesario tener conocimientos sobre el concepto de Riesgo. Keller y Blodgett (2004), indican que “un Riesgo natural, es cualquier proceso natural que presente una amenaza para la vida humana o la propiedad. El suceso en sí no es un riesgo; más bien un proceso natural se convierte en riesgo cuando amenaza los intereses humanos”.

En complemento la MEF & GTZ (2006), plantea que los factores de riesgo son dependientes entre sí, no existe peligro⁸ sin vulnerabilidad y viceversa. Los factores de riesgo son producto de procesos sociales, de los modelos de desarrollo que se aplican en

⁷Ibíd. Restrepo (2011)

⁸ Peligro o amenaza.

un territorio y sociedad determinados. El riesgo se caracteriza principalmente por ser dinámico y cambiante, de acuerdo con las variaciones que sufren sus dos componentes en el tiempo, en el territorio, en el ambiente y en la sociedad.

En el territorio colombiano, la ley 1523 del 2012 Normativa del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre, plantea una definición similar a las anteriores pero clasifica el riesgo en tecnológico, biosanitario, o humano no intencional, que se manifiesta en un periodo de tiempo específico y que se determinan por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Ahora bien, es necesario describir los mecanismos del riesgo pues este se entiende como un sistema donde interactúan la amenaza, la vulnerabilidad y sus componentes. Como se plantea en la Figura 9, para hablar de riesgo se debe tener en cuenta una localización (lugar) en un tiempo determinado, donde se desencadene una amenaza o fenómeno peligroso, “La amenaza o peligro, es un evento físico potencialmente perjudicial, fenómeno o actividad humana que puede causar la pérdida de vidas o lesiones, daños materiales, interrupción social y económica o degradación ambiental”. (UNISDR, 2009). “Los peligros pueden incluir condiciones latentes que pueden representar amenazas futuras y puede tener diferentes orígenes: natural (geológico, hidrometeorológico y biológico) o antrópicos (degradación ambiental y amenazas tecnológicas). Los peligros pueden ser aislados, secuenciados o combinados en su origen y efectos. Cada peligro se caracteriza por su ubicación, intensidad, frecuencia y probabilidad”⁹



Figura 9. Elementos del Riesgo

Fuente: Elaboración propia

La MEF & GTZ (2006) precisa que “el peligro, también llamado amenaza, es un evento de origen natural, socionatural o antropogénico que por su magnitud y características puede causar daño”.

⁹Ibíd., p.4.

Mientras que la ley 1523 del 2012 la define la amenaza como “el peligro latente de que un evento natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdidas de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales”.

La Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS (1997) citada por Suarez 2009) precisa la amenaza relacionada directamente con los movimientos en masa como “una condición con el potencial de causar una consecuencia indeseable. Una descripción de amenaza a deslizamientos debe incluir las características de éstos, el volumen o áreas de los movimientos, las profundidades, las velocidades y su probabilidad de ocurrencia. La amenaza es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento particular en un determinado tiempo”.

La vulnerabilidad se entiende como la condición de debilidad o fragilidad de un individuo, elemento o sistema (social o ecológico), que por su naturaleza o particularidades intrínsecas y estando expuesto, está propenso a ser afectado o a sufrir daños ante la ocurrencia de un determinado tipo de fenómeno, evento, suceso o proceso amenazante.

En esta definición se resalta que, por un lado, la vulnerabilidad es una propiedad intrínseca del elemento o sistema expuesto que por su naturaleza tiene una condición de fragilidad, que se entiende como una propiedad negativa de un elemento o sistema que reduce su capacidad de resistencia a sufrir daños ante la ocurrencia de un fenómeno que pueda afectarlo.

Por otro lado, un segundo elemento que resalta en la definición de vulnerabilidad es la exposición del elemento o sistema. Este factor se relaciona con el contacto o grado de cercanía (localización) que tendrá el elemento o sistema a la zona que pueda trazarse como de influencia negativa por la expansión o propagación de las particularidades del fenómeno potencialmente dañino. La zona de exposición será determinada por la región de extensión del fenómeno amenazante.

Por tanto, en términos matemáticos, la vulnerabilidad se expresa y puede evaluarse considerando la siguiente relación:

$$V = E * F$$

Dónde: V – vulnerabilidad del elemento expuesto a la acción de un evento o fenómeno determinado, E – grado de exposición del elemento, F – fragilidad del elemento. C - capacidades instaladas.

Cabe señalar que los elementos expuestos pueden dividirse en cuatro grupos básicos:

- Elementos corporales. Corresponden a las personas o habitantes expuestos en la zona de amenaza. Deben ser los de mayor importancia al evaluar las condiciones de del riesgo y tomar las decisiones para su

reducción o mitigación. Por tal razón es fundamental contar un censo actualizado de los habitantes de la zona, contando con el conocimiento dinámico de éstos, es decir, migraciones e inmigraciones (INGEOMINAS-CVC, 2001).

- Elementos estructurales. Representan elementos materiales que a su vez pueden dividirse en: *construcciones* (viviendas, edificaciones), *redes* (vías, conducciones, líneas y acequias) (INGEOMINAS-CVC, 2001).
- Elementos funcionales. En esta categoría se consideran todas aquellas de tipo económico y no económico que son susceptibles de ser perturbadas por determinado tipo de proceso en la posible zona de afectación (INGEOMINAS-CVC, 2001). En este grupo se evalúan actividades agrícolas, comerciales, industriales, entre otras.
- Elementos ambientales. Corresponden a todos los elementos en el territorio que pueden ser afectados por un proceso; pueden ser generalizados como los aspectos del medio ambiente que agrupa los del componente abiótico (cuerpos de agua superficial o subterránea, aire, suelo y paisaje) y biótico (recursos de flora y fauna).

Para Cardona (1993), “elementos expuestos o elementos bajo riesgo son los contextos social y material, representados por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la ocurrencia de un evento, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza”.

- Fragilidad

Está asociada directamente con la debilidad de una persona o comunidad al verse afectada por una situación en particular.

"La fragilidad está referida al nivel de resistencia y protección frente al impacto de un peligro o amenaza, es decir las condiciones de desventaja o debilidad relativa de una unidad social por las condiciones socioeconómicas" (MEF & GTZ, Óp. Cit).

- Capacidades

las capacidades se entienden como todas aquellas acciones, actividades propias o externas que voluntarias o involuntariamente desarrolla un elemento o individuo para reducir la condición de vulnerabilidad. Estas capacidades son los medios por los cuales las personas u organizaciones que utilizan los recursos y fortalezas disponibles hacen frente a las consecuencias adversas que podrían conducir a un desastre.¹⁰ Sin embargo, Calvo (2001), plantea que la elección e implementación de medidas técnicas de defensa puede también considerarse como factor de

¹⁰COMUNICACIÓN PERSONAL con Elkin de Jesús Salcedo, Director de la monografía y profesor de la Universidad del Valle. Santiago de Cali, noviembre 10-20 de 2016.

vulnerabilidad. Ante todo porque pueden no existir o ser mínimos; pero en el caso de que los haya porque pueden ser adecuados o no a la función defensiva que se les atribuye, incluyendo la posibilidad de un diseño desafortunado, que los convierte a ellos mismos en causa o amplificador del desastre.

Algunos autores consideran el concepto de resiliencia como componente de la vulnerabilidad

La normativa colombiana ley 1523 del 2012 define la vulnerabilidad como “la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos”. En otras palabras la vulnerabilidad se relaciona directamente con la calidad de vida, pues esta es intrínseca al individuo.

2.1.4) MOVIMIENTO EN MASA O DESLIZAMIENTO DE TIERRA.

Los movimientos en masa o también llamados fenómeno de remoción en masa, pueden ser definidos como "todo un desplazamiento hacia abajo (vertical o inclinado en dirección del pie de una ladera) de un volumen de material litológico importante, en el que el principal agente es la gravedad". Moncayo *et. al.* (2001),

Los movimientos de ladera, o masa de terreno que se desploma debido a la fuerza gravitatoria, son movimientos que suelen aparecer asociados a otro tipo de procesos catastróficos, como los terremotos o las lluvias extraordinarias. También, se relacionan con procesos morfológicos que no incluyen riesgo necesariamente, como puede ser la erosión fluvial y por supuesto la acción antrópica en menor o mayor importancia, tiene un papel de primer orden el carácter de los materiales y en particular su sensibilidad a procesos de meteorización química o física. Los elementos que permiten definir el grado de peligrosidad de un deslizamiento de terreno son, la velocidad del fenómeno y la superficie afectada (Calvo, 2001).

Los materiales pueden moverse por caída, derribo, deslizamiento, extensión o fluido. La Figura 10 muestra una ilustración gráfica de un deslizamiento de tierra, con la terminología que describe sus características (USGS, 2004). Esta enseña las características de la composición de un deslizamiento del suelo, donde:

El escarpe principal, es una superficie con mayor inclinación a lo largo del área del movimiento, causado por el desplazamiento de material al exterior de terreno original; formando la superficie de falla. El escarpe secundario es una superficie inclinada producida por los desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve. La cabeza, es la parte inicial del material movido. La cima, es la parte más alta entre el material movido y el escarpe principal. La corona, es el material encontrado en la parte más alta del escarpe principal, que se encuentra inalterado. La superficie de falla, es el área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El pie de la superficie de falla, es la línea de intercepción en la parte superior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno. La base, es área cubierta por el material perturbado. La punta, es la parte en la base más

lejana de la cima. Costado, es el perfil lateral del movimiento. El flanco derecho indica que el deslizamiento se dio en origen derecho geográficamente ubicado respecto a la corona hacia el pie (García, 2008).

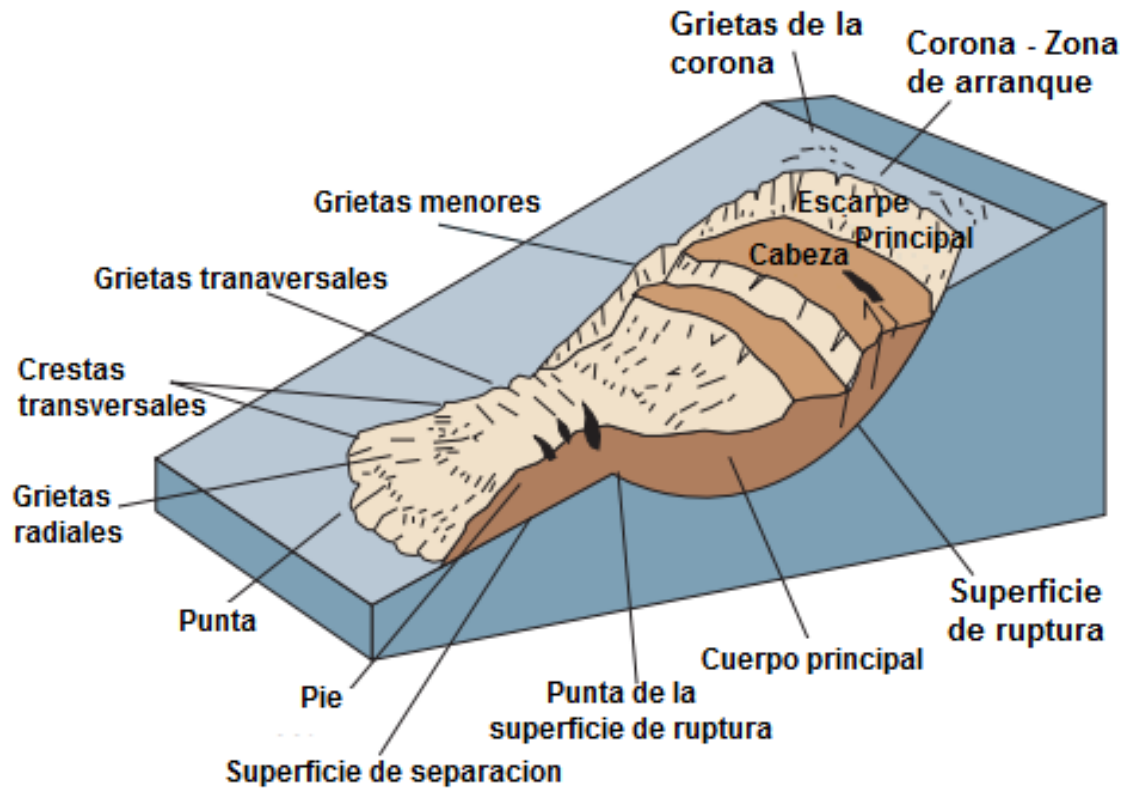


Figura 10. Características geomorfológicas de los movimientos de tierra

Fuente: USGS, 2004. An idealized slump-earth flow showing commonly used nomenclature for labeling the parts of a landslide. En línea <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>. 30 de marzo de 2017.

Los movimientos en masa también se clasifican según el mecanismo de ruptura y propagación del movimiento como se indica en la Figura 11

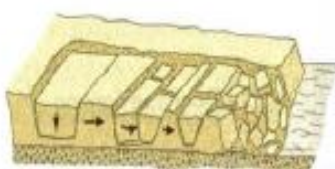
Deslizamientos Rotacionales	 		
	Suelos	Rocas	
Deslizamientos Traslacionales	 		
	Suelos	Rocas	
Flujos			
	Suelos	Derrubios	Bloques rocosos
Desprendimientos	 		
	Rocas	Suelos	
Vuelcos			
	Rocas	Derrubios	
Desplazamientos Laterales			
	Suelos	Bloques rocosos	

Figura 11. Clasificación general de los movimientos de ladera

Fuente: Tomado de Gonzales de Vallejo *et. al.*, 2002 pág. 624

Los tipos de movimientos en masa también se clasifican por el material como se indica en la Tabla 3

Tabla 3. Tipos de movimientos en masa según el material

Tipo de movimiento		Tipo de materiales	
		Predominantemente grueso	Predominantemente fino
Caídas		Caída de detrito	Caída de tierra
Volcamientos		Volcamiento de detrito	Volcamiento de tierra
Deslizamiento	Rotacional	Hundimiento de detritos	Hundimiento de tierra
	Traslacional	Deslizamiento de bloques de detritos	Deslizamiento de bloque de tierra
Propagación lateral		De detritos	De tierra
Flujo		Flujo de detrito	Flujo de tierra
		Reptación	
Movimientos complejos		Combinación de dos o más movimientos	

Fuente: Adaptada de USGS (2004)

Para alcanzar los objetivos propuestos se decide realizar la evaluación de la Susceptibilidad a movimientos en masa, donde (Soldano, 2009) señala que "la susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda sobre determinado espacio geográfico". Es aquello que está potencialmente dispuesto a modificarse o evolucionar ante eventuales circunstancias naturales o antrópicas (Martínez y Rodríguez, 1998). A su vez Suarez (1998) menciona que "la susceptibilidad generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno; topografía, geología y geotecnia principalmente". Por tanto, la susceptibilidad a procesos de remoción en masa, "se define como el grado de fragilidad o propensión de un terreno a generar procesos de este tipo definida a partir de la evaluación de las características intrínsecas del terreno" (Tchemodanova, 1998). Es de destacar que el concepto de susceptibilidad, no considera la probabilidad temporal ni la magnitud de los movimientos en masa esperados (Guzzettiet *al.*, 2009). La expresión representativa de esta es el mapa de susceptibilidad.

2.1.5) MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

Los primeros mapas de susceptibilidad del terreno hacen parte de las publicaciones del Servicio Geológico de los EE.UU., iniciándose a partir de los años 70 (Varnes, 1984). En ellos se representa la distribución espacial de factores asociados con la inestabilidad en áreas propensas a movimientos de ladera sin implicaciones temporales.

El mapa de susceptibilidad “es un mapa en el cual se zonifica las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, la cual es obtenida de un análisis multivariable entre los factores que pueden producir deslizamientos”(Suárez, 1998). Es decir, “clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable. Muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad” (Suárez, 2009). Estos mapas pueden ser usado como un modelo predictivo de la localización de futuros movimientos en masa

2.1.6) FACTOR DE SEGURIDAD

Usualmente la estabilidad del talud (factor de seguridad), es definida como la relación entre la máxima resistencia del material del talud al corte y la carga gravitacional del centro de masa; la máxima resistencia está en función de la resistencia del suelo del talud y puede expresarse como la integración del esfuerzo cortante por el área de la superficie deslizante (Coral, 2002).

Basados en el método del equilibrio límite, la determinación del factor de seguridad “consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), calculada según el criterio de rotura de Coulomb: De tal comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad” expresado de la siguiente forma (Geostru, s.f):

$$F = T_f / T \quad (9)$$

F = factor de seguridad

T_f = resistencia disponible

T = tensión de corte

Entre los métodos del equilibrio hay algunos que consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman) mientras que otros, por falta de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas y consideran el equilibrio de cada una (Fellenius, Bishop, Janbú, etc.)” (Ibíd.).

2.2) MARCO LEGAL

En este marco se menciona la normativa vigente en torno a la gestión del riesgo de desastres.

El Gobierno colombiano incluyó en su legislación el tema de los desastres naturales a partir de la ocurrencia de eventos catastróficos de origen geológicos como lo fueron el deslizamiento de Quebrada Blanca en 1974, el maremoto de Tumaco y el Charco en 1979, los terremotos de Caldas para ese mismo año, el terremoto de Popayán en 1983 y la erupción del Nevado del Ruiz en 1985, (Vargas Cuervo, 1999)

2.2.1) NIVEL INTERNACIONAL

En el año 2005, se llevó a cabo la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, celebrado en Japón (Kobe, Hyogo), conferencia en la cual se aprobó el Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015, la cual fue considerada como “la oportunidad excepcional para promover un enfoque estratégico y sistemático de reducción de la vulnerabilidad a las amenazas, peligros y los riesgos que éstos conllevan. Puso de relieve la necesidad de lo anterior y señaló los medios para aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres” (ONU, 2015).

Dicho marco de acción para el decenio 2005 - 2015 tuvo que sustentarse en lo definido en “La Estrategia de Yokohama para un mundo más seguro: directrices para la prevención de los desastres naturales, la preparación para casos de desastre y la mitigación de sus efectos” y de su plan de acción (1994)¹¹.

Es importante resaltar dentro de las cinco prioridades del Marco de Acción de Hyogo - MAH, la relacionada con Reducir el riesgo: Reducir los factores básicos de riesgo a través de medidas de planificación territorial, ambiental, social y económica, dada su injerencia directa en temas alusivos al ordenamiento territorial¹².

2.2.2) NIVEL NACIONAL

En el año 1984 se establece el Código Colombiano de Construcciones Sismoresistentes (reemplazado por la Norma Colombiana de Construcciones Sismoresistentes de 1998, NSR-98 ahora NSR-10), después se emite la Ley 46 de 1988 que crea el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres (SNPAD), luego fue organizado por el Decreto 919 de 1989 planteando “la seguridad de los habitantes de las zonas urbanas ante los peligros naturales, estableciendo, la obligatoriedad a los municipios con la asistencia de las oficinas de planeación de levantar y mantener actualizado el inventario de las zonas que

¹¹NACIONES UNIDAS. *Marco de Acción de Hyogo para 2005 – 2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres*. Internet: (<http://www.unisdr.org>).2005

¹²Ibíd.

presentan altos riesgos para la localización de asentamientos humanos (inundación, deslizamiento) y adelantar programas de reubicación de los habitantes o proceder a desarrollar las operaciones necesarias para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas"; la anterior soporta la Ley 09 de 1989 de Reforma Urbana ésta indica "la necesidad de reubicar asentamientos de zonas de alto riesgo, con fines de prevención de desastres, por parte de las autoridades municipales", esta fue modificada a su vez por la Ley 02 de 1991, la cual plantea "La obligatoriedad a los municipios a través de las oficinas de Planeación de levantar y mantener actualizado el inventario de las zonas que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos (inundación, deslizamiento). El Decreto 919 de 1989 fue derogado por la Ley 1523 de 2012.

Las reformas introducidas en la Constitución Política en el año 1991 entran a convertirse en pilar fundamental para el afianzamiento de las políticas públicas que inciden directamente en la prevención, atención y mitigación de desastres, ahora gestión del riesgo.

La ley 99 de 1993, Ley del Medio Ambiente, en el numeral 10 del artículo 65, establece que los municipios deben promover y ejecutar proyectos de prevención de desastres, especialmente contra las inundaciones.

En 1994 la ley 152, traza normas en cuanto a los procedimientos y mecanismos para la elaboración, aprobación, ejecución de seguimiento, evaluación y control de los planes de desarrollo nacional y territorial. Luego con la ley 400 de 1997 se reglamenta las construcciones sismoresistentes planteando como objetivo en su artículo 1 "criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar su resistencia a los efectos que éstas producen, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos".

Posteriormente, la ley 388 de 1997 y el Decreto Reglamentario 879 de 1998, entran a regular el ordenamiento territorial en el país definiendo el plan de ordenamiento territorial (POT), donde se abordan asuntos relacionados con la conservación y protección del medio ambiente y la prevención de amenazas y riesgos naturales; haciendo especial énfasis en las obligaciones que debe cumplir cada municipio según su categoría en cuanto a la gestión de riesgo de desastres. Para el caso del municipio de Santander de Quilichao, que presenta como instrumento de planificación territorial el PBOT, Plan Básico de Ordenamiento Territorial, debe cumplir con las siguientes exigencias según la ley 388 de 1997:

Artículo 16. Contenido de los PBOT

Componente general:

El inventario de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales o por condiciones de insalubridad.

Componente urbano:

La delimitación de las áreas de conservación y protección de los recursos naturales, paisajísticos y de conjuntos urbanos, históricos y culturales, de conformidad con la legislación general aplicable a cada caso y las normas urbanísticas que los complementan, así como de las áreas expuestas a amenazas y riesgos naturales.

La estrategia de mediano plazo para el desarrollo de programas de vivienda de interés social, incluyendo los de mejoramiento integral, la cual incluir las directrices y parámetros para la definición de usos para vivienda de interés social, tanto en suelos urbanos como de expansión urbana, y el señalamiento de los correspondientes instrumentos de gestión; así como los mecanismos para la reubicación de los asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo para la salud e integridad de sus habitantes, incluyendo lo relacionado con la transformación de las zonas reubicadas para evitar su nueva ocupación

Componente rural:

El componente rural establecerá por lo menos las mismas previsiones indicadas para el Plan de Ordenamiento Territorial.

Mientras que el Decreto 879 de 1998, mediante el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial, plantea como exigencias para los PBOT, en cuanto a la gestión del riesgo de desastres, lo siguiente:

Artículo 13°.- *El componente general de los Planes Básicos de Ordenamiento Territorial (...)* Señalarán los objetivos estrategias territoriales de mediano y largo plazo que permitan localizar acciones necesarias para aprovechar las ventajas comparativas y mejorar la competitividad del territorio municipal, y desarrollar un modelo de ocupación del territorio que posibilite identificar, delimitar y definir la localización.

Numerales 3. Áreas expuestas a amenazas y riesgos.

Artículo 14°.- *El componente urbano de los Planes Básicos de Ordenamiento Territorial (...)* deberá identificar, señalar y delimitar en forma detallada, por lo menos la localización de los siguientes aspectos **Numeral 3.** Áreas expuestas a amenazas y riesgos.

Artículo 15°.- *El componente rural de los Planes Básicos de Ordenamiento Territorial(...)* deberá identificar, señalar y delimitar en forma detallada, por lo

menos la localización de los siguientes aspectos **Numeral 2** Áreas expuestas a amenazas y riesgos.

Los documentos CONPES 3318 y 3398 de 2004, autorizan a la Nación a gestionar créditos externos con la banca multilateral para financiar el Programa de Reducción de la Vulnerabilidad Fiscal del Estado, y del Distrito Capital frente a los desastres naturales respectivamente.

Posteriormente con la ley 1523 de 2012, se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Esta ley se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población.

El decreto 1807 de 2014, establece condiciones y escalas de detalle para incorporar la Gestión del Riesgo de Desastres en la revisión de mediano y largo plazo de un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) o en su formulación, definiendo: La incorporación de manera gradual de la Gestión del Riesgo en la revisión del POT o en la formulación de un nuevo POT. La delimitación y zonificación de áreas de amenaza asociadas a fenómenos de movimientos en masa, Inundación, Avenida torrencial, por último la precisión para que los municipios expuestos a amenazas por otros fenómenos naturales (sísmicos, volcánicos, tsunamis, entre otros) o de origen tecnológicos las evalúen con base en la información disponible y generada por las autoridades y sectores competentes.

Adicionalmente, el Plan Nacional de Desarrollo previsto para los años 2014 a 2018, rotulado como “Todos por un Nuevo País”, ha incluido dentro de las estrategias transversales y regionales, el *Crecimiento Verde*, en donde una de sus apuestas es lograr un crecimiento resiliente y reducir la vulnerabilidad frente a los riesgos de desastres y al cambio climático (Ley 1753 de 2015, Artículo 4).

3. CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL TERRITORIO

El municipio Santander de Quilichao, está localizado al norte del departamento del Cauca, entre los 3°0'30" latitud Norte y 76°29'2" longitud Oeste, con una extensión de 518 km² de los cuales 8.58 km² pertenecen al casco urbano y 509.42 km² al área rural, se encuentra a 97 km de la capital (Popayán) y a 45 km al sur de la ciudad Santiago de Cali, capital del departamento del Valle del Cauca (Alcaldía municipal de Santander de Quilichao). Limita al Norte con los municipios de Villarrica y Jamundí, al Sur con Caldono, al Oriente con Caloto y Jambaló y al Occidente con Buenos Aires (Figura 12).

El municipio está formado territorialmente por un área urbana o cabecera municipal, un centro poblado llamado Mondomo con carácter de corregimiento y seis centros poblados menores: San Antonio, El Palmar, La Arrobleda, San Pedro, Domingullo y Quinamayó. Con una población aproximada de 80.000 habitantes. Existen cuatro resguardos o cabildos indígenas y Cuatro Consejos comunitarios de comunidades Negras (PMGRD, 2016).

3.1) Aspectos físicos y ambientales

El municipio presenta una distribución de precipitaciones bimodal, dos periodos secos y dos de lluvias. La precipitación promedio anual es de 1.362 mm y una temperatura promedio mensual de 23,5 °C (IGAC, 2009).

Posee 4 unidades climáticas, templado húmedo, templado seco, frío húmedo y cálido seco.

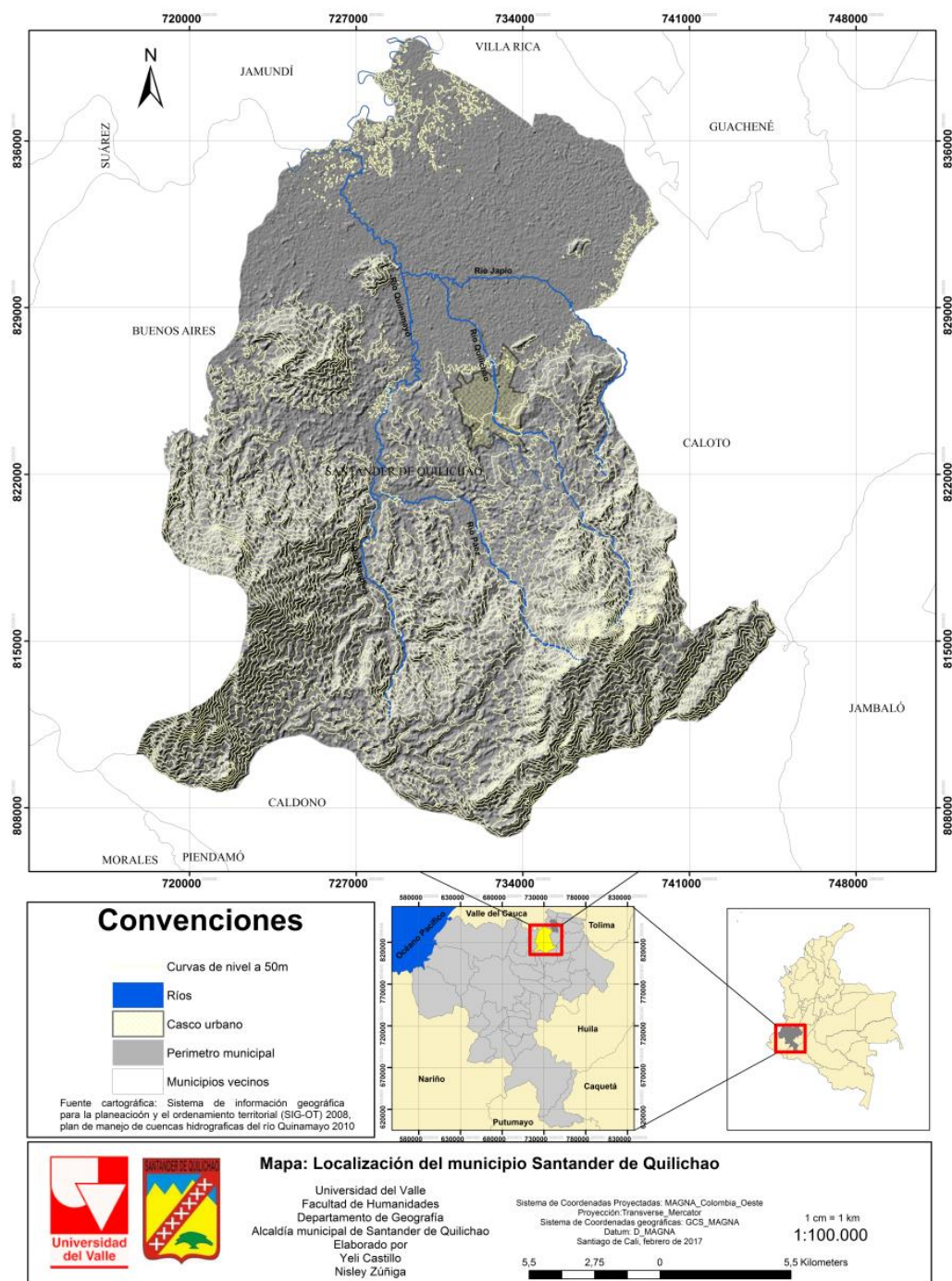


Figura 12. Localización municipio Santander de Quilichao
Fuente: Elaboración propia a partir de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial (SIG-OT) 2008, plan de manejo de cuencas hidrográficas del río Quinamayó 2010

3.1.1) Geología

Geológicamente está conformado por los tres tipos de rocas (Ígneas, sedimentarias y metamórficas), al igual que depósitos aluviales, coluviales, volcanoclásticos y fluviovolcánicos. El norte del municipio presenta rocas sedimentarias transicionales de la Formación Esmita y plutónicas del Stock tonalita del garrapatero del cuaternario; cubiertas por depósitos de cenizas volcánicas, aluviales y coluvialuviales; el Occidente está dominado por rocas sedimentarias del neógeno con afloramiento de rocas plutónicas del Stock de chapa y depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario; al Oriente predominan rocas metamórficas de bajo grado del cretácico y en un menor nivel rocas volcánicas de la formación Amaime con la presencia de rocas plutónicas del Stock de Munique; finalmente al Sur cuenta con depósitos de caída de cenizas de neógeno, depósitos coluviales, y la presencia de rocas metamórficas y plutónicas, Gómez et al (2015) (Figura 13).

La geología estructural hace parte del Sistema de Fallas de Romeral, el cual Carder (1998) citado por Toboada, Dimaté y Fuenzalida, (1998) define como:

Corresponde a una antigua sutura que pone en contacto rocas de afinidad oceánica al occidente con rocas continentales de basamento al oriente. En términos generales las fallas tienen dirección NNE al suroccidente de Colombia y NS a NNW hacia el norte de la cordillera. El movimiento actual de Romeral es predominantemente inverso, convergencia hacia el Valle del Cauca (Alfonso et al., 1994; Carder, 1998). Las tasas de actividad de los segmentos activos y potencialmente activos de Romeral oscilan entre moderada y baja, aun cuando varios sismos destructores han sido atribuidos a este sistema. Algunos de los principales segmentos activos y potencialmente activos de Romeral son (de sur a norte): Buesaco, Cauca-Almaguer, Silvia-Pijao, Guabas-Pradera, Quebrada Nueva, Manizales-Aranzazu y Espíritu Santo. En algunos sectores la disposición geométrica de las fallas corresponde a cabalgamientos imbricados convergencia al occidente, que derivan de uno o varios planos principales que se enraízan bajo la cordillera Central. El movimiento reciente de estas fallas presenta también una componente de rumbo que no está bien definida, al suroccidente parece lateral derecha, mientras que al norte tiende a ser lateral izquierda.

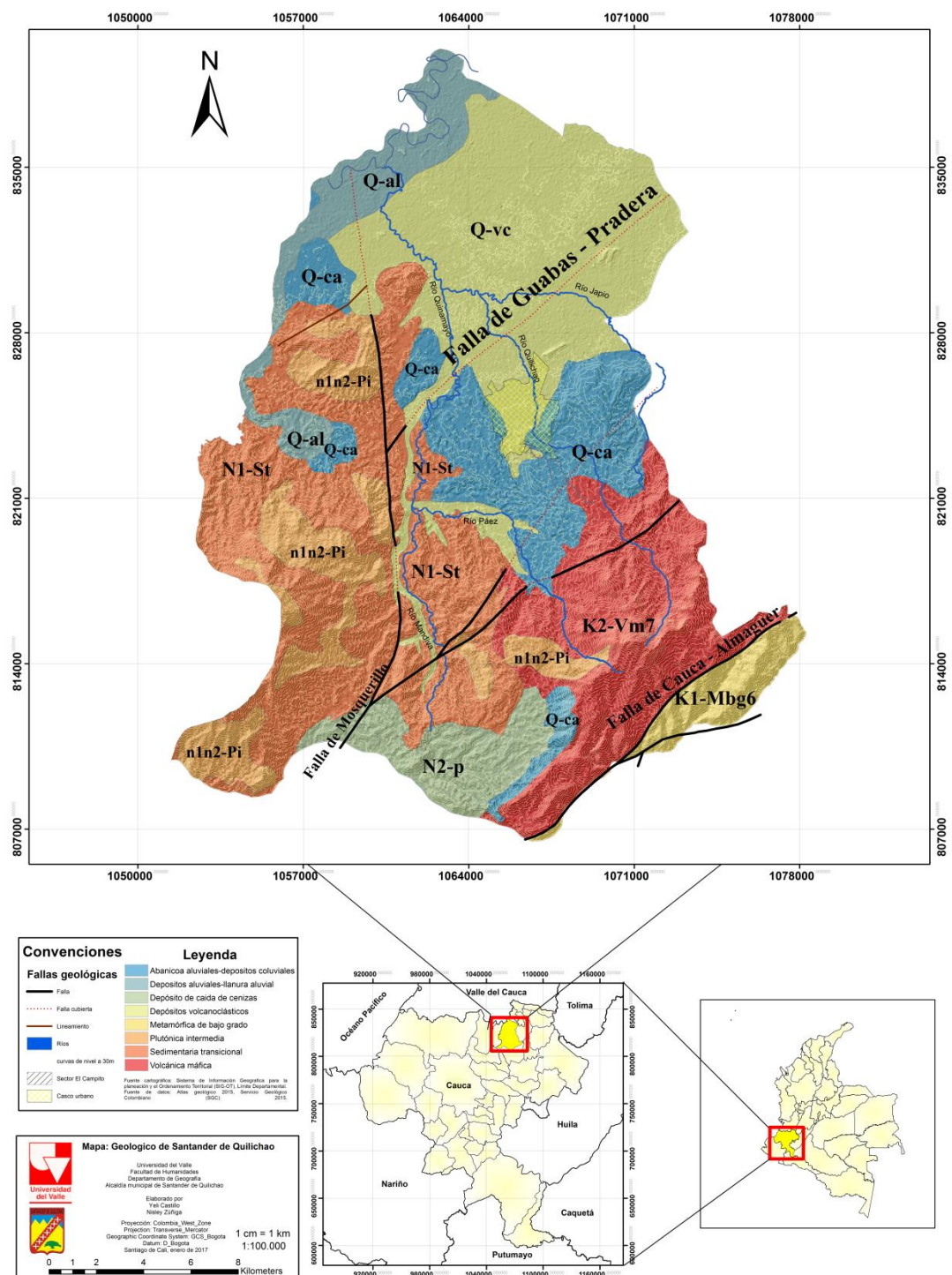


Figura 13. Mapa Geología de Santander de Quilichao.

Fuente: Elaboración propia a partir de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial (SIG-OT), Límite Departamental. Fuente de datos: Atlas geológico 2015, Servicio Geológico Colombiano (SGC) 2015

3.1.2) Geomorfología

El desarrollo geomorfológico de la región está condicionado por la litología, el tectonismo y los agentes denudativos, que dan como resultado las formas particulares del relieve. Entre las unidades geomorfológicas del municipio se encuentran: “lomas denudadas; su origen es relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial. Se caracteriza por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos, sierras; prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso”, abanicos aluviales, colinas residuales entre otros SGC (2015) (Figura 14).

3.1.3) Hidrología

A nivel nacional, el municipio forma parte de la cuenca hidrográfica del Alto Cauca, la cual está conformada por numerosos ríos y quebradas que se desplazan en su mayoría con dirección sur – norte (PBOT Caloto). A escala local está constituido por la subcuenca del río Quinamayó la cual posee un área de 29.340 hectáreas, inicia su recorrido en la parte alta a través de los ríos Quilichao y Páez, que nacen en el Cerro de Munchique (POMCA del Río Quinamayó, 2010). Sus tributarios son los ríos Quilichao, Mandivá, Páez y Japio, al igual que las quebradas: Agua Clara, Pozo Verde y San Francisco.

3.1.4) Suelo

Dentro de sus unidades climáticas (templado húmedo, templado seco, frío húmedo y cálido seco) se desarrollan diversas unidades cartográficas de suelos. El piedemonte de la cordillera Central cuenta con suelos profundos en clima templado húmedo, siendo de moderados a fuertemente ácidos, la zona montañosa presenta suelos originados por cenizas volcánicas y rocas ígneas cuya fertilidad es de baja a moderada; los planos de inundación y terrazas aluviales conservan un clima cálido seco, donde se desarrollan suelos con drenaje pobre y otros bien drenados, la fertilidad al igual que en el resto de unidades oscila entre baja y alta, generando para el 2002 un área cultivada de 18,9% del territorio municipal, (IGAC, 2009)

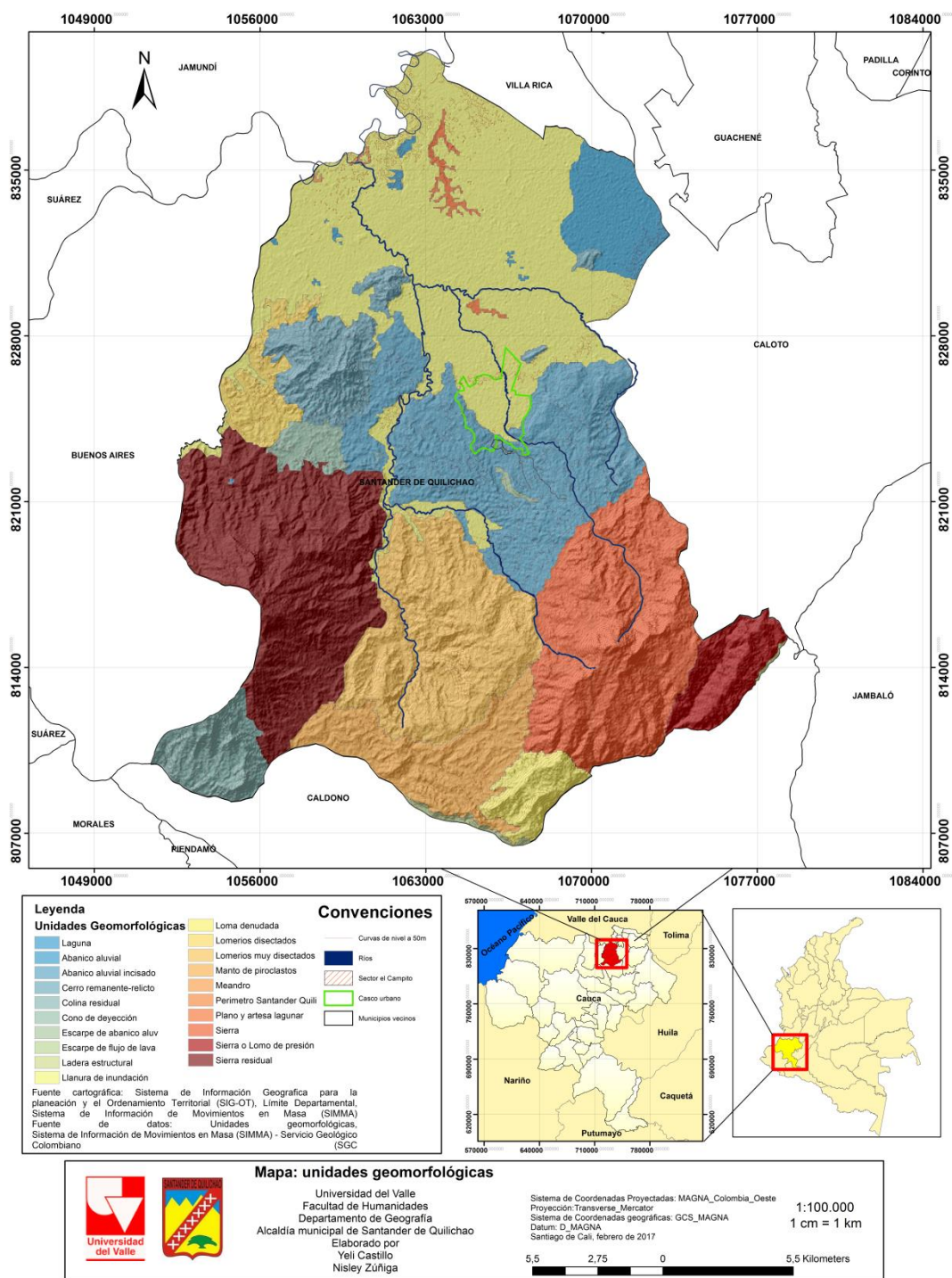


Figura 14. Mapa unidades geomorfológicas.
Fuente: tomado de Sistema de Información Geográfica para la planeación y el Ordenamiento Territorial (SIG-OT), Límite Departamental, Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) Fuente de datos: Unidades geomorfológicas, Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) - Servicio Geológico Colombiano (SGC)

3.2) Localización y descripción del área de estudio sector "El Campito".

El sector Campito se encuentra ubicado al sur del casco urbano del municipio, sobre el piedemonte occidental de la cordillera Central, limita al Norte con el barrio Canalón, al Sur - Occidente con Villa María, Occidente Fundación Nariño y al Oriente con la vereda Carbonero (Figura 15). Cubre una superficie aproximada de 0,21km² y una cota máxima de 1135 msnm y mínima de 1097 msnm, con base en el DEM, se identifican pendientes que varían de 0,01° a 22,58° (Tabla 4), formando una topografía de plana a ondulada (Figura 16). Este sector se compone de cinco asentamientos de desarrollo incompleto los cuales son: Nueva colonia I y II, Fundación Provienda la Magdalena, El Campito y Bajo Lourdes.



Figura 15. Límites del área de estudio

Fuente: Edición propia a partir de imagen de Google Earth 2016

Tabla 4. Cambios de altitud en el área de estudio

Elevación	
Cota máxima (msnm)	1135
Cota mínima (msnm)	1097
Altura promedio (msnm)	1116
Pendiente máxima (°)	22,58
Pendiente mínima (°)	0,01

Fuente: Extraído del Modelo de Elevación Digital, mediante el software ArcGis 10.2.2

La geología del "Campito" se compone por depósitos aluviales del cuaternario (Figura 17) posee un relieve ondulado, suelos originados de rocas sedimentarias y depósitos coluvio-aluviales; de profundos a moderadamente profundo, bien a moderadamente bien drenados, texturas moderadamente gruesas a finas, fuertemente ácidos a moderadamente alcalinos, erosión moderada a severa y fertilidad baja a alta (IGAC, 2009).

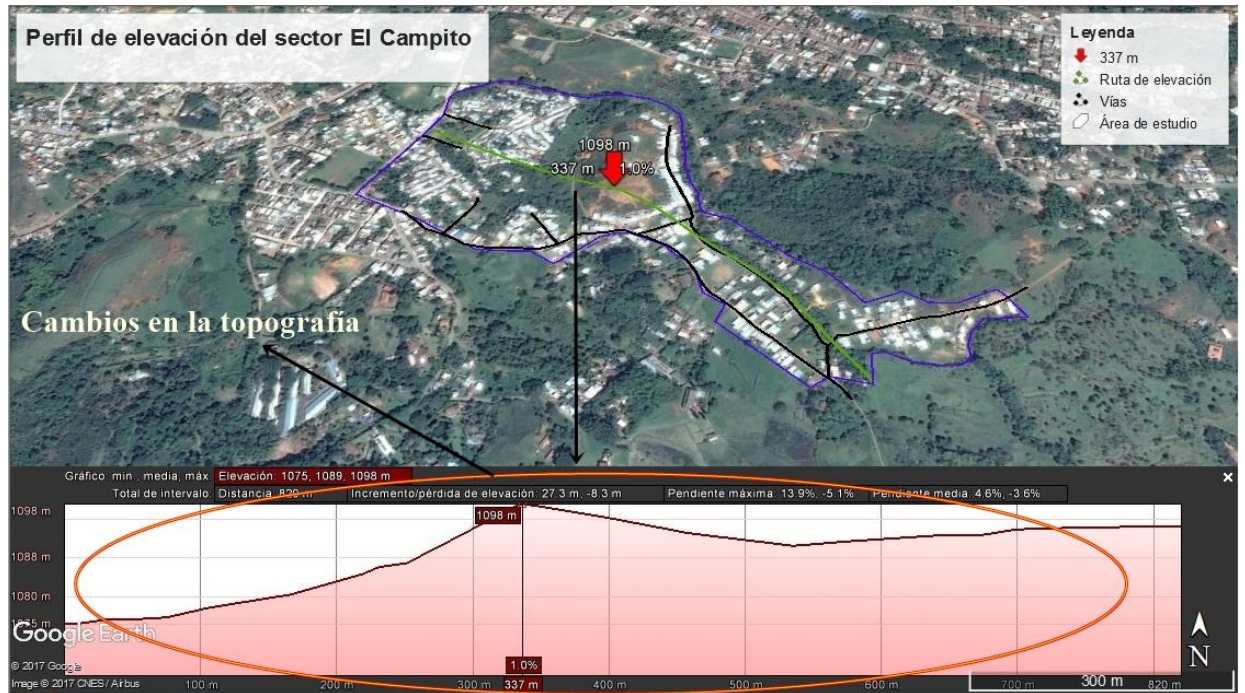


Figura 16. Perfil de elevación
Fuente: Google Earth Pro 2016

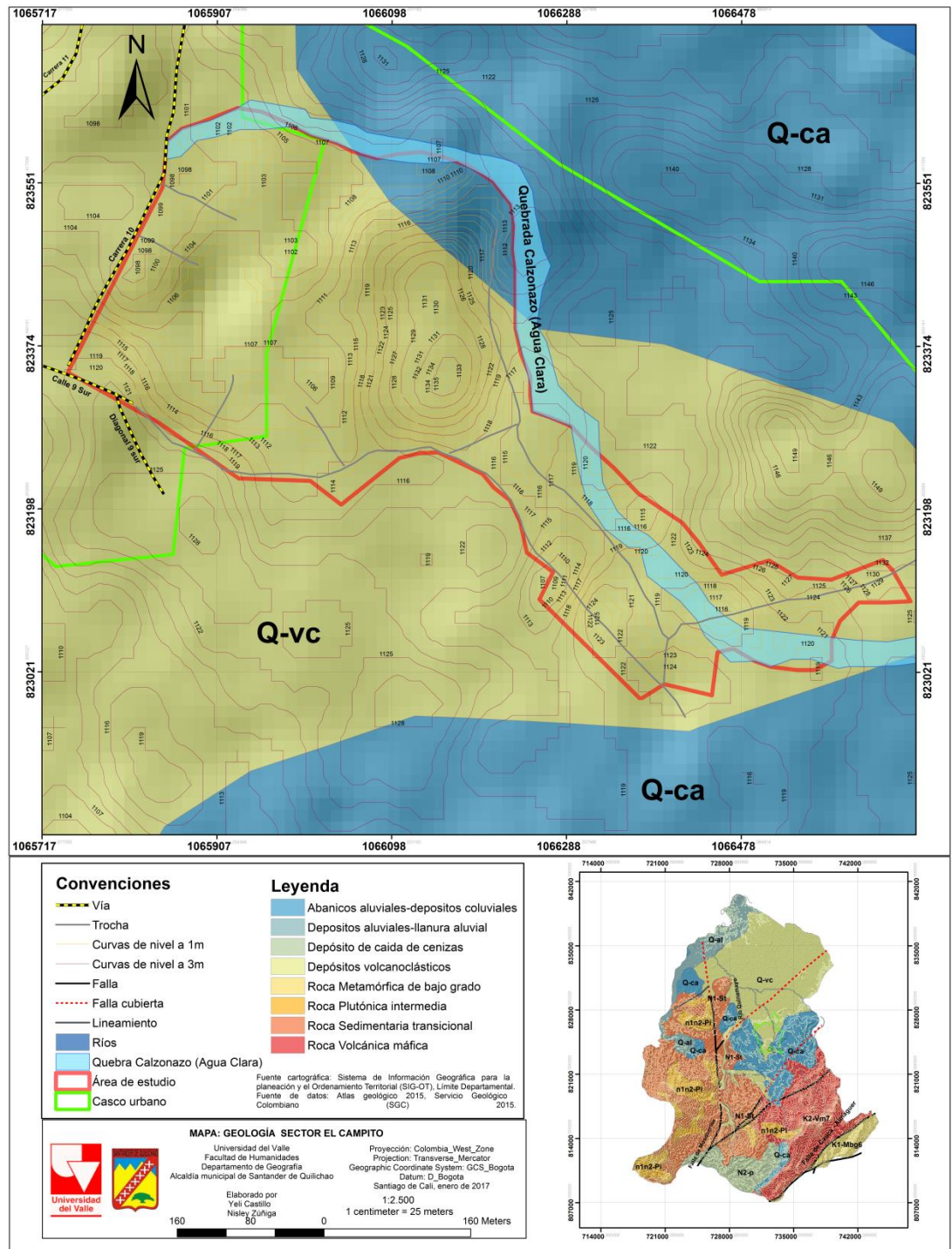


Figura 17. Mapa Geología sector El campito

Fuente: elaboración propia a partir del Sistema de Información Geográfica para la planeación y el Ordenamiento Territorial (SIG-OT), Límite Departamental. Fuente de datos: Atlas geológico 2015, Servicio Geológico Colombiano (SGC) 2015.

Los suelos hacen parte de la asociación PQA, conforma por suelos Typic Paleudults (50%); ubicados en la parte media de los abanicos antiguos, los cuales se han originado a partir de rocas sedimentarias mixtas que alternan con rocas ígneas, limitados por un horizonte argílico, suelos muy ácidos, con alta saturación de aluminio, y los Entic Hapludolls (50%)”(Figura 18). Estos se localizan en el ápice de los abanicos antiguos (Figura 19), al igual que los anteriores se originan de rocas sedimentarias mixtas que alternan con rocas ígneas, limitados por el nivel freático (superficial 127 cm) y sus texturas contrastan finas sobre gruesas (IGAC, 2009).

La hidrología del sector hace parte de la microcuenca de la quebrada Agua Clara, la cual tiene un área de 2.405 hectáreas (CRC. et. al, 2010).

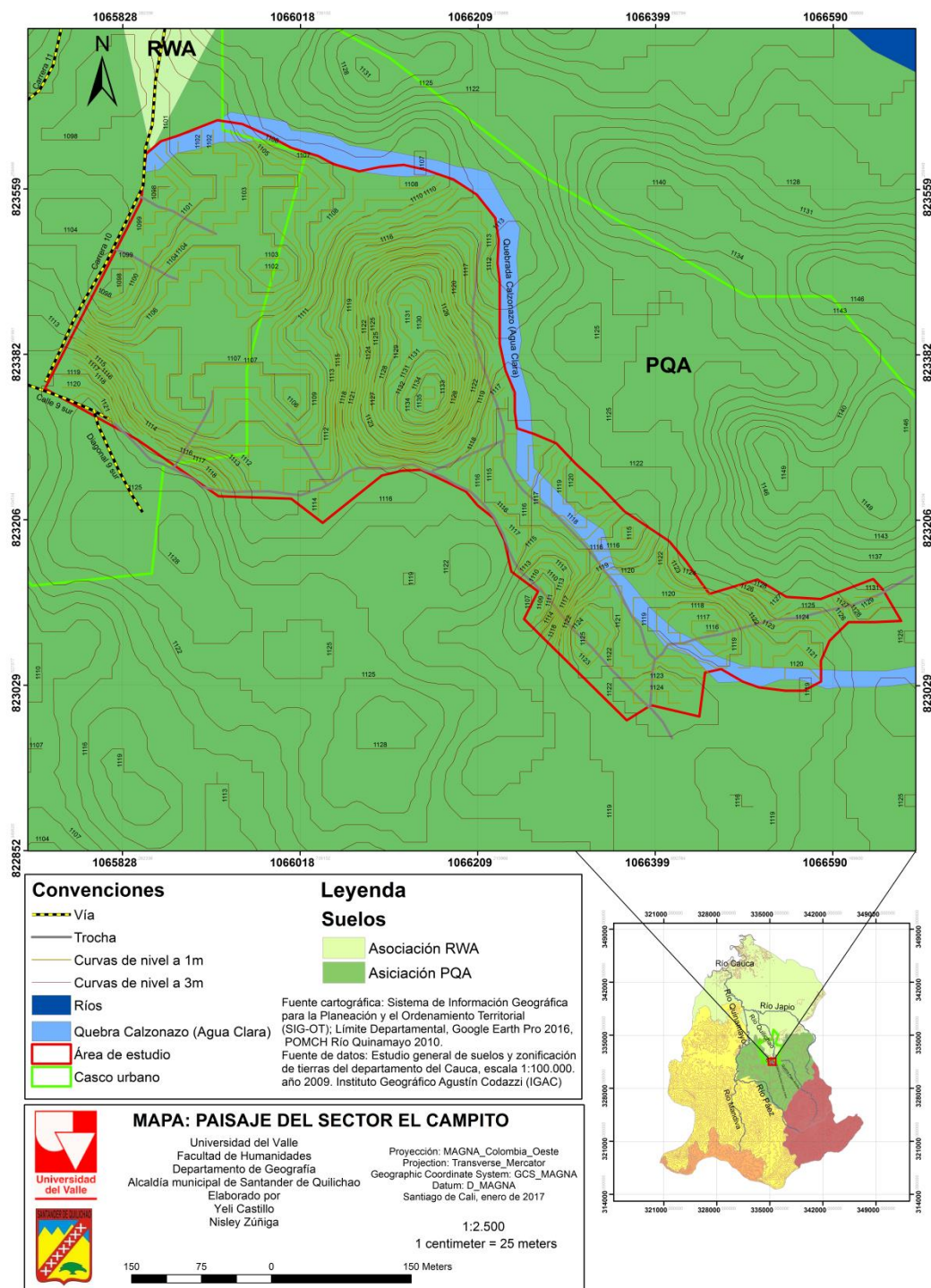


Figura 18. Suelos del área de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de Sistema de Información Geográfica para la planeación y el Ordenamiento Territorial (SIG-OT); Límite Departamental, Google Earth Pro 2016, POMCA Río Quinamayó 2010. Fuente de datos: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Cauca, escala 1:100.000. Año 2009. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

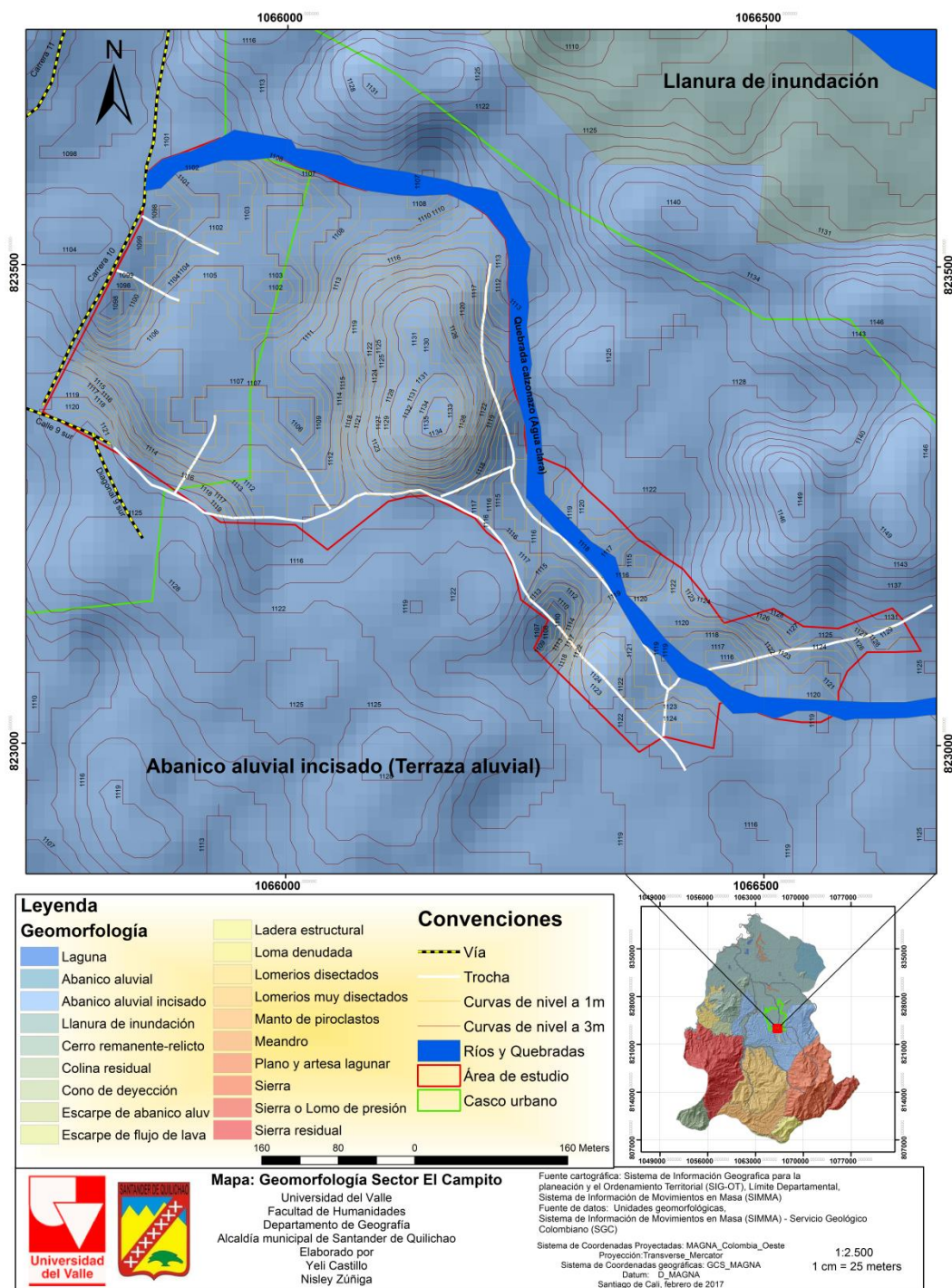


Figura 19. Mapa de geomorfología área de estudio

Fuente: elaboración propia a partir del Sistema de Información Geográfica para la planeación y el Ordenamiento Territorial (SIG-OT), Límite Departamental y el Atlas geológico de 2015, del Servicio Geológico Colombiano (SGC) 2015.

Descripción del entorno

Los pobladores declaran que más del 80% de los habitantes son desplazados víctimas del conflicto armado provenientes del departamento de Nariño, y sectores del departamento del Cauca, como Toribio, Tacueyó, Jambaló, Miranda, El Palo, Corinto, Mondomo, Argelia, Buenos Aires, Timba Cauca, El Bordo Patía, El Naya, Caloto, Mercaderes, Rosas y Caldonó.

El "barrio" El Campito actualmente cuenta con servicios públicos básicos prestados por la empresa municipal Emquilichao; energía, agua potable, alcantarillado, recolección de basuras (martes y jueves) y gas natural; los otros sectores como Las Colonias I y II, Fundación Provivienda la Magdalena y Bajo Lourdes, solo cuentan con servicio de energía y recolección de basuras (Figura 20), el servicio de gas se los proveen por pipetas (propano), el alcantarillado es rudimentario y todos los desechos van a depositarse en la quebrada Agua Clara (Figura 21).



Figura 20. Espacio para la recolección de basuras los días martes y jueves en el sector de las Colonias

Fuente: Elaboración propia



Figura 21. Alcantarillado rudimentario en los sectores de las Colonias y Fundación Provivienda la Magdalena.

Fuente: Elaboración propia

El acceso desde el casco urbano al sector "El Campito" es por la calle 10, el resto de las vías son trocha y se accede por la carrera 9 sur, cuenta con transporte formal, colectivo Tierra de Oro hasta las 6 pm y transporte informal (motos) (Figura 22).



Figura 22. Medios de transporte

Fuente: Elaboración propia

Los equipamientos se encuentran en el casco urbano, muy cerca al sector "El Campito", estos son: La Casa de Justicia, el Hospital Municipal, la Casa Consultoría; al igual que los centros educativos. La escuela más cercana está localizada en el barrio Jenezaret el cual limita con el sector.

4. CAPÍTULO IV. cálculo de la amenaza por movimientos en masa en el área de estudio

En esta etapa se identifica que tan posible es, desde una escala cualitativa, que se presente un fenómeno de movimiento en masa en el sector. Durante el proceso se visualizaron las variables a tener en cuenta para el cálculo de la amenaza las cuales se describen a continuación. Se parte desde la evaluación de la susceptibilidad. (Figura 23)

4.1) Evaluación de la susceptibilidad

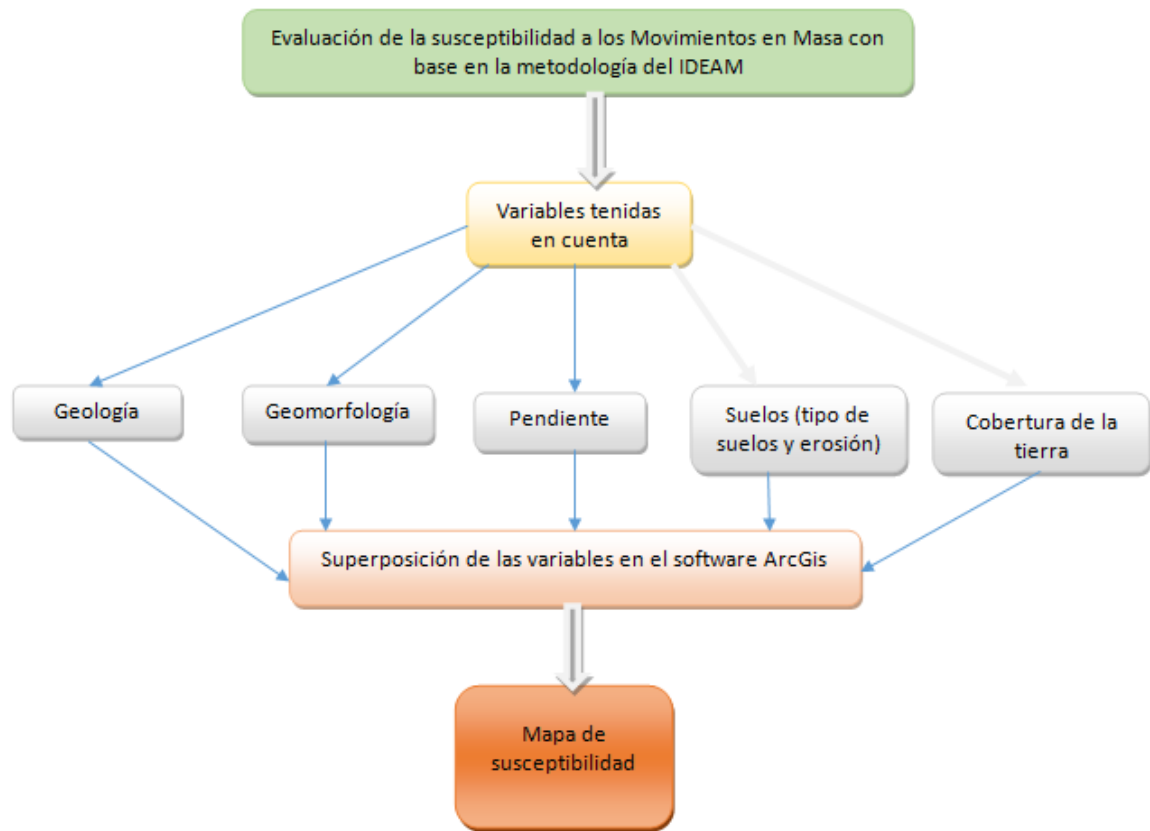


Figura 23. Diseño metodológico para la evaluación de la susceptibilidad

Fuente: Elaboración propia

Se realiza una breve explicación de cada una de las variables tenidas en cuenta para el cálculo de la susceptibilidad y se expresa cómo fue el procesamiento de las mismas.

4.1.1) Modelo Digital del Terreno

El modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo (INEGI, MEX). Estos valores están contenidos en un archivo tipo raster con estructura regular.

El modelo de elevación digital (Figura 24) se descargó de la página Alaska Satellite Facility, del Radar Alos Palsar, con resolución de 12,5 metros. Luego se llevó al Software ArcGis 10.2.2, donde se extrajo el contorno municipal, posterior a ello, mediante la herramienta contorno, se procedió a elaborar las curvas de nivel a 1 y 3 metros para el Sector el Campito y a 50 metros para el perímetro municipal. La variable pendiente se obtuvo a partir del procesamiento “definida como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal; es decir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje” (IDEAM, 2012). **La pendiente** (Figura 25) como una medida del cambio en la superficie incrementa la velocidad del flujo de agua superficial, reduciendo su resiliencia y así, la tasa de infiltración potencial del suelo en las partes elevadas del terreno (Peralta *et al.*, 2013). La pendiente está muy relacionada con la aparición de los movimientos en masa al ser el principal factor geométrico que aparece en los análisis de estabilidad (IDEAM, *óp. cit.*).

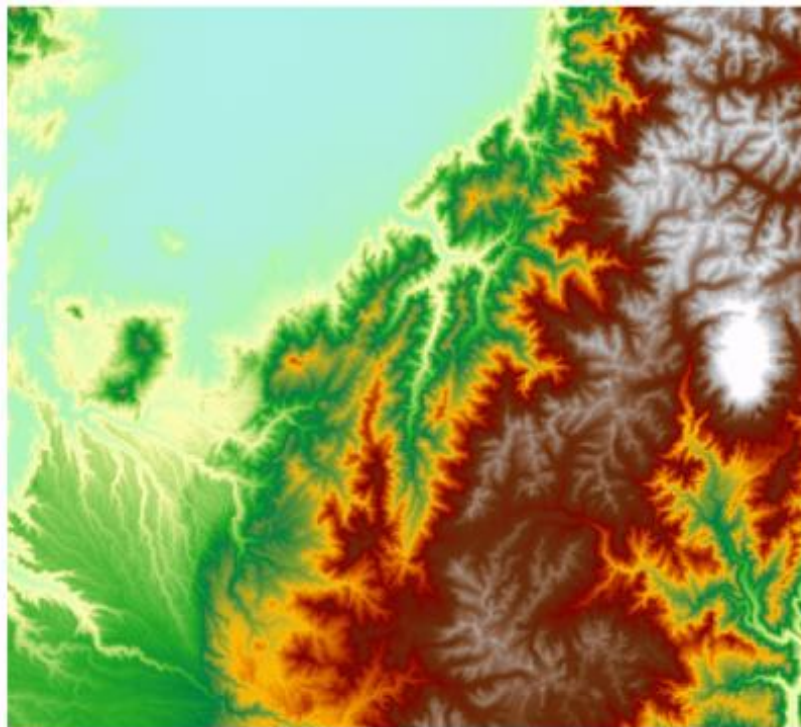


Figura 24. Modelo Digital de Elevación DEM para el área de estudio
Fuente: Radar Alos Palsar

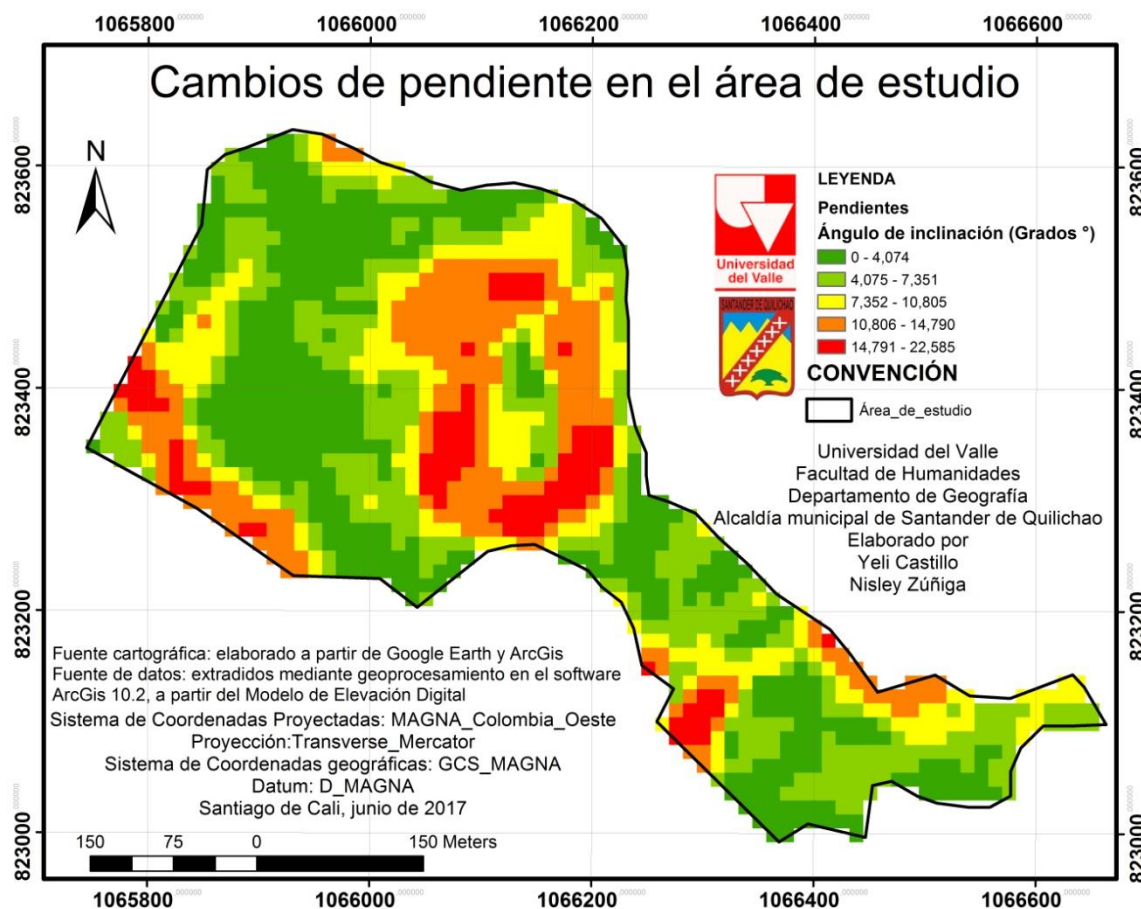


Figura 25. Mapa de cambios de pendiente en el área de estudio

Fuente: Elaboración propia en el software ArcGis 10.2, a partir del Modelo de elevación digital.

4.1.2) Geología

Esta variable brinda información litológica, cronoestratigráfica, características de las rocas y suelos en el área de estudio, “Quizás es la base más importante para poder establecer las unidades a tener en cuenta en la distribución de los diferentes tipos de materiales a lo largo del territorio colombiano. Cada uno de estos materiales presentan propiedades intrínsecas y ofrece diferentes respuestas ante los agentes que actúan para su alteración y así determinar la susceptibilidad de cada uno de ellos a que se produzca un movimiento en masa”(IDEAM,2012). La información se obtuvo de Servicio Geológico Colombiano (SGC) a escala municipal, en formato vector, de ella se logró la capa de unidades cronoestratigráficas y la descripción de las mismas; con la capa de unidades cronoestratigráficas junto con información bibliográfica del libro ciencias de la tierra (Tarbuck y Lutgens, 2005), se reclasificó la geología en unidades litológicas, para elaborar el mapa geológico del municipio y a su vez extraer la información del área de estudio.

4.1.3) Geomorfología

Representa información de la forma actual del relieve y sus procesos, destacando la morfogénesis y morfocronología, aunque también incluyen aspectos morfoestructurales (Van Zuidam, 1986, citado en Gómez, Carvajal y Otero, 2012), es decir, en este elemento se considera un insumo primordial para la homogeneización de las unidades con características de comportamiento geomecánico (SGC, 2015). Para tener la capa en formato digital de esta variable, se procedió a guardar la imagen obtenida de la plataforma SIMMA del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:50.000, una vez hecho esto se georeferenció y se crearon los polígonos correspondientes a cada unidad geomorfológica, las cuales posteriormente se convirtieron a formato raster.

4.1.4) Hidrología

Para adquirir esta variable, se tomó como base la cartografía del POMCA del río Quinamayó elaborado por la CRC y el estudio de usos del suelo hecho por la Oficina de Planeación Municipal. Se extrae la información y se procede a transferirla de formato DWG a SHP, la cual posteriormente es georeferenciada debido a que no poseía un sistema de coordenadas. Con la información del POMCA, se lleva a cabo la identificación de los ríos en el área de interés, creando polígonos que representen los datos faltantes y se unen en el software ArcGis mediante la herramienta Merger los polígonos que pertenecían a un mismo río y se encontraban separados, una vez hecho esto se etiquetó cada curso de agua con su respectivo nombre.



4.1.5) Suelo

Se procede a georeferenciar las planchas 320 y 321 del estudio general de suelos del departamento del Cauca realizado por el IGAC (abarcen el área de estudio), después se elaboran los polígonos correspondientes a cada unidad cartográfica de suelo y se le agrega la información respectiva, hecho lo anterior se procede a recortar el polígono correspondiente al Sector El Campito.

4.1.6) Uso del suelo y cobertura de la tierra

El uso del suelo representa las actividades que se desarrollan en el suelo, es decir, la utilización de la tierra por la humanidad, en contraste con el término **cobertura de la tierra**, el cual denota el carácter físico y biótico de la superficie terrestre, mientras el primero es estudiado en gran parte por los científicos sociales, el segundo es por científicos naturales (Meyer y Turner, 1992. 39).

La primera variable se obtuvo de la Oficina de Planeación Municipal, con esta no se pudo trabajar en el área de estudio, dado que esta área no contaba con información. La segunda se descargó de la Página del IDEAM, de aquí se observó que el sector denominado el Campito, está constituido por una parte urbana (sector de las Colonias) y otra rural (Figura 26). Una vez identificado lo anterior se procede a recortar el área de estudio, se georeferenció y posteriormente se

convierte a formato raster. Esta información se corroboró en múltiples salidas de campo, realizando un proceso de cartografía social, donde se les expone a los habitantes del sector el perímetro trazado, con la experiencia vivencial y reconocimiento del territorio de cada uno se da mayor precisión a la delimitación.

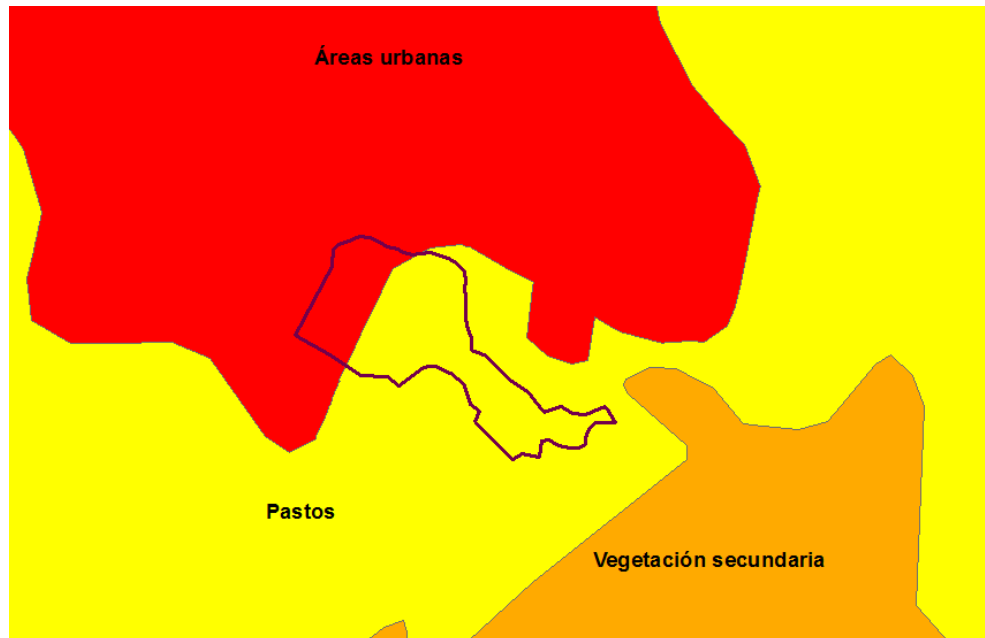


Figura 26. Cobertura del suelo área de estudio

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos extraídos del SIG-OT y Geoportal del IGAC

4.1.7) Precipitación

Se descargó el catálogo nacional de estaciones para el 2013 del Sistema Nacional Ambiental Colombiano (SIAC), este nos brinda información sobre el lugar donde se encuentran las estaciones, su estado actual y el tipo, después se bajaron los promedios climatológicos de 1981 a 2010 de la página del IDEM, para conocer la precipitación promedio. Una vez se extrae la información del sector, se procede a visualizarla y se elaboran Isoyetas, las cuales sirven para señalar la cantidad de lluvia aproximada en el área de estudio.

Posteriormente, se le da peso a cada una de las variables para el cálculo de la susceptibilidad y se asigna un porcentaje a cada una de ellas para la sumatoria (Tabla 5).

Tabla 5. Peso y ponderación de las variables

Variable	Valor (%)	Características	Peso	Grado de susceptibilidad
Cobertura de la tierra	17	Áreas urbana	3	Alta
		Pastos	1	Baja
Geomorfología	19	Abanico Aluvial	3	Alta
Pendiente	25	0° - 5°	1	Baja
		6° - 16°	2	Media
		> 17°	3	Alta
Geología	19	Depósitos volcanoclásticos	1	Baja
Suelos	20	PQAd	3	Alta
		PQAe3	3	Alta
Total	100			

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología del IDEAM, PBOT de Santander de Quilichao

Al tener la descripción de las variables se procedió a parametrizarlas por subclases en términos de susceptibilidad. Para ello se tomó como base el estudio realizado por el IDEAM en el 2012, el Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Santander de Quilichao y la metodología para el análisis de la vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá (2001). Primero, se le dan peso a las variables como se expresa en la tabla anterior, luego se convierten en formato raster todas las variables donde las capas se encontraban en formato vector, cada capa se multiplica por el valor porcentual asignado, a continuación se realiza la sumatoria de estas con el álgebra de mapas, al final se obtiene el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa en el sector "El Campito" (Figura 27). Lo anteriormente expuesto se procesa en el programa ArcGis.

Para fines de este trabajo la susceptibilidad se entiende como la predisposición o potencialidad de un terreno a que se presenten deslizamientos por sus características intrínsecas, a continuación se describe el nivel de susceptibilidad presente en el área de estudio:

Alta: indica áreas ubicadas en abanicos aluviales con pendientes mayores a 17 grados, conformada por depósitos no consolidados, en las cuales la tierra está cubierta por pastos y presenta erosión severa.

Media: señala áreas cubiertas por pastos con presencia de algunos predios, en pendientes entre 6 a 15 grados, no presentan erosión.

Baja: relaciona áreas localizadas sobre suelo urbano y pastos, cuyas pendientes son menores a 5 grados.

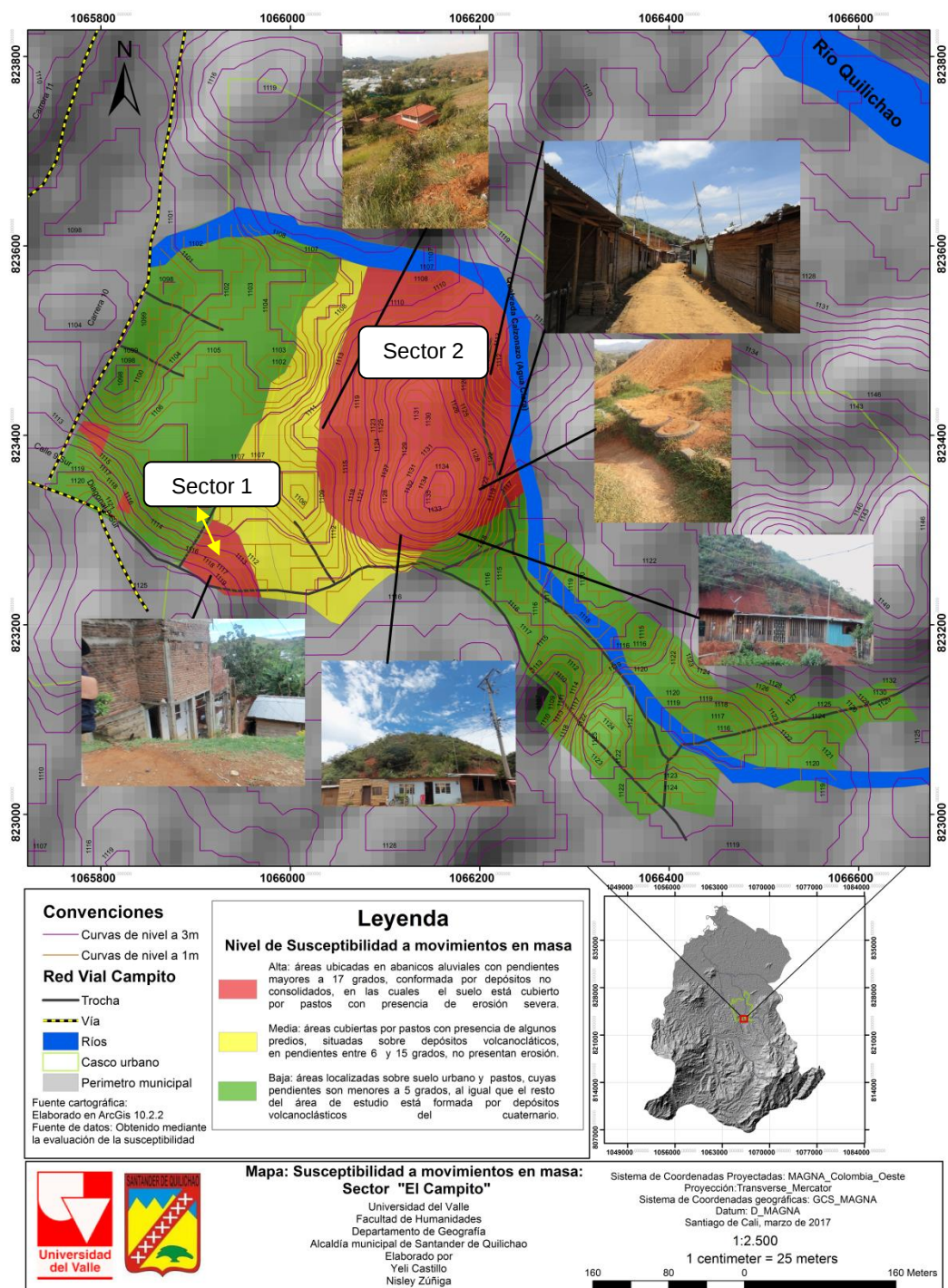


Figura 27. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en el sector El Campito

Fuente cartográfica: Área de estudio, elaborada por medio del reconocimiento en campo; La Quebrada, se obtuvo mediante la georeferenciación de la red hídrica del POMCA del río Quinamayó 2010; Imagen sector el Campito, extraída de Google Earth Pro, 2016. Fuente de datos: elaboración propia a partir del método heurístico en el Software ArcGis.

Los resultados del mapa de susceptibilidad indican que el sector 1 que hace parte del ingreso al barrio El Campito y el sector 2 que hace referencia al barrio Provivienda la Magdalena, junto con pequeños sectores de Nueva Colonia II, presentan susceptibilidad alta a deslizamientos de tierra.

Donde la susceptibilidad resulta alta en el sector 1 no se presenta evidencia tangible que indique condiciones críticas de afectación por movimientos en masa, pero se denota la intervención humana, el sector ha sido banqueado, aplanado por el trazo de la vía de acceso y las construcciones realizadas (Figura 28), lo que indica que en un futuro estos predios se pueden agrietar debido a que el terreno fue forzado a que se asentara de una manera no natural y posiblemente en periodos de lluvia o de actividad sísmica se presente una subsidencia. La información colectada para procesar la cartografía indica que las condiciones geológicas, geomorfológicas y topográficas del sector lo hace altamente susceptible a verse afectado por este fenómeno; y que por los cambios topográficos generados en el área, los habitantes del barrio vecino (Villa María) se pueden ver afectados, lo cual se puede identificar en los deslizamientos presentes en la parte trasera de los predios (Figura 29).



Figura 28. Sector 1 donde la susceptibilidad resulto alta
Fuente: Elaboración propia



Figura 29. Deslizamientos en el barrio Villa María al sector 1

Fuente: Elaboración propia

El segundo sector presenta susceptibilidad alta a movimientos en masa, en este anteriormente ya se habían presentado procesos de deslizamientos y afectaciones a la población, lo que permitió corroborar los resultados del mapa de susceptibilidad; por lo tanto, en este sector, por evidencias anteriores y por la cantidad de población presente, es donde se priorizará la evaluación de la amenaza.

Esta situación se ve agravada por la acción antrópica no planificada que conduce una mayor inestabilidad de la ladera como se muestra en la figura 30.



Figura 30. Sector 2 Fundación Provienda la Magdalena

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 31 se puede identificar la práctica inadecuada de terraceo en el sector con el fin de seguir construyendo en la parte alta de la ladera, la cual por sus condiciones naturales ya es susceptible a los deslizamientos, se denota que los esfuerzos realizados sobre el talud, activan pequeños movimientos de tierra que a largo plazo pueden causar daños mayores, el mismo corte que se está realizando genera mayor inestabilidad acelerando el proceso de deslizamiento; es decir, los pobladores con las prácticas no técnicas de construcción, aumentan cada vez la condición de riesgo.



Figura 31. Formas inadecuadas de terraceo para la construcción en el sector de Provivienda la Magdalena

Fuente: Ceidy Castillo y Nisley Zúñiga

El decreto 1807 del 2014 plantea que los estudios a detalle para la evolución de la amenaza se deben realizar en los lugares donde los resultados de la susceptibilidad manifiesten un nivel alto. Es decir para las áreas definidas como críticas en la evaluación de susceptibilidad: áreas de susceptibilidad media y alta. (Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas 2014).

4.2) Cálculo de la amenaza ante movimientos en masa

El análisis de amenaza a los deslizamientos en masa requiere de la modelación de interacciones complejas entre un número grande de factores parcialmente interrelacionados y de la evaluación de las relaciones entre varias condiciones del terreno y ocurrencia de deslizamientos.

Los movimientos en masa son el producto del debilitamiento progresivo de las propiedades mecánicas de los materiales de las vertientes por procesos naturales tales como meteorización, levantamientos tectónicos y actividades humanas que activan movimientos lentos, generalmente imperceptibles (Costa y Baker, 1981; Soeteres y Van Westen, 1996), sin embargo, un solo factor, comúnmente la precipitación o un sismo, es considerado como el estímulo externo que puede generar una respuesta casi inmediata de movilizar los materiales que conforman la ladera, sea por el rápido incremento de los esfuerzos o por la reducción de la resistencia (Wang y Sassa, 2006). De esta forma los factores que controlan la ocurrencia y distribución de los movimientos en masa pueden dividirse en dos categorías: las variables cuasi-estáticas o condicionantes y las variables dinámicas o detonantes. Las variables cuasi-estáticas, tales como las propiedades de los

suelos, la topografía contribuyen a la susceptibilidad de las vertientes y definen la distribución espacial de los movimientos en masa. En tanto, las variables dinámicas, tales como el grado de saturación del suelo y la cohesión controlan los factores detonantes de laderas susceptibles. La climatología, los procesos hidrológicos, y las actividades humanas controlan a su vez las variables dinámicas, y caracterizan el patrón temporal de los movimientos en masa (Crosta y Fratiini, 2003; Aristizábal, Martínez y Vélez, 2010).

Para el cálculo de la amenaza, se toma como base el mapa de susceptibilidad, sumado a ello en el software Slide se procede a determinar la estabilidad del talud en función de las propiedades geotécnicas del área de estudio y los detonantes de este fenómeno; para lo cual se toman las precipitaciones y la aceleración sísmica en el terreno. A continuación en la Figura 32, se presenta el diseño metodológico para el cálculo de la amenaza en el sector Provivienda la Magdalena.

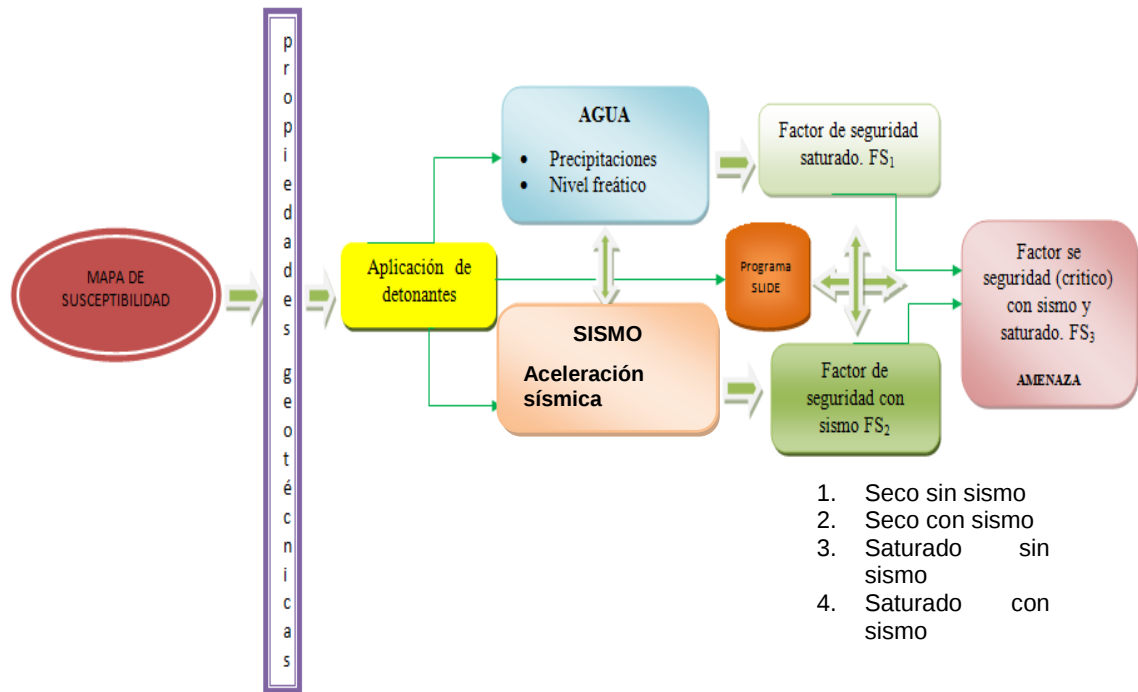


Figura 32. Diseño metodológico para el cálculo de la amenaza ante movimiento en masa

Fuente: Elaboración propia

4.2.1) Agentes detonantes de los movimientos en masa

“Los movimientos en masa constituyen una de las causas más frecuentes de desastres alrededor del mundo. Las pérdidas económicas asociadas son millonarias y aumentan debido a la expansión urbana sobre áreas montañosas de estabilidad precaria”(Aristizábal, Martínez y Vélez, 2010).

Pueden clasificarse según su agente detonante en: “sismotectónicos asociados a fallas geológicas e hidrológicos; aguas superficial o subterráneas, meteorológicos asociados a la presencia de vientos huracanados y altas precipitaciones, y antrópicos inducidos por las actividades humanas”(Vargas Cuervo, 1999).

Para los fines aquí expresados, se tendrán en cuenta los sismotectónicos y los de origen meteorológicos. los primeros: relacionados con la velocidad de la onda sísmica en el municipio con base en el estudio de amenaza sísmica a escala nacional (Se debe identificar la cercanía a fallas geológicas, volcanes y otras fuentes de energía sísmica y realizar un análisis de la sismicidad histórica para definir la intensidad de los fenómenos sísmicos que puedan activar deslizamientos. Existen algunos métodos para determinar el valor de las fuerzas y las aceleraciones sísmicas que permiten definir los valores diferentes de amenaza. Generalmente, se trabaja con un valor de sismo-aceleración, el cual se integra a los cálculos de estabilidad) y los segundos, de origen meteorológico relacionados con altas precipitaciones en el área de estudio durante el periodo 1978 al 2016, donde la información se obtuvo del IDEAM.

Se parte identificando los promedios y la precipitación en el área, se establece el nivel freático y posterior a ello se equipará la sismicidad histórica que representa al municipio de Santander de Quilichao. De esta manera, la búsqueda de información de terremotos históricos se realiza a partir del catálogo de Ramírez (1975).

4.2.2) Precipitación como detonante de los movimientos en masa.

Los procesos de remoción en masa tienen múltiples causas, tales como las condiciones geológicas, geomorfológicas y la intervención antrópica; sin embargo, un solo factor como la precipitación, es considerado el estímulo externo que puede generar una respuesta casi inmediata de movilizar los materiales que conforman la vertiente, sea por el rápido incremento de los esfuerzos o por la reducción de la resistencia (Aristizábal, Martínez y Vélez, 2010).

La lluvia puede actuar de dos formas diferentes en la estabilidad de las laderas (Figura 33): (1) eventos de lluvia muy intensos que causan una reducción de la resistencia al cortante por reducción de la cohesión aparente generando movimientos inicialmente superficiales y (2) eventos de lluvia de larga duración que causan el incremento en la presión de poros sobre una superficie de falla potencial generando movimientos de masa mucho más profundos y frecuentemente a lo largo de superficies de cizalla pre-existentes.

Los movimientos superficiales son usualmente detonados por lluvias cortas e intensas (Crosta, 1998), en tanto que los movimientos profundos están más

relacionados con la distribución y variación de la lluvia en periodos largos (Aleotti, 2004).



Figura 33. Causas de desestabilización

Fuente: Tomada de <https://es.slideshare.net/metuq/estabilidad-de-taludes-18624871>

Para establecer la precipitación crítica se procede a utilizar el método de distribución de Gumbel, con él, se identifica el periodo de retorno de grandes precipitaciones y la probabilidad de que un valor x pueda ser sobrepasado en n años (Tabla 6); debido a que no se contó con información detallada de las horas de lluvia, se toma el valor mensual y se extrae la intensidad de las mismas (Figura 34), con ello y el catálogo de deslizamientos que posee la base de datos de Desinventar, se procede a sacar el promedio de las lluvias de acuerdo al mes que ocurrió el deslizamiento, una vez obtenido esto se calcula la precipitación aproximada que puede detonar un movimiento en masa. Con lo anterior se obtiene que se requieren aproximadamente 16 mm por día para detonar este evento, para lo cual Anderson y Sitar (1995) señalan que los movimientos en masa detonados por lluvias, se caracterizan por su pequeño espesor (0,3-2 m).

Tabla 6. Periodo de retorno de máximas precipitaciones

Periodo de retorno	Probabilidad		Precipitación Max. Gumbel
	Se supera	No se supera	
2	0,50	0,50	92,4
3	0,33	0,67	100,9
5	0,20	0,80	110,5
10	0,10	0,90	122,5
20	0,05	0,95	134
50	0,02	0,98	149
100	0,01	0,99	160,1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el IDEAM

En la figura 34 se enseña la relación entre el volumen de lluvias vs los días, aquí se denota que una vez transcurre un año de gran intensidad lo sucede uno o dos en sentido decreciente, esto se presenta hasta el año 1996, donde se presentó una cantidad de lluvias significativas en poco tiempo.

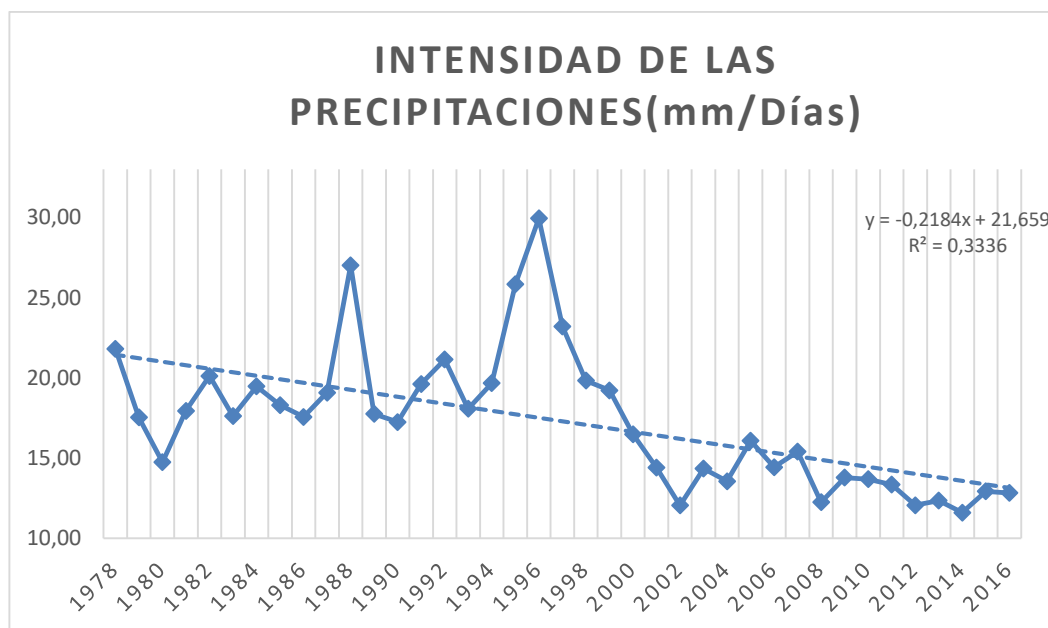


Figura 34. Intensidad de las lluvias periodo 1978-2016

Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el IDEAM

4.2.3) Nivel de agua máxima

“Corresponde al nivel en el cual la presión del agua en los poros es igual a la presión atmosférica. Al ocurrir lluvias acumuladas importantes, los niveles freáticos ascienden generándose una presión de poros relativamente permanente”. (Suarez, 2009).

Para esta investigación se trabajó con la información otorgada a través de entrevistas a los funcionarios de Emquilichao, quienes informaron que el nivel freático en el sector se encuentra a 80cm. Por otra parte se toma como referente el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Cauca (IGAC, 2009), el cual indica que los suelos del área de estudio se limitan por el nivel freático a 127cm, por tanto, se toman estos valores como referente y se trabajan de acuerdo a lo planteado por Mora (2000), varios modelos con niveles freáticos de 10cm - 50cm, entre 50cm -100cm y finalmente de 100cm - 150 cm. Lo anterior se hace con el fin de establecer cuáles son las condiciones mínimas de la napa de agua que puede detonar un deslizamiento. Además, se utilizará la ecuación que calcula el nivel máximo del agua del Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (2014) quien citando a Álzate (2012) y a Torres *et al* (2014) señala que “para determinar la tabla de agua en condiciones normales del área, se puede usar una correlación semi empírica de los diferentes factores que influyen en el proceso de infiltración de las aguas lluvias con base en la ecuación empírica”,

A continuación se plantea la ecuación

$$\text{Nivel de agua máxima (cm)} = \frac{1}{(3R+P+2A)+V} \times 100 \quad (10)$$

Para ello se tiene que:

El nivel del agua máxima (cm) corresponde al valor de Z_w que entra en la fórmula de cálculo del factor de seguridad.

R = Capacidad de carga y descarga de las rocas (Porosidad y Permeabilidad). Este valor se obtuvo de la tabla propuesta por Angelone, Garibay y Cauhapé (2006)

P = Valor de la Precipitación; este valor es variable y es el que permite junto con la aceleración sísmica generar los diferentes escenarios de evaluación de amenaza. Calculado a partir del método Gumbel y el programa R

A = Pendiente del terreno, obtenida a partir del procesamiento del MDE

V = Uso del suelo y cobertura vegetal, representado mediante el coeficiente de cobertura, dado por el IDEAM 2012

Una vez aplicada la ecuación se obtuvo que el nivel máximo de la tabla de agua en el sector se encuentra a 2,77 cm, esto indica que el nivel freático del área de estudio es superficial.

4.2.4) Sismicidad histórica regional

La sismicidad histórica permite determinar los efectos relevantes de los fenómenos sísmicos acontecidos en el país, los cuales están documentados desde el siglo XVI (SGC s.f). A su vez ayuda a establecer aproximaciones del retorno de grandes eventos de esta índole, permitiendo elaborar análisis y estudios.

En Santander de Quilichao se han registrado seis eventos significativos (Tabla 7). El más relevante se presentó en noviembre de 1979 con una Mw de 7,2; 25 años después se presenta un evento similar en el municipio.

Tabla 7. Sismicidad Histórica del municipio Santander de Quilichao

Fecha	Lugar	Coordenadas		Magnitud			Intensidad			Profundidad km	Interprete
		Latitud	Longitud	MS	MW	Mb	M	EMS-98	MM		
1566	Santander de Quilichao	3.00	-76.50	5.0			7				TPRG
1820-julio- 8	Santander de Quilichao	3.00	-76.48	4.5			6				TPRG
							7				UTLO
1979-NOV-23	Santander de Quilichao	4.79	-76.19		7.2	6.4	8			108	Servicio Geológico Colombiano
1983-mar-31	Santander de Quilichao	2.45	-76.67		5.7			6	7	12	Servicio Geológico Colombiano
1994-jun-06	Santander de Quilichao	2.99	-76.49		6.8			6	6	12	Servicio Geológico Colombiano
2004-nov-15	Santander de Quilichao	2.99	-76.49		7.2			5	6	16	Servicio Geológico Colombiano

Fuente: Adaptada del Catálogo de Terremotos para América del Sur 1985 junto con información de Sismicidad Histórica del Servicio Geológico Colombiano 2017

Dónde: Mw: magnitud de momento, Ms: magnitud de onda superficial, Mb: magnitud de ondas interna, M: Mercalli, MM: Mercalli modificada, EMS 98: Escala Macrosísmica Europea de 1998

Sismo 1566 por Arroyo y Aragón

“En este mismo año los pueblos de la provincia de Popayán sufrieron dos destructoras calamidades. Uno de estos movimientos sísmicos tan frecuentes en estas regiones volcánicas de los Andes, se sintió por primera vez después de la conquista. Los pocos edificios que empezaban a construirse de tapia y teja, vinieron a la tierra tanto en Cali como en Popayán y gracias a ser el resto cubierto de paja, no quedo totalmente arruinada la ciudad... no sabemos el mes en que sucedió este terremoto; apenas hay dato del año, por la partida del libro de tesorería en que aparece se paga en 1567 la refacciones de la casa real arruinada con el terremoto del año pasado” (Ramírez, 1975.275).

El segundo la complementa:

“El primero del que hay noticia fue el de 1566, que destruyo las pocas edificaciones de tapia y teja que existían, quedando en pie solamente las de paja. Coincidió este terremoto con el aparecimiento en el Nuevo Reino de la pavorosa epidemia de la viruela, que tantos estragos hizo especialmente entre la raza

indígena. Pueblos hubo- dice don Jaime Arroyo – que quedaron completamente desolados” (Ibíd. 148).

1820 junio o julio – Un oficial de la Legión Británica, en sus memorias, cuenta así lo que tanto le impresionó en Quilichao Cauca:

“Frecuentes tempestades dañan a los edificios de esta ciudad. Mientras que estuvimos allí, cayó un rayo en la iglesia de San Francisco y abrió la torre desde la flecha hasta el pórtico. También menudean los terremotos, lo que no es raro porque el país abunda en minerales. Sufrimos varios durante nuestra estancia, tan largos como violentos. El mayor estallo cuando salíamos de Quilichao, y agrieto el camino en diferentes sitios. Observamos que los caballos y los mulos permanecían, durante la convulsión del suelo, quietos y con las piernas rígidas” (Ibíd.213).

Sismo del 1979/11/23

Se presentaron daños en una extensa área del país, principalmente en los departamentos de Caldas, Antioquia, Chocó, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. Las poblaciones más afectadas fueron Manizales, Villamaría, Pácora y Aguadas (Caldas), Sonsón, Támesis, Jardín y Andes (Antioquia), Pereira y Marsella (Risaralda), entre otras. En Manizales, los principales daños ocurrieron a lo largo de la Avenida Santander donde colapsaron algunas viviendas, el Colegio Santa Inés y quedaron averiados importantes edificios. En el Barrio Milán ocurrió un deslizamiento que derrumbó algunas viviendas (SGC, s.f).

En Jardín y Andes colapsaron varias casas y los templos quedaron semidestruidos. En Pereira, Aguadas, Pueblo Rico, Támesis, Sonsón y Valparaíso fueron destruidas pocas viviendas. En Medellín, el Hospital San Vicente de Paúl, la iglesia de El Poblado, el Teatro Bolivia y varias casas resultaron averiadas. En Cali la Iglesia de San Francisco, la de San Cayetano, el Edificio Colseguros, el edificio Mercafé y numerosas casas presentaron daños considerables. En Armenia se agrietaron considerablemente algunas construcciones. En Bogotá, Bucaramanga, Ibagué y Villavicencio, el sismo se sintió intensamente, de tal forma que los habitantes se alarmaron y salieron a las calles (Ibíd.).

En Arma (corregimiento de Aguadas) se presentó un deslizamiento en el casco urbano, que según los ingenieros que lo verificaron, abarcó 8 manzanas y destruyó muchas viviendas alrededor de la plaza principal (Ibíd.).

Según los datos obtenidos por la Defensa Civil, el número de muertos en total fue de 50 y hubo más de 500 heridos (Ibíd.).

Sismo del 1983/03/31.

“Este sismo ocurrió el jueves de la Semana Santa de 1983 y afectó al departamento del Cauca, principalmente las poblaciones de Cajete, Cajibío, Julumito, Popayán y Timbío” (SGC, s.f).

“Las cifras aproximadas sobre lo ocurrido en el departamento del Cauca fueron: 250 muertos y 1.500 heridos, 4.964 construcciones destruidas y 13.796 viviendas con daños muy graves (Arquidiócesis de Popayán, 1984. Citado por SGC, s.f).

La mayor atención se prestó a la ciudad de Popayán, puesto que allí murieron 200 personas aproximadamente, y porque gran parte del patrimonio histórico arquitectónico, ubicado en el centro de la ciudad, presentó daños severos y colapsos. Gran parte del cementerio quedó arruinado y los ataúdes se salieron de las bóvedas, generando en pocas horas un olor desagradable (Paredes, 1983. Citado por SGC, s.f).

La cifra de víctimas fue alta, debido a que el sismo ocurrió en semana santa, siendo esta una época en la que la ciudad es visitada por muchas personas de otras ciudades y las construcciones religiosas se convierten en lugares de aglomeración (SGC, Óp. Cit.).

Los problemas de salud pública se empezaron a ver en pocos días, ya que al romperse las tuberías de agua potable, tuvieron que disminuir el consumo y cortar el suministro por varios días (Ruíz, 1986), sumado al olor desagradable que venía del cementerio y a la proliferación de mosquitos. Las afecciones estomacales y respiratorias fueron los principales problemas de salud (El País, abril 3, p. B1. Citado por SGC, s.f.).

“Otras poblaciones que resultaron muy afectadas fueron Cajete y Cajibío, las cuales quedaron destruidas en un 80 por ciento (El País, abril 4, p. B4. Citado por SGC, s.f). En Julumito y Timbío, colapsaron numerosas construcciones, dentro de las que se contaban las escuelas e iglesia” (SGC, Óp. Cit.).

Se reportaron réplicas sentidas hasta finales del mes de abril de ese año. Se generaron deslizamientos y grietas en el terreno en las poblaciones de Cajete, Popayán, Julumito, Figueroa, Río Hondo y Santa Ana (SGC, s.f).

Según informes oficiales en las poblaciones del departamento de Nariño el sismo no fue sentido (Ibíd.).

Una descripción sobre los efectos ocurridos en Popayán, es el siguiente:

"El conjunto de Pubenza obra financiada por una entidad estatal estaba conformada por aproximadamente 16 bloques de edificios cada uno de 4 pisos y 8 apartamentos con estructura de concreto armado y muros de cierre de ladrillo. A primera vista el cuadro es aterrador, no quedó ningún bloque bueno. Se encuentran desde un derruido totalmente a otros aparentemente en buen estado. Claro que al observar estos últimos detenidamente se ve que han sufrido también daños en sus muros y desplazamientos laterales de las columnas (...).

Algunos bloques perdieron totalmente el primer piso quedando de tres, otros quedaron inclinados hacia el frente, otros conservaron los cuatro pisos pero se desplazaron en algún sentido. Uno quedó totalmente derruido, no se observó hundimiento en el suelo a nivel de la base de las estructuras" (Peñuela, 1983. Citado por SGC, s.f).

Sismo del 1994/06/06

Los municipios que resultaron más afectados por el sismo fueron Páez, Toribío, Inzá, Jambaló y Totoró, en el departamento del Cauca, donde se presentó el colapso de construcciones vulnerables y otras tuvieron daños entre severos y muy severos (SGC, s.f).

Aunque el daño en las construcciones fue importante, los efectos más significativos que causó este sismo fueron los que ocurrieron en la naturaleza: grietas amplias y profundas en el terreno, numerosos deslizamientos y grandes avalanchas, fueron los fenómenos destacables en la región (SGC, s.f).

Sismo del 2004/11/15

El lunes 15 de noviembre de 2004 a las 04.06 de la mañana hora local, ocurrió un violento sismo en la costa pacífica del territorio colombiano, cerca de Bajo Baudó - Pizarro-, en el departamento de Chocó. Esta población, y varios caseríos aledaños fueron los más afectados provocando destrucción de viviendas (SGC, s.f).

El consolidado parcial sobre los daños ocurridos en el Bajo Baudó -área urbana y rural-, arrojó las siguientes cifras: 287 casas destruidas, 150 casas semidestruidas, 101 casas averiadas, siete escuelas afectadas, cuatro escuelas caídas, cuatro capillas averiadas, tres puestos de salud dañados y dos puentes caídos (El País, Cali. Nov. 21, p. A2). Otra población que presentó graves daños, fue la ciudad de Cali, donde se reportaron 45 construcciones afectadas (INGEOMINAS, 2004. Citado por SGC, s.f).

“En Buenaventura hubo colapso de construcciones, la mayoría de ellas palafitos y también se presentaron cambios en el nivel del mar que afectaron algunas viviendas del barrio Pampalinda -zona de bajamar-. (El País, Nov. 16, p. B4) En otros municipios de los departamentos de Chocó, Valle del Cauca y Cauca hubo daños menores” (SGC, s.f).

En los primeros 14 días después de la ocurrencia del sismo, se registraron más de 1000 réplicas, destacándose cinco con magnitudes entre 4 y 4.4 (ML) y más de quince con magnitudes entre 3.5 y 4.0 (INGEOMINAS, 2004. Citado por SGC, s.f).

En la zona epicentral se presentaron fenómenos de licuación y agrietamiento del suelo e inundaciones temporales asociadas a licuación. (INGEOMINAS, 2004. Citado por SGC, s.f)

Sobre los daños en la zona epicentral se puede destacar lo siguiente:

"De acuerdo con el presidente de la Defensa Civil en la localidad, Moisés Barco, hasta el momento se tiene información parcial de 250 viviendas destruidas y 611 averiadas. Se calcula que en total, en el Bajo Baudó hay 1.700 familias damnificadas. "Bajo Grande, en el río Docampadó, se acabó. Las 46 casas quedaron destruidas", dijo. Sin embargo, advirtió que hay zonas ubicadas a más de doce horas del casco urbano, como Virrinchaó, adonde no han podido llegar las

patrullas. Agregó que existen pequeños asentamientos indígenas como Bajo Grande, que fueron destruidos y los habitantes se encuentran a la intemperie". (El País, Cali. Nov. 17, p, B4. Citado por SGC, s.f)

Si bien el municipio más afectado fue Bajo Baudó, muchos de los documentos encontrados, se centraron en describir lo ocurrido en la ciudad de Cali, dejando de lado los efectos de la zona epicentral. Aunque hay que agregar, que el acceso a varios corregimientos y veredas del municipio de Bajo Baudó era difícil (SGC, s.f).

4.2.5) Sismicidad Instrumental

La información básica para el estudio de la sismicidad instrumental la constituyen los catálogos de terremotos presentados por los observatorios o centros sismológicos a partir de datos que registran en las redes sismológicas nacionales o regionales. Estos catálogos manejan parámetros como: tiempo de ocurrencia del terremoto (Fecha y Tiempo de origen), coordenadas hipocentrales (epicentro y profundidad), magnitudes (diversas escalas), efectos (Intensidad), e información adicional que está relacionada con las fuentes de los datos, al igual que otros datos que complementan la información sobre cada evento sísmico.

La información analizada corresponde entre las coordenadas 76,37 y 76,624 grados de longitud Oeste y 2,855 y 3,197 grados de latitud norte, con magnitudes entre 0,6 y 5,3 en la escala MI (magnitud local) y profundidades superficiales e intermedias, donde de acuerdo al catálogo de la Red Sismológica Nacional Colombiana (RSNC) y el Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano (OSSO), se han presentado 87 eventos sísmicos (ANEXO 2), que han afectado el área debido a la cercanía. Es necesario destacar que el municipio de Santander de Quilichao se encuentra dentro del sistema de fallas de Romeral, uno de los más activos del país.

En la Figura 35 se representan los eventos sísmicos acontecidos en el municipio y su área circundante, en ella se observan agrupamientos en cercanía a las fallas geológicas, no obstante no se asigna a una fuente sismogénica debido a que las fallas presentes en el sector según el Servicio Geológico Colombiano poseen una actividad incierta. Aunado a ello, en la figura 36, se aprecia que los sismos son corticales e intermedios, el 46% de ellos está a una profundidad inferior a 70 km y el 49% entre 70-150 km. A que a los 0-30 y 100-150 km es donde se dan la mayor cantidad de eventos telúricos; sin embargo, las magnitudes no superan los 3 grados (Figura 37), en otras palabras, la mayoría de sismos son pequeños.

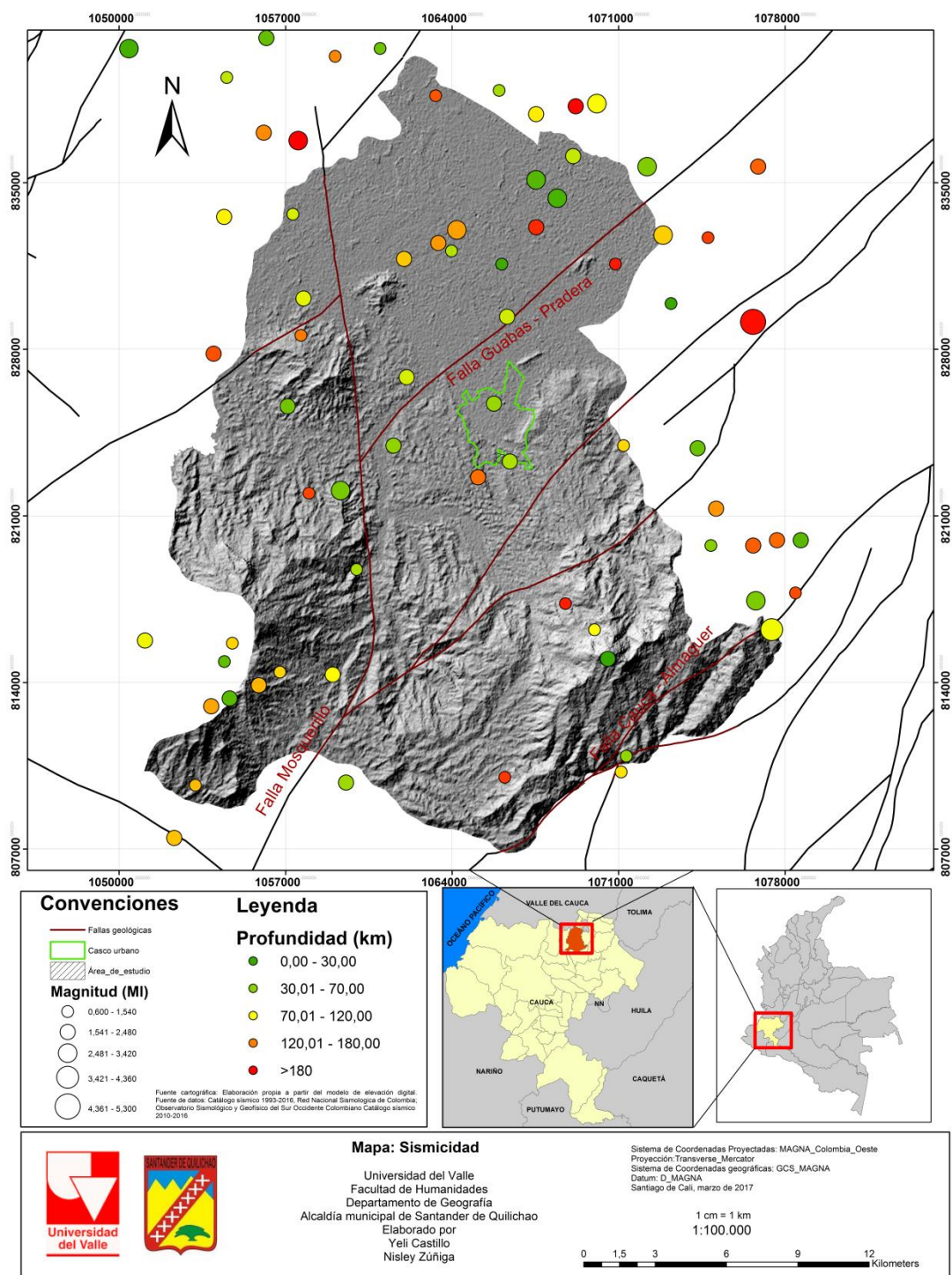


Figura 35. Mapa de sismicidad para la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir del Catálogo sísmico 1993-2016, Red Nacional Sismológica de Colombia; Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano Catálogo sísmico.

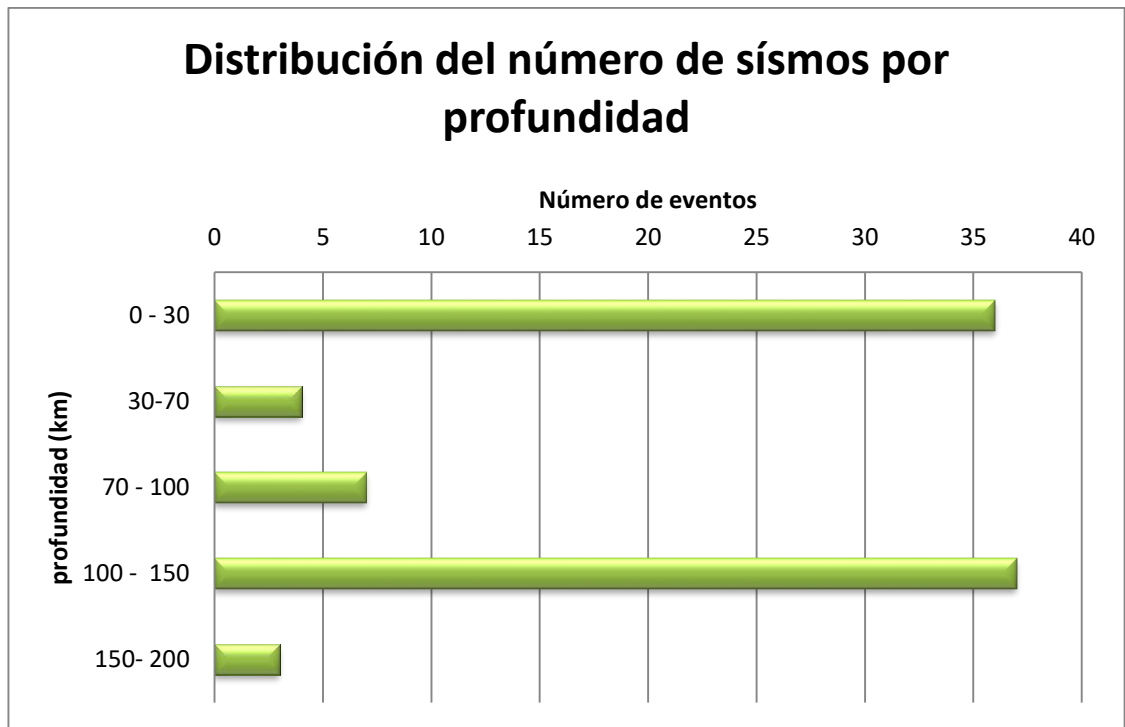


Figura 36. Distribución de los eventos sísmicos en función de la profundidad para el periodo 1993-2016 en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de los catálogo sísmicos 1993-2016 de la Red Nacional Sismológica de Colombia y 2010-2016 del Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano.

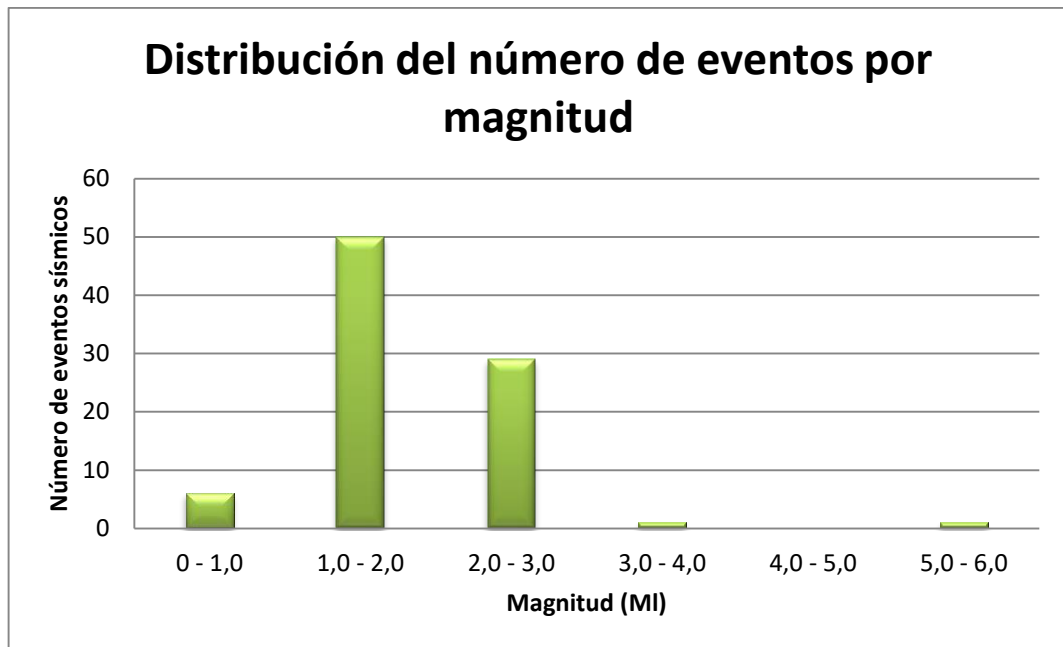


Figura 37. Distribución del número de eventos por magnitud en el periodo 1993-2016 en la zona de estudio

Fuente: elaboración propia a partir de los catálogos sísmicos 1993-2016 de la Red Nacional Sismológica de Colombia y 2010-2016 del Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano.

La Figura 38 alude a la cantidad de sismos por año, se observa que a partir del 2010, hay un aumento de la actividad sísmica en el área, la cual puede estar asociada al volcán Nevado del Huila, el cual, según el SGC, durante el mes de marzo registró 246 eventos asociados a fracturamiento de roca (VT), con promedio de ocurrencia de 7.9 eventos/día, 1093 eventos asociados a movimiento y tránsito de fluidos y gases dentro de los conductos internos (LPs), 44 pulsos de tremor volcánico (TR) y 7 señales de tipo híbrido (HB) para un total de 1390 sismos. Para el siguiente mes, el número de eventos registrados aumentó a 5477, de los cuales 310 estuvieron asociados a fracturamiento de roca (Tipo VT), 5069 relacionados con movimiento y tránsito de fluidos y gases dentro de los conductos volcánicos (Tipo LP), 94 pulsos de tremor de baja magnitud (TR), y 4 señales asociadas tanto a fracturamiento de roca como a tránsito de gases y fluidos, tipo híbrido (HB).

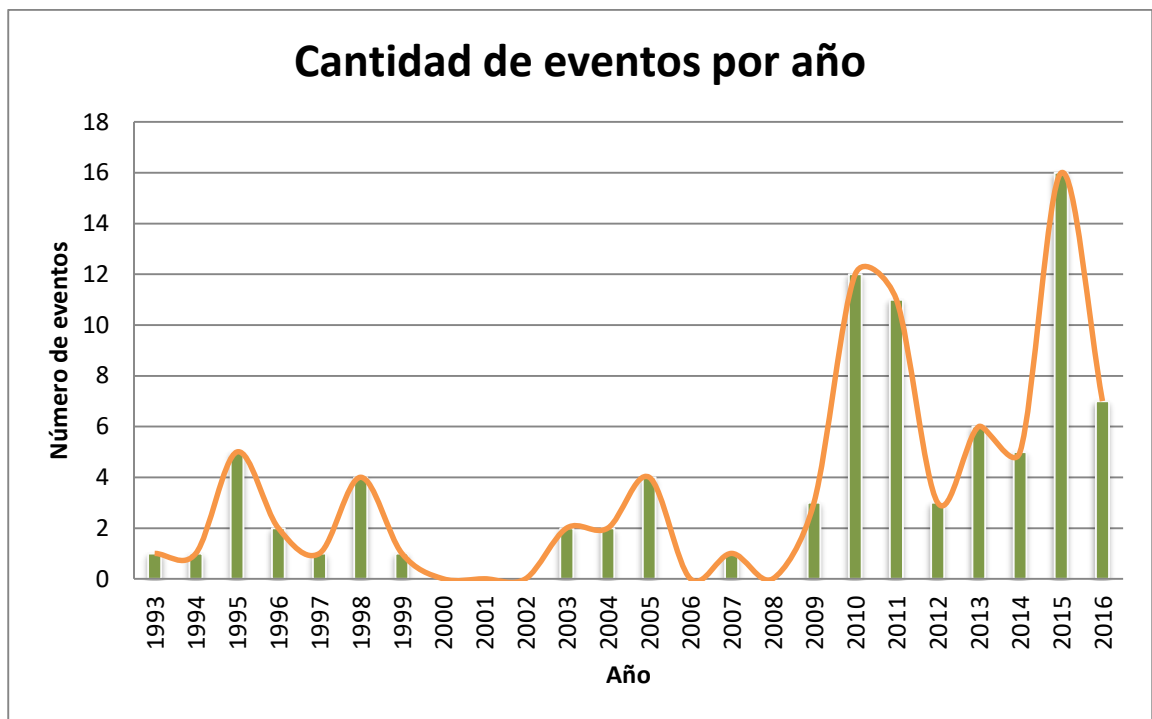


Figura 38. Cantidad de eventos por años, periodo 1993- 2016

Fuente: Elaborado a partir del catálogo de la Red Nacional (RNSC) y del Observatorio Sismológico (OSSO).

4.2.6) Amenaza Sísmica

Para este estudio no se realizó un estudio particular de valoración de la amenaza sísmica, por lo que ésta se establece a partir del trabajo realizado para todo el país por (Ingeominas - AIS - Uniandes, 1998). Dicho estudio contempla los valores de aceleración para cada uno de los municipios de los 32 departamentos de Colombia. La amenaza sísmica se expresa en valores de aceleración pico (A_a) dada en gales, con valores entre 0,05g y 0,4g (Figura 39).

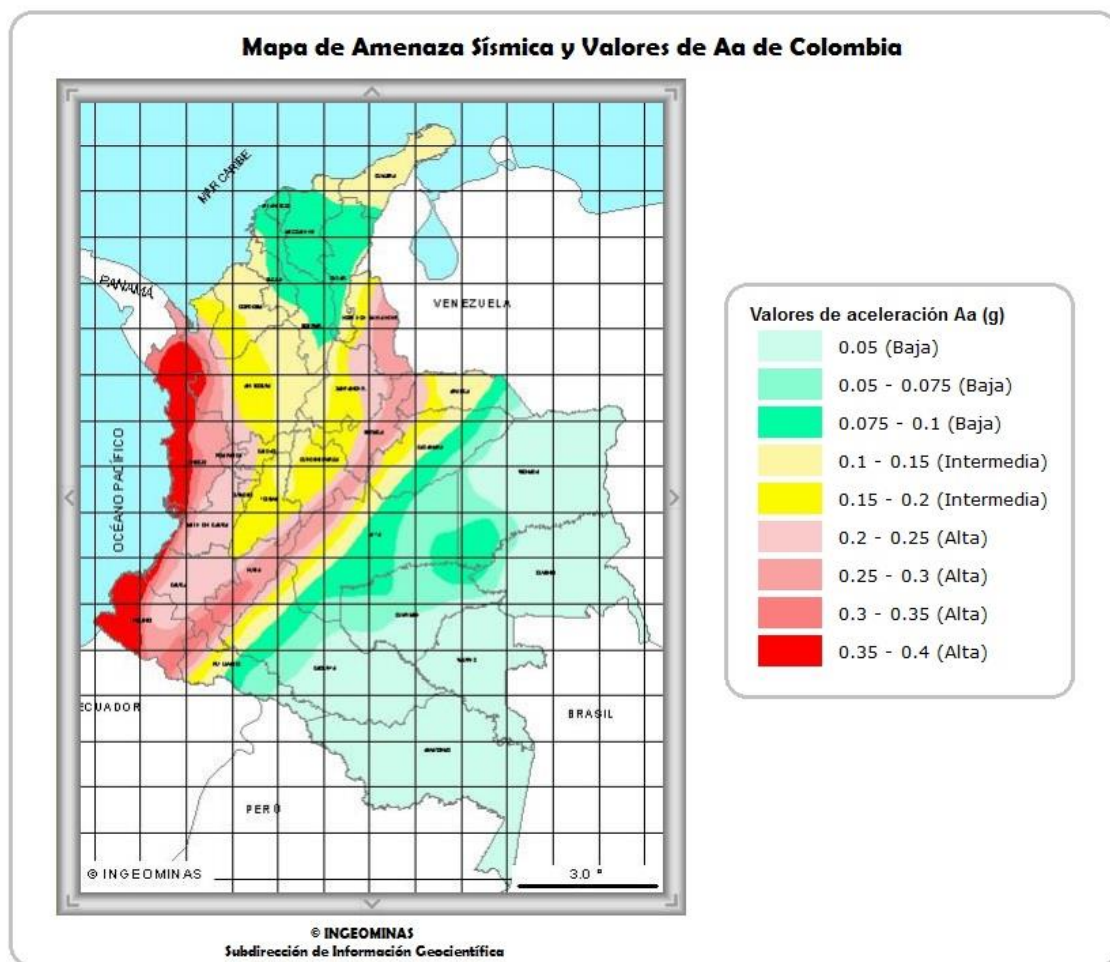


Figura 39. Mapa de amenaza sísmica y valores de Aa de Colombia.

Fuente: Mapa de amenaza sísmica de Colombia. Fuente: (SISMOCLUB, 2016).

Estos valores definen las zonas de amenaza sísmica para todo el país, así (NSR-10):

Zona de Amenaza Sísmica Baja: definida para aquellas regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (Aa) de 0.10g. Aproximadamente el 55% del territorio Colombiano se encuentra incluido en esta zona de amenaza.

Zona de Amenaza Sísmica Intermedia: definida para regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva, mayores de 0.10g y menores o iguales de 0.20g. Alrededor de 22% del territorio se encuentra incluido en esta zona.

Zona de Amenaza Sísmica Alta: definida para aquellas regiones donde se esperan temblores muy fuertes con valores de aceleración pico efectiva, mayores de 0.20g. Aproximadamente el 23% del territorio Colombiano queda incluido en la zona alta.

Para el caso del municipio Santander de Quilichao la aceleración de la onda sísmica. (Tabla 8) Ingeominas, AIS, UNIANDES. (1998).

Tabla 8. Aceleración pico de la onda sísmica

Municipio	Aceleración pico (Aa)-g	Grado de amenaza
Santander de Quilichao	0,25	Alta

Fuente: INGEOMINAS, AIS y UNIANDES. 1998.

Para adecuar este valor a los cálculos de estabilidad de la ladera, la NSR 10, recomienda usar las 2/3 del valor total de la aceleración máxima (pico) para el componente vertical y el valor total para la horizontal. En la Tabla 9, se puede visualizar el resultado del ajuste.

Tabla 9. Valores asignados al cálculo del factor de seguridad

Parámetro	Valor
Aceleración pico (Aa)-g (en la horizontal)	0,25
Componente vertical	0,17

Fuente: Adaptado de la NSR-10

4.2.7) Inestabilidad del talud (factor de seguridad)

Los métodos de análisis de estabilidad se basan en un planteamiento físico-matemático en el que intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, que actúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Se pueden agrupar en dos: **métodos determinísticos**, dentro de los cuales están los *métodos de equilibrio límite* y los **tenso-deformacionales**; y los *métodos probabilísticos* (Sanhueza y Rodríguez, 2013).

Los más utilizados son los métodos de equilibrio límite, los cuales analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendientes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en la selección de una superficie teórica de rotura en el talud; el criterio de rotura de Mohr-Coulomb; y la definición de un factor de seguridad.

Para realizar este cálculo es necesario conocer las características geotécnicas del área de estudio, las cuales se describen en seguida:

Material del suelo o textura: Es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina, en el suelo. Estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar) (Jaramillo, 2002); es decir, la composición granulométrica del suelo. El área de estudio está compuesta en la superficie de arena y en la parte alta de arcilla. La Figura (40), muestra el tipo de

arcilla que se encuentra en el área de estudio, la cual presenta fracturas ocasionadas en temporada seca.



Figura 40. Tipo de suelo en el área

Fuente: Elaboración propia

Angulo de fricción: “Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física: Coeficiente de rozamiento = $\tan \phi$ ” (Suarez, 2009.76).

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna" f , varían de prácticamente 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia esté próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo f para arenas es alrededor de 30° (apuntes de ingeniería civil, 2011).

Peso de las viviendas: Una casa en concreto de un piso puede pesar aproximadamente 100 Tn (Parra, 2011). Dado que se piensa hacer una proyección del factor de seguridad si las casas del área se construyen completamente en material se tomará este valor y se multiplicará por el número de hogares presentes, para restablecer la carga constante; con lo cual se tiene que:

1 casa construida en material pesa 100 toneladas aproximadamente,

1 Tn= 9.8 kN

El área de estudio cuenta con 102 casas. Distribuidas así:

12 en la parte alta y el resto en la parte baja, de éstas 45 se encuentran al lado derecho sobre el talud (30 de frente, estas no se tomaran, porque ejercen presión en el talud) y 15 al izquierdo.

Conversión

Casas al lado derecho

$45 \times 100 \text{ Tn} = 4500 \text{ tn}$ ----- $4500 \times 9.8 = 44100 \text{ kN}$

Casas al lado izquierdo: 15

$15 \times 100 = 1500 \text{ tn}$ ----- $1500 \times 9.8 = 14700 \text{ kN}$

Casas en la parte alta: 12

$12 \times 100 = 1200 \text{ tn}$ ----- $1200 \times 9.8 = 11760 \text{ kN}$

Coeficiente de cohesión: La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión. En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos (Suarez, 2009.77). En otras palabras, indica la capacidad que tienen las partículas del suelo de permanecer unidas, dependiendo la microestructuras del suelo.

Peso por unidad de medida de la composición del suelo o peso específico: Es una terminología que se utiliza en química y física para describir a aquella relación existente entre el peso y el volumen que ocupa una sustancia. La unidad de medida que se utiliza para medir este peso específico más común es el Newton sobre metro cúbico (Concepto de definición.de)

En la Tabla 10, se exponen las características físicas de algunos suelos (Coeficiente de fricción, ángulo de cohesión y el peso por unidad de medida), debido a que los valores están expresados en Toneladas (T). El programa de análisis los requiere en kilonewton (kN), por lo que se procede a hacer la conversión; para ello se tiene que una T equivale a 9,8 kN, (Tabla 11).

Tabla 10. Características geotécnicas de diversos suelos

Tipo de suelo	γ (T/m ³)	c (T/m ²)	ϕ (°)
Bloques y bolos sueltos	1,70		35 a 40
Grava	1,70	0	37,5
Grava arenosa	1,90		35
Arena compacta	1,90		32,5 a 35
Arena semicompacta	1,80	0	30 a 32,5
Arena suelta	1,70		27,5 a 30
Limo firme	2,00	1 a 5	27,5
Limo	1,90	1 a 5	25
Limo blando	1,80	1 a 2,5	22,5
Marga arena rígida	2,20	20 a 70	30
Arcilla arenosa firme	1,90	10 a 20	25
Arcilla media	1,80	5 a 10	20
Arcilla blanda	1,70	2 a 5	17,5
Fango blando arcilloso	1,40	1 a 2	15
Suelos orgánicos (Turba)	1,10	0	10 a 15

Fuente: Bañón s.f

γ = Peso específico del suelo

C = Cohesión

Φ = Angulo de fricción

Tabla 11. Características de la textura del suelo

Material del suelo	Coefficiente de cohesión (kN/m ²)	Peso específico o valor por unidad de medida (kN/m ³)	Angulo de Fricción (Ángulo de rozamiento interno) (°)
Arcilla	19,6 - 49	16,66	17,5
Arena	0	18,62	30 – 32.5

Fuente: Modificada de Bañón s.f

Una vez obtenidas las propiedades geotécnicas del suelo, se procede a establecer las coordenadas (Tabla 12) del área a analizar para elaborar el perfil topográfico de la ladera y realizar los cálculos pertinentes.

Tabla 12. Coordenadas para la simulación de la pendiente en el programa Slide

Lado Izquierdo			
Coordenadas X	Coordenadas Y	Distancia	Altura m
76° 29' 04,43"	2° 59' 58,34"	100	1077
76° 29' 01,65"	2° 59' 56,72"	200	1083
76° 28' 58,77"	2° 59' 55,20"	300	1093
76° 28' 57,90"	2° 59' 54,80"	330	1098
76° 28' 57,11"	2° 59' 54,41"	358	1098
76° 28' 57,11"	2° 59' 54,41"	358	1077
76° 29' 04,43"	2° 59' 58,34"	100	1077
Lado Derecho			
Coordenadas X	Coordenadas Y	Distancia	Altura m
76° 28' 57,90"	2° 59' 54,80"	330	1098
76° 28' 57,11"	2° 59' 54,41"	358	1098
76° 28' 57,11"	2° 59' 54,41"	400	1094
76° 29' 04,43"	2° 59' 58,34"	500	1090
76° 28' 53,60"	2° 59' 57,55"	500	1080
76° 28' 57,90"	2° 59' 57,55"	330	1080

Fuente: elaboración propia a partir del Google Earth Pro 2016.

A continuación se presentan los cálculos elaborados para conocer la estabilidad del talud añadiendo los factores detonantes de los movimientos en masa. Para ello, se simulan 5 escenarios, en función de los procesos meteorológicos, internos de la tierra y antrópicos. El primero, representa el talud en su estado natural; el segundo, la ladera con cargas estructurales; en el tercero se observa la ladera con cargas estructurales y el nivel freático alternado; el cuarto visualiza el área con cargas estructurales y sísmicas, y el quinto concibe un escenario crítico. Finalmente, se calculan dos escenarios críticos que darían como resultado la amenaza, uno con precipitaciones y el otro con nivel freático.

Escenario 1: Aquí se representa el área de estudio al natural. En las Figuras 41 y 42 se expresan valores de 3,63 al lado izquierdo y 7,73 al derecho, lo cual indica que el área es estable según valores de la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos, quien recomienda un factor de seguridad mínimo de 1,3 en pendientes al final de la construcción y de 1,5 a largo plazo.

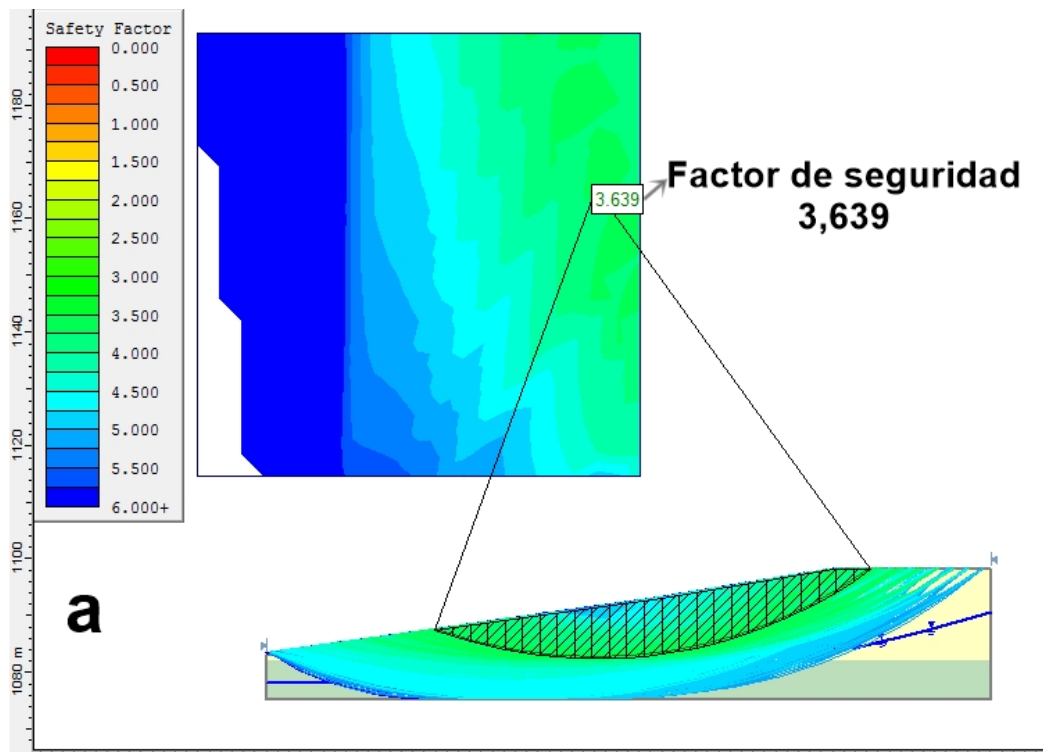


Figura 41. Talud sin cargas, a (lado izquierdo) Fuente: Elaboración propia a partir del Software Slide

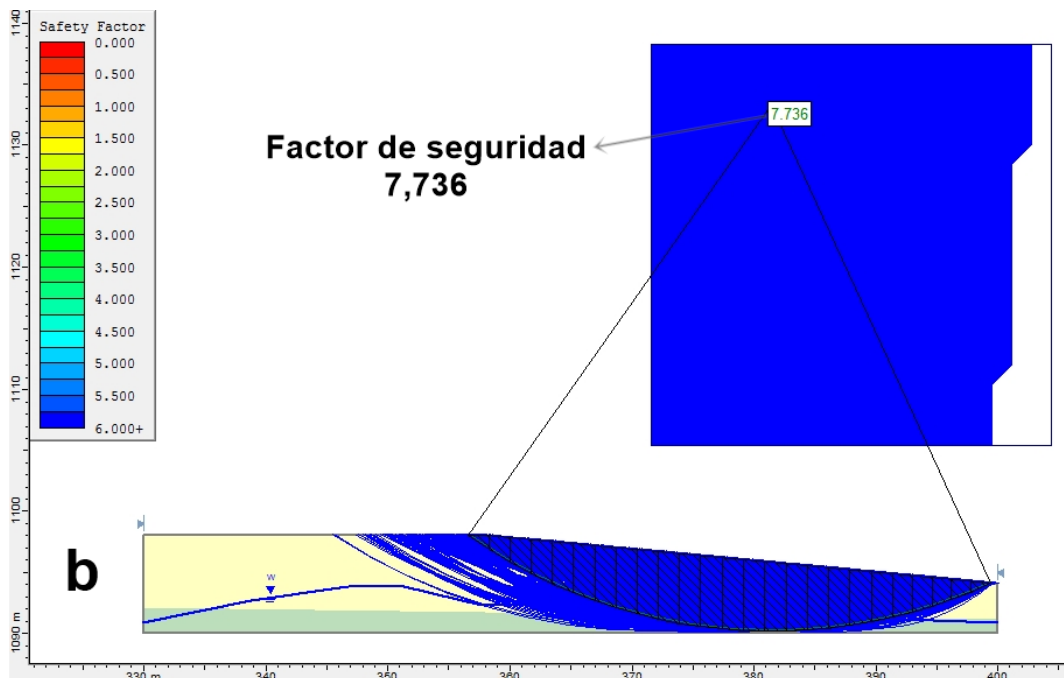


Figura 42. Talud sin cargas, b (lado derecho) Fuente: Elaboración propia a partir de Software Slide

Escenario 2: Talud con cargas estructurales (peso de las viviendas)

En este escenario se identifica la estabilidad del área bajo efectos de cargas estructurales, cabe resaltar que se toma el peso de los predios de manera prospectiva, asumiendo el peso de las estructuras en concreto, el resultado se visualiza en las Figuras 43 y 44, donde se exhiben valores de 0,49 para ambos lados del talud.

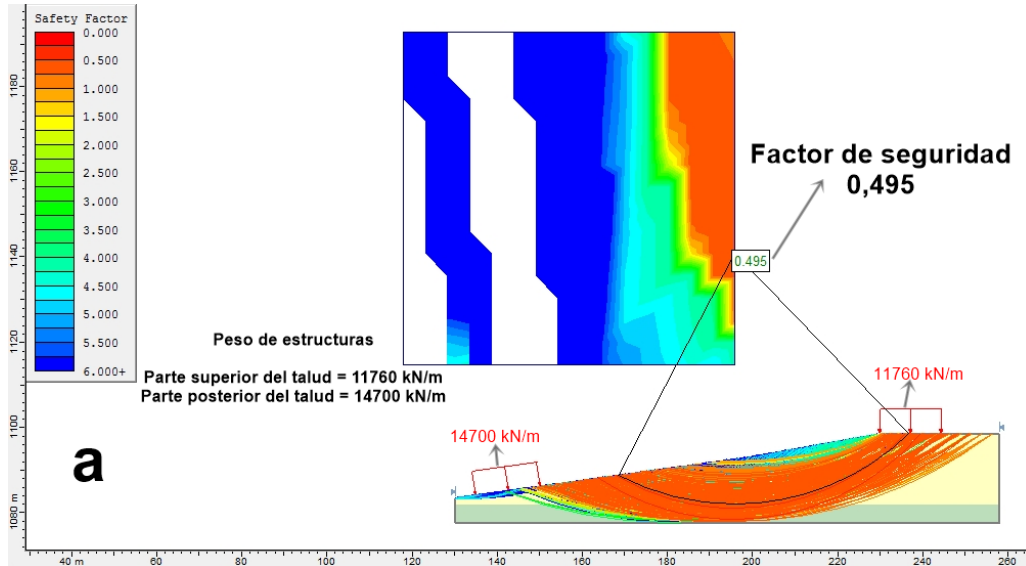


Figura 43 Talud con cargas estructurales, lado a (izquierdo) Fuente: Elaboración propia a partir del Software Slide

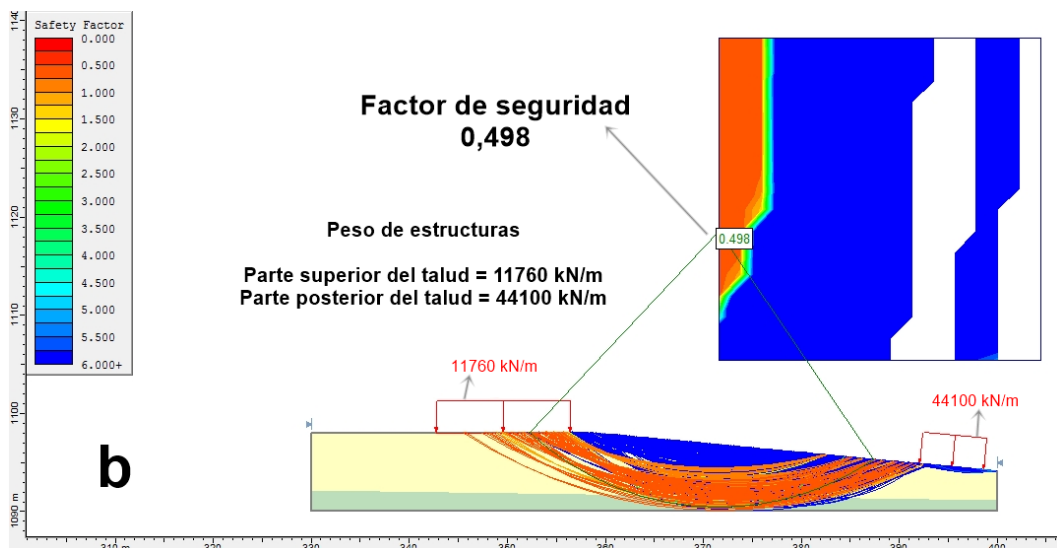


Figura 44. Talud con cargas estructurales lado b (derecho) Fuente: Elaboración propia a partir del software Slide

Una vez se adicionan cargas a la pendiente el factor de seguridad disminuye, ello se identifica contrastando las imágenes anteriores, en la medida que se adiciona el peso de las estructuras el margen izquierdo del talud, que presentaba un valor de 3 (estable) decae a 0,49 (inestable), lo mismo sucede con el lado derecho.

Escenario 3: Talud con Nivel freático alternado

Aquí se evidencia el comportamiento de la pendiente bajo el peso de las estructuras y el nivel freático (para lo cual se manejan 3 niveles), se denota que entre más superficial se encuentre el nivel freático mayor será la inestabilidad del talud en relación con el peso de las viviendas, lo dicho anteriormente se ve en las Figuras 45, 46 y 47 (a, b y c) lado izquierdo; sin embargo, el lado derecho de la pendiente mantiene un valor constante en el factor de seguridad, es decir que para ese lado del talud los valores del nivel freático que se tienen en cuenta no afectan la estabilidad. (Figuras 48, 49 y 50).

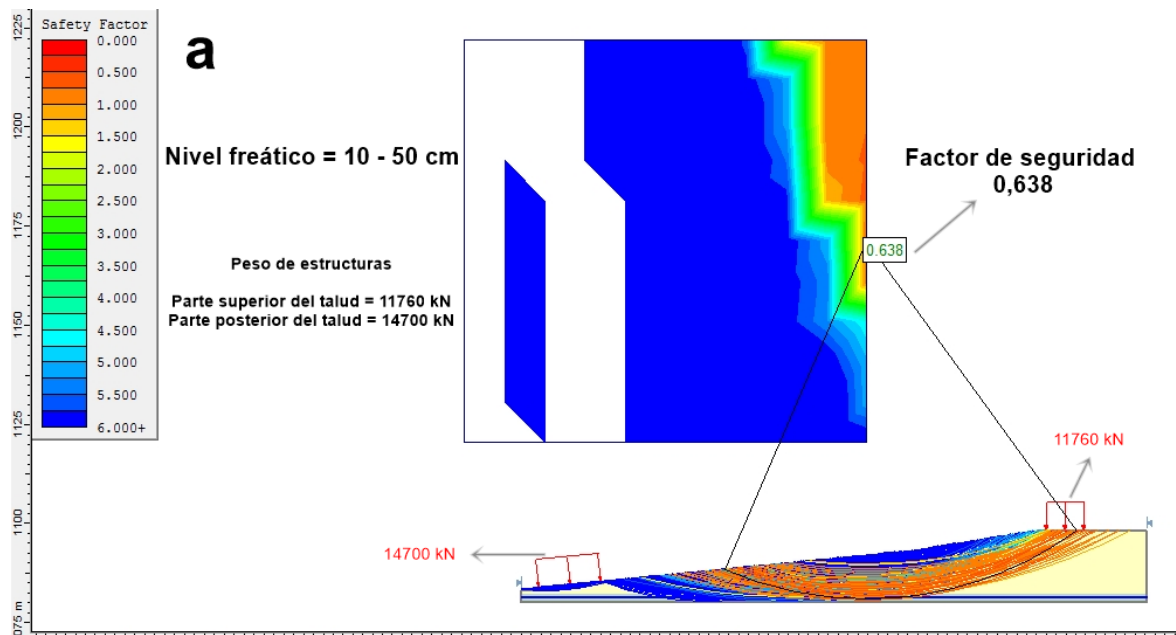


Figura 45. Factor de seguridad con el nivel freático de 10 - 50 cm lado izquierdo

Fuente: Elaboración propia en el software Slide

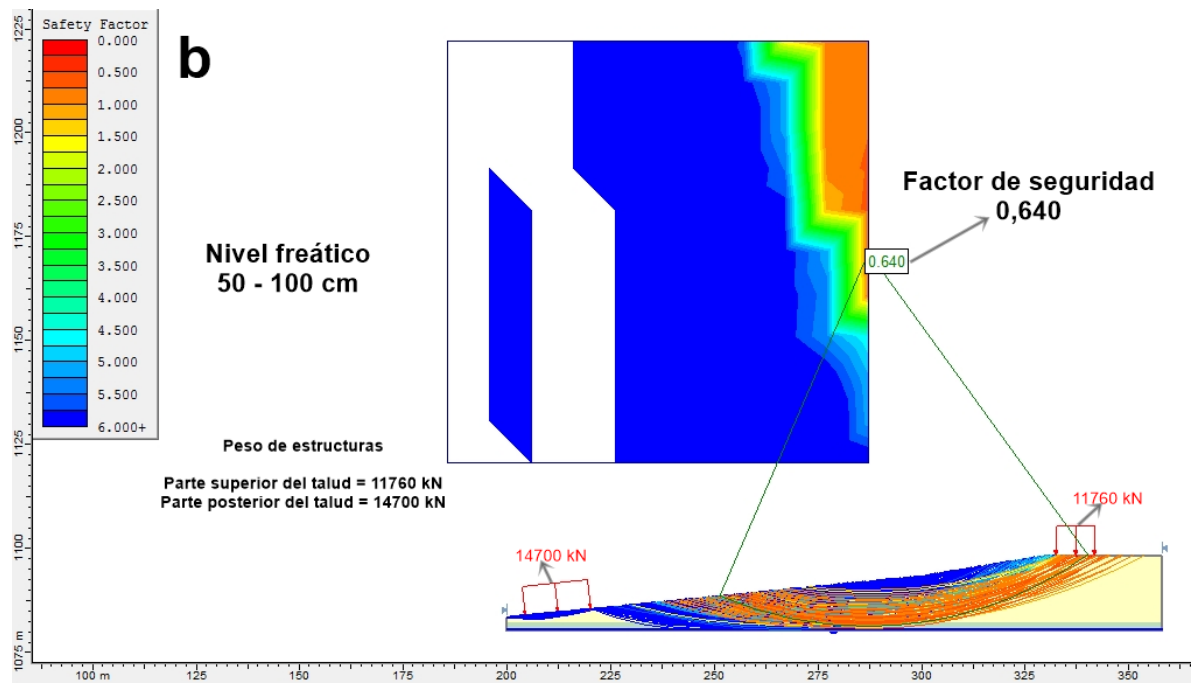


Figura 46. Factor de seguridad con el nivel freático de 50-100 cm lado izquierdo
Fuente: Elaboración propia a partir del Software Slide

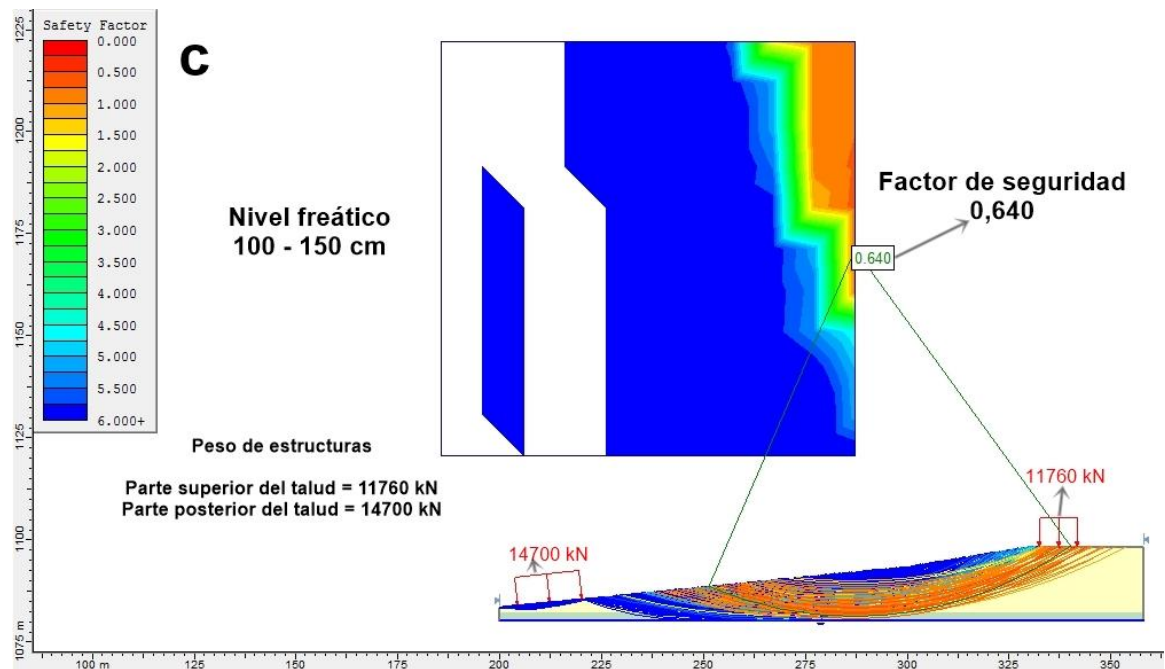


Figura 47. Factor de seguridad con el nivel freático de 100 - 150cm lado izquierdo
Fuente: Elaboración propia en el software Slide

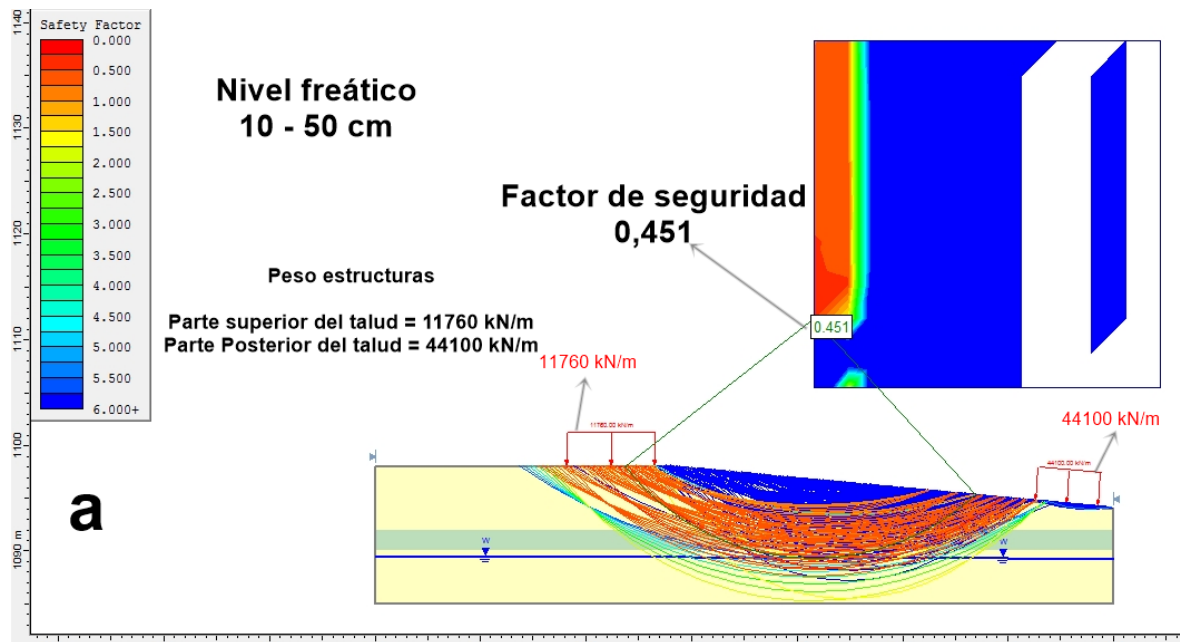


Figura 48. Factor de seguridad con el nivel freático de 10 - 50 cm lado derecho

Fuente: Elaboración propia en el software Slide

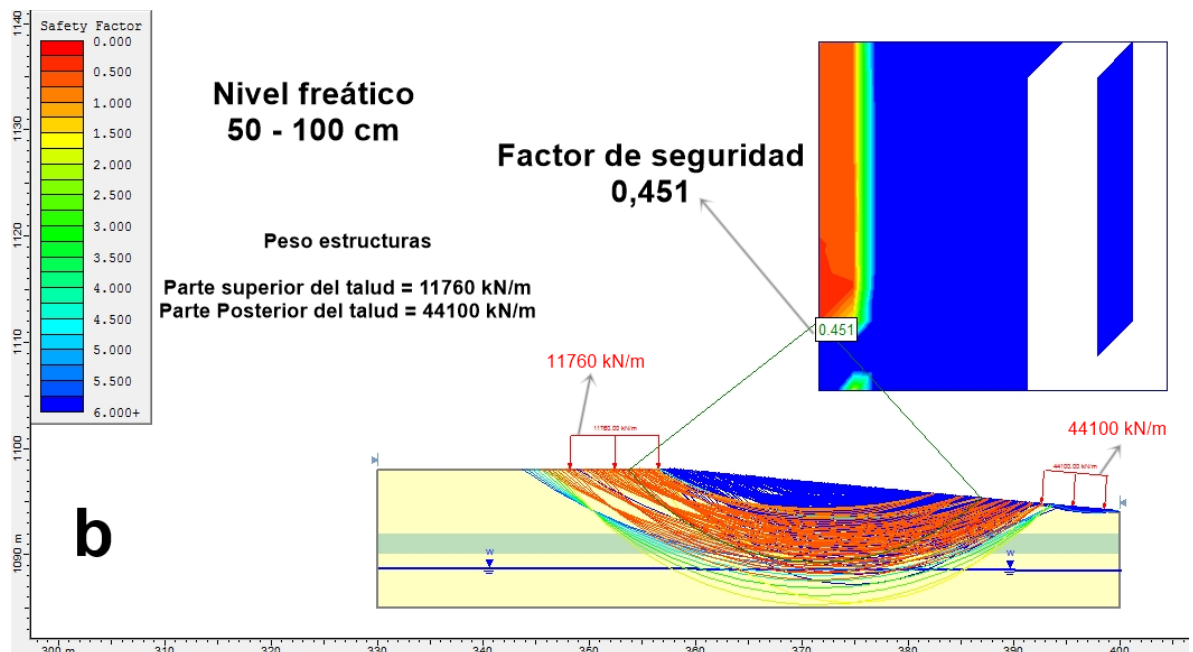


Figura 49. Factor de seguridad con el nivel freático de 50 cm - 100 cm lado derecho

Fuente: Elaboración propia en el software Slide

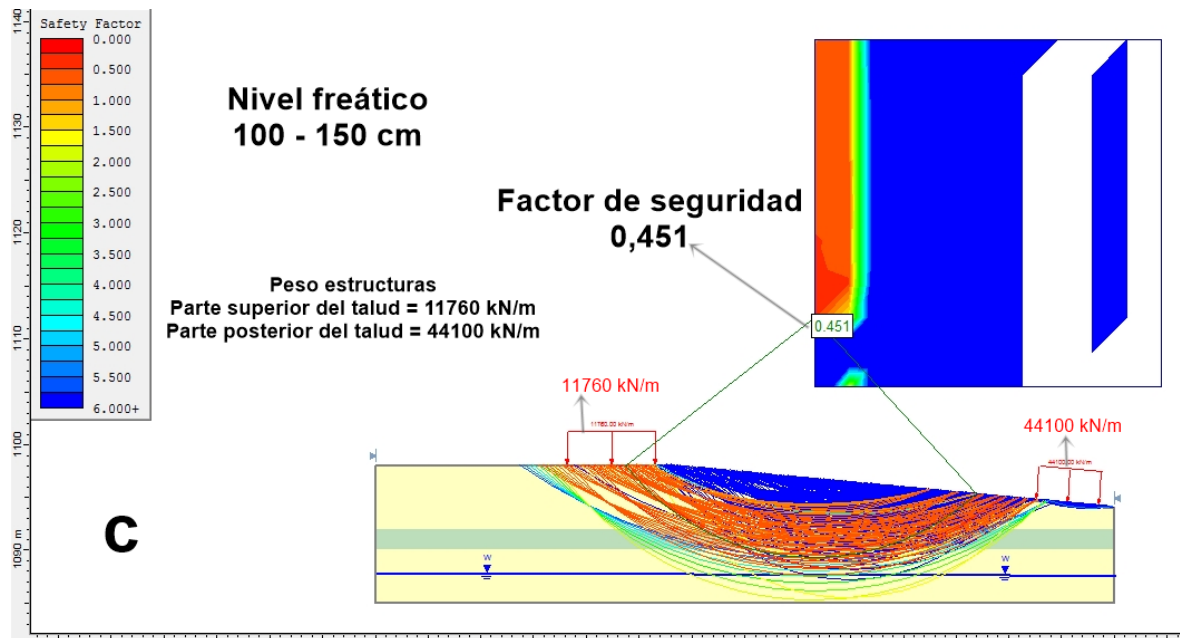


Figura 50. Factor de seguridad con el nivel freático de 100 -150 cm lado derecho

Fuente: Elaboración propia en el software Slide

Escenario 4: Talud con cargas estructurales y sísmicas (factor de seguridad con sismos)

Aunque en los escenarios anteriores el lado derecho presenta una mayor estabilidad en comparación con el izquierdo, en este caso la dinámica cambia, debido a que en el lado derecho hay mayor número de viviendas, estas generan una mayor presión en el suelo, aumentando la posibilidad de un deslizamiento, (Figuras 51 y 52) con resultados de 0,52 y 0,48, respectivamente.

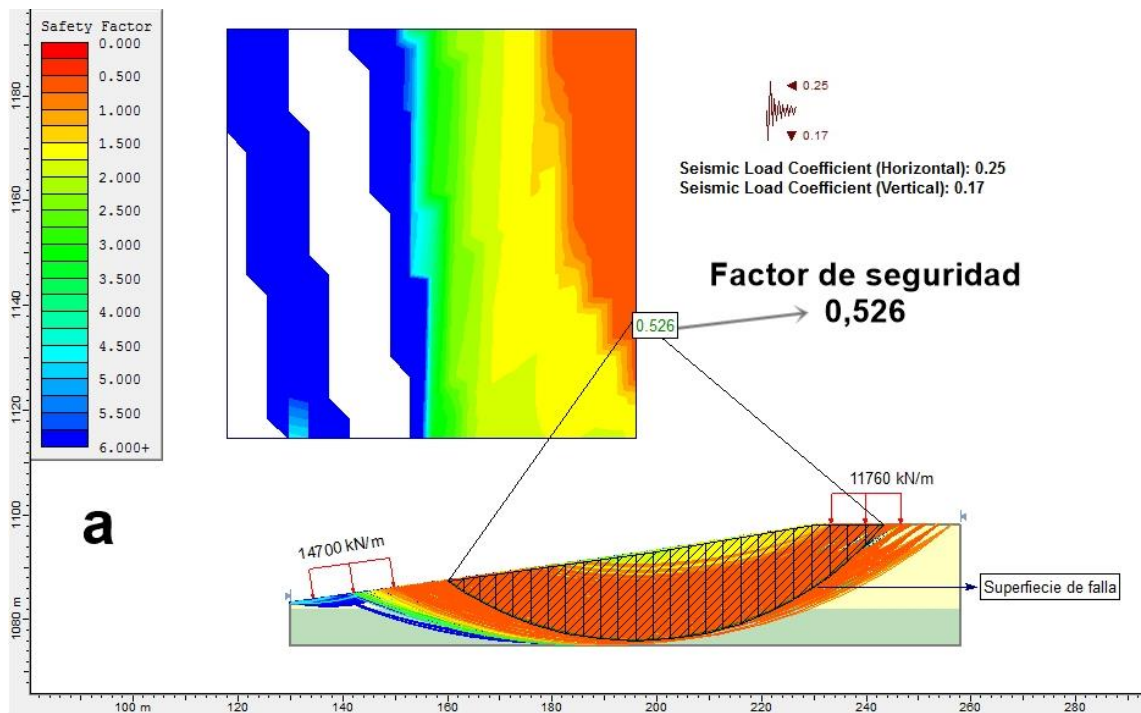


Figura 51. Factor de seguridad con sismos lado b
Fuente: Elaboración propia en el software Slide

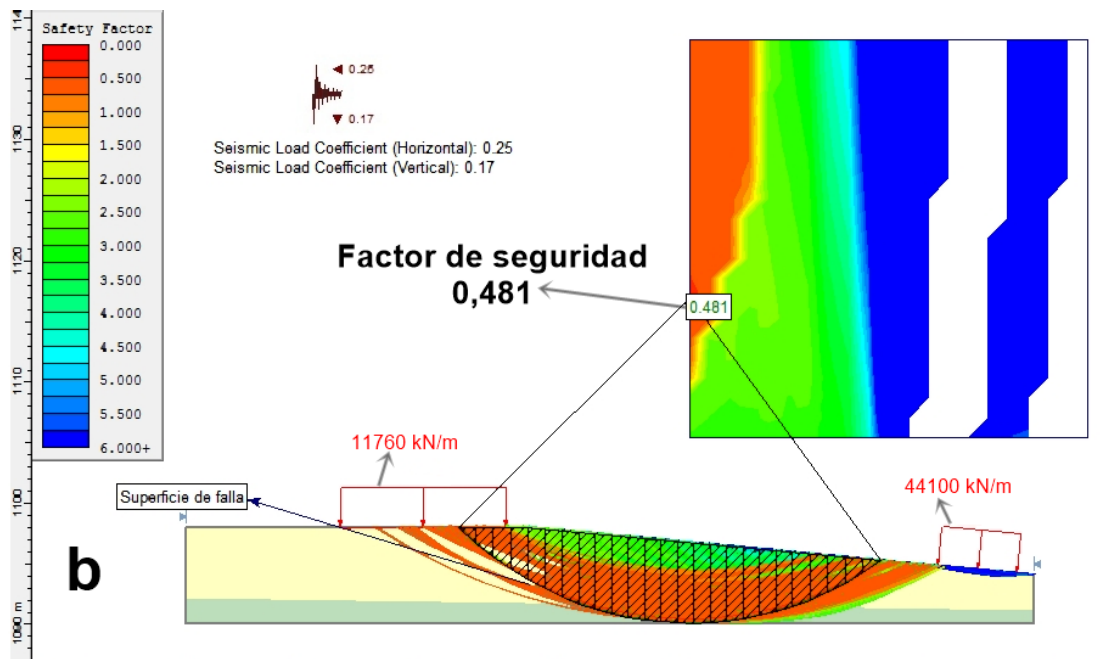


Figura 52. Factor de seguridad con sismo.
Fuente: Elaboración propia en el software Slide

Escenario 5: Estado crítico, se representa el área de estudio bajo condiciones delicadas, para ello se establece la velocidad de infiltración de la precipitación en el suelo (relacionada con la pérdida de cohesión); dado que la mayor parte del suelo del área es arcilloso, se toma el valor de infiltración de 0 – 12 mm por minuto, señalado por la Universidad de Sevilla para este; en seguida se adicionan las cargas estructurales y sísmicas (Figuras 53 y 54), aunado a ello se procede a establecer un estado crítico ocasionado por el aumento del nivel freático (presión en los poros)(figuras55 y 56), de lo anterior Aristizábal, Martínez y Vélez (2010) mencionan que:

Laderas conformadas por suelos homogéneos con bajo coeficiente de permeabilidad saturado ($k_s < 10^{-6}$ m/s) son más seguras ante lluvias de corta duración ($T_r < 24$ h) sin importar la intensidad de la lluvia; en tanto, para taludes de suelos homogéneos con valores altos del coeficiente de permeabilidad saturado ($k_s > 10^{-5}$ m/s) la estabilidad de los taludes es fuertemente afectada por lluvias de corta duración y alta intensidad, esto significa que el efecto de la lluvia antecedente es más crítico para suelos homogéneos con bajos valores de k_s .

Anteriormente se había calculado un estado crítico con la napa de agua entre 10 y 50 cm, con los cálculos elaborados para determinar el nivel máximo al que se encuentra el suelo saturado, se determina que este nivel es superficial (3 cm de profundidad desde el pie de la ladera aproximadamente)

Con el fin de dar soporte al estudio y complementar el escenario 5 se concibe un escenario crítico más adecuado a la realidad del sector, elaborando un tercer perfil crítico (Suelo saturado) con los cálculos obtenidos en el método Gumbel y las características del terreno. Figuras 57 y 58 se visualiza que el factor de seguridad mantiene una tendencia decreciente en cotejo con las Figuras 55 y 56; con el aumento de la tabla de agua la estabilidad del talud disminuye; el factor de seguridad pasó de 0,53 y 0,60 a 0,47 para ambos lados de la ladera, es decir que los escenarios hipotéticos y el escenario real dan soporte de que el talud se desplomara bajo las condiciones en las cuales se encuentra debido a sus características

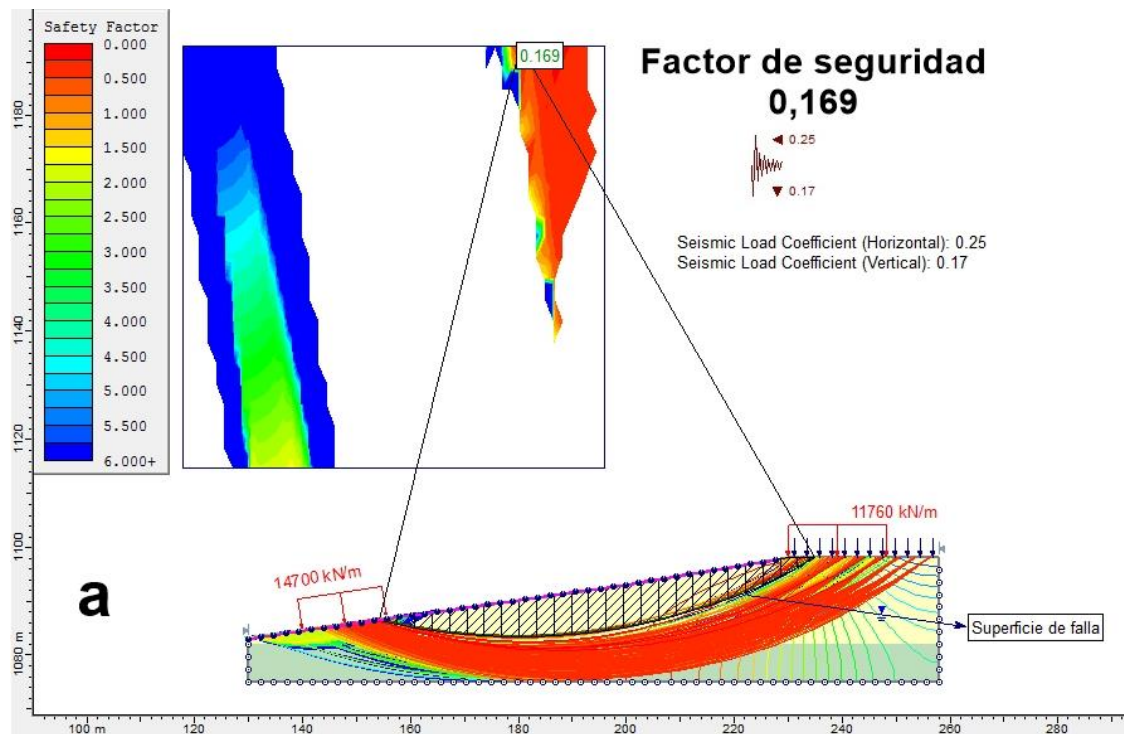


Figura 53. Estado crítico con precipitaciones lado izquierdo (Amenaza 1)
Fuente: Elaboración propia en el software Slide

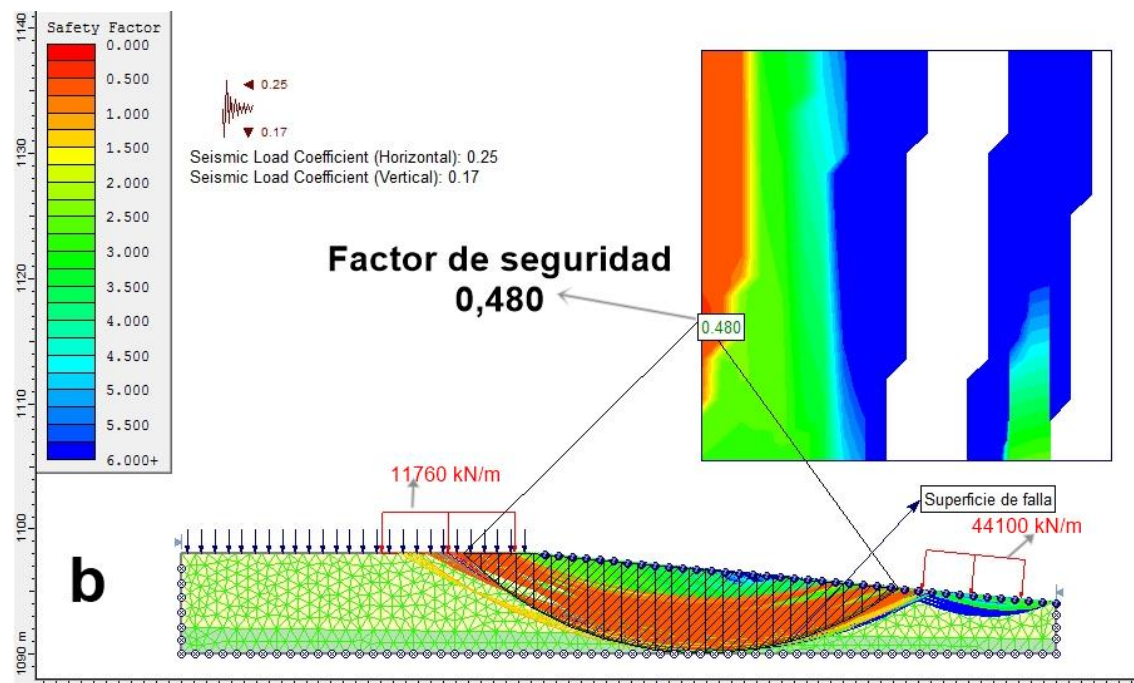


Figura 54. Estado crítico con precipitación lado derecho (Amenaza 1)
Fuente: Elaboración propia en el software Slide

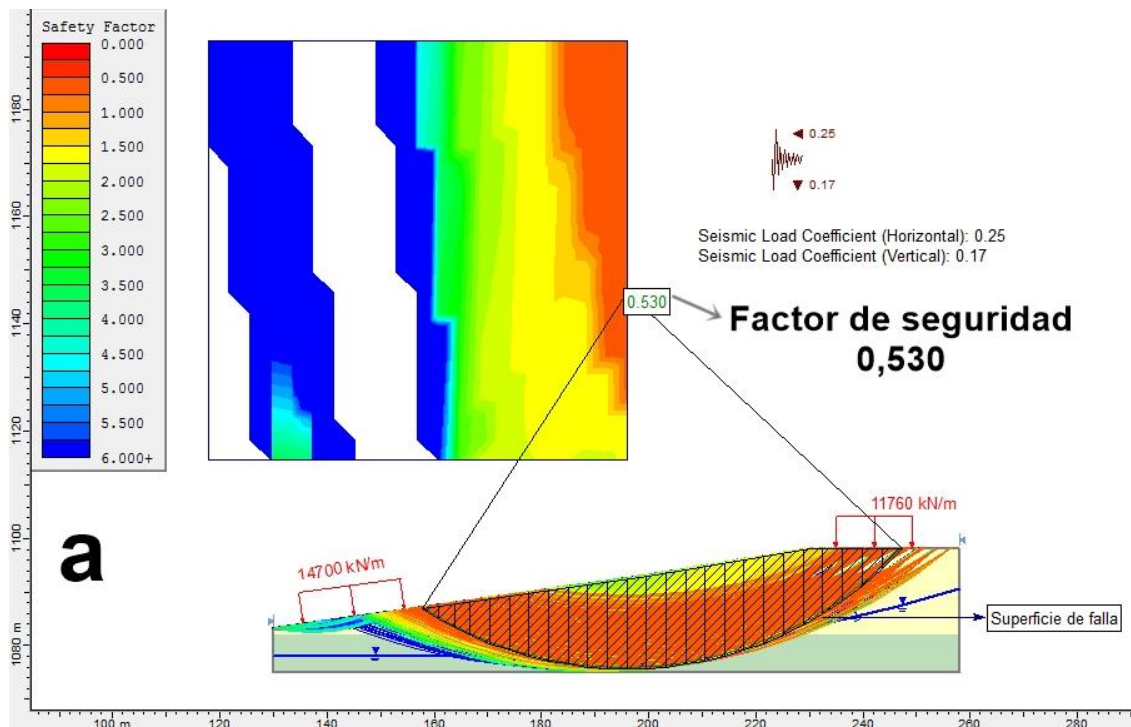


Figura 55. Estado crítico con aumento del nivel freático (húmedo) lado izquierdo (Amenaza 2)

Fuente: Elaboración propia en el software Slide

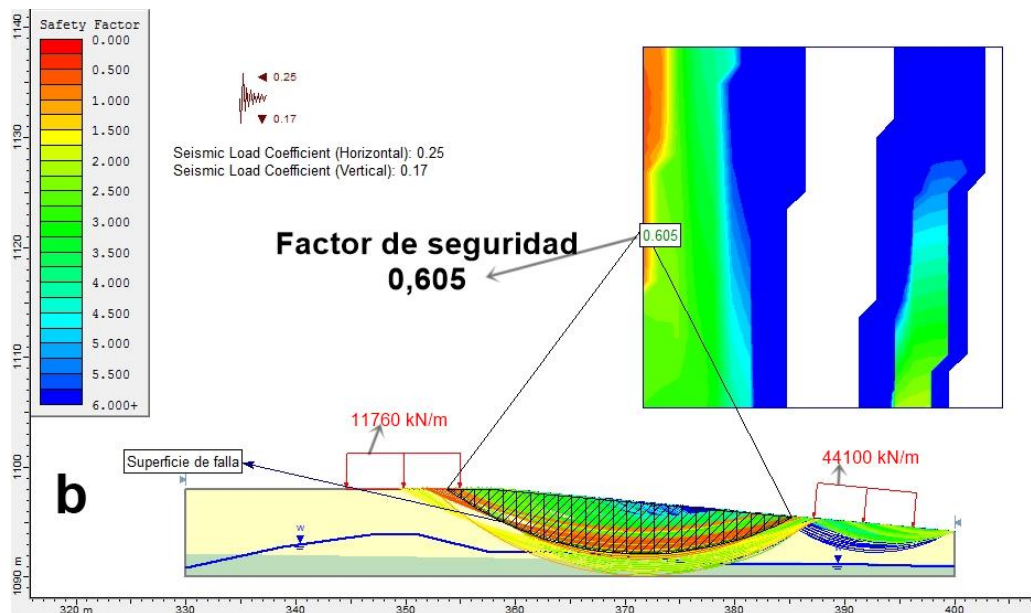


Figura 56. Estado crítico con aumento del nivel freático (húmedo) lado derecho (Amenaza 2).

Fuente: Elaboración propia en el software Slide

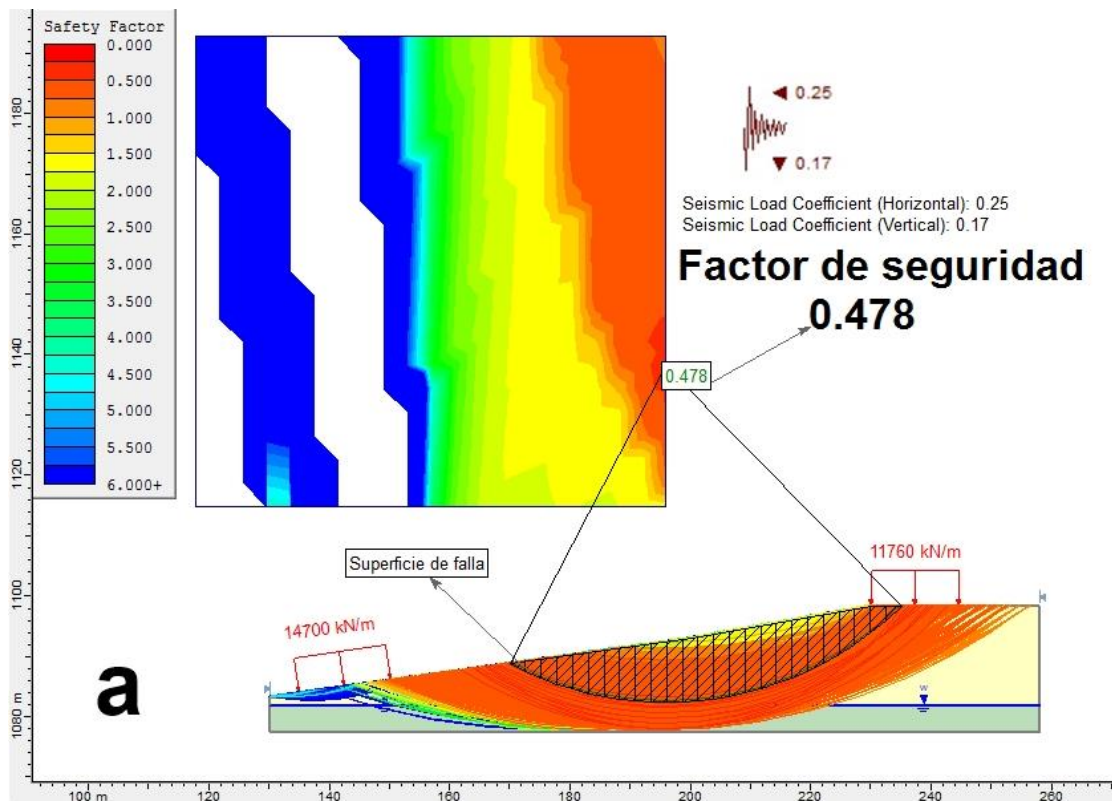


Figura 57. Estado crítico (Suelo saturado) lado izquierdo (Amenaza 2)
Fuente: Elaboración propia en el software Slide

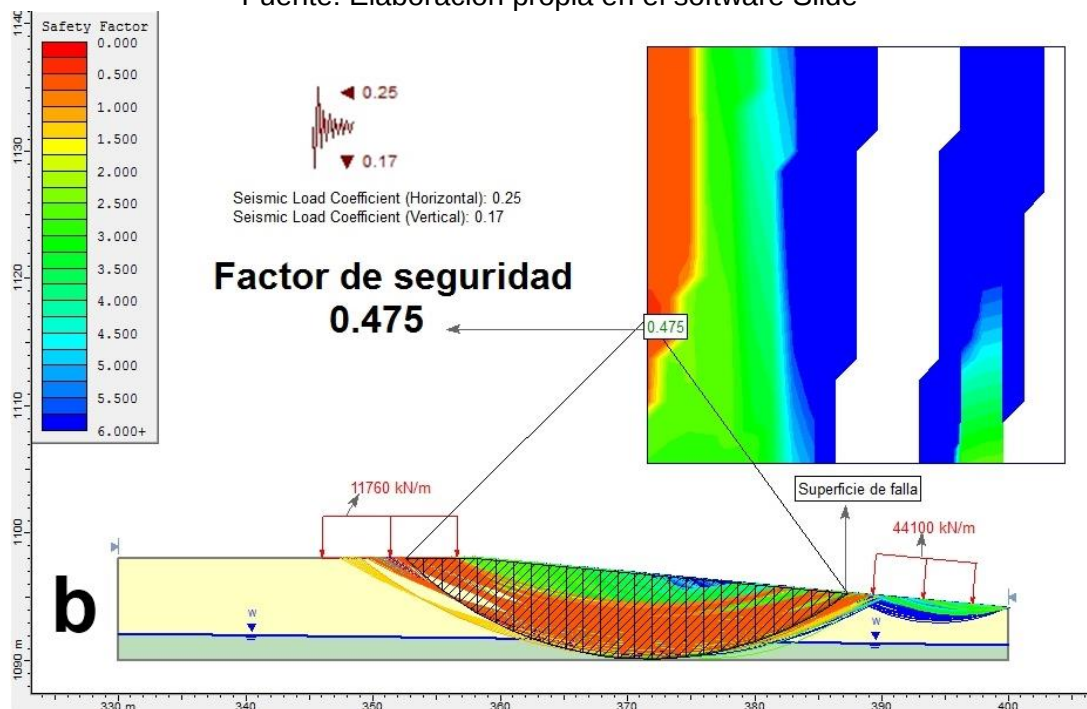


Figura 58. Estado crítico (Suelo saturado) lado derecho (Amenaza 2)
Fuente: Elaboración propia en el software Slide

En las Figuras (53 a 58) se observa que el factor de seguridad de la ladera es menor cuándo se modela el área bajo la influencia de las precipitaciones, en comparación con los niveles de la napa de agua, lo anterior indica según lo dicho por Aristizábal, Martínez y Vélez (2010), que el suelo presenta altos valores de permeabilidad saturado, es decir que, una vez se infiltre la precipitación, la arcilla se hidrata y expande perdiendo así, la cohesión de sus partículas Figura 59.



Figura 59. Hidratación del suelo arcilloso. Fuente: Tomada de Asencio et al, s.f.
Procesos geológicos externos y sus riesgos en línea

A través de los años, se han desarrollado criterios con respecto a qué valores de factor de seguridad son apropiados para múltiples situaciones. Por ejemplo, la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA) y otras agencias usan un valor de $F = 1,5$ para la estabilidad de las pendientes a largo plazo. La mayoría de los ingenieros geotécnicos utilizan $F = 2,5$ a $3,0$ para la capacidad de carga, y el mismo rango de valores para la seguridad contra la erosión y la tubería. (Duncan, 2000. 315). Como se ha mencionado el área de estudio no supera valores de $F = 3$ una vez se asignan cargas, este solo es mayor a 1 cuando se simula que el área se encuentra despejada (escenario 1), y en la medida que se suman las cargas, decrece hasta 0.48 y en el peor de los escenarios hasta 0,1, expresando de esta manera que la zona es geotécnicamente inestable, en otras palabras, las fuerzas cortante son mayores que las resistentes.

Los cálculos anteriores se validaron el día 20 de abril de 2017 en campo, en aquella fecha se presentaron deslizamientos detonados por la precipitación, su ocurrencia afectó a los pobladores y sus enseres. “El deslizamiento tapó las

puertas del patio en algunas casas y en otras arremetió tan fuerte que tumbó las puertas delanteras llenando las viviendas de lodo procedente del morro” dijo uno de los habitantes afectados por el evento. La Figura 60, exhibe el estado de las viviendas una vez transcurrido el fenómeno. En la Figura 61 se muestra el agrietamiento y el material que se puede deslizar en caso de un próximo evento.

Los habitantes del sector Provivienda la Magdalena en su afán de mitigar los efectos del fenómeno, ubicaron costales (Figura 62) y tinas llenas de tierra al pie de la ladera (Figura 63), lo cual en lugar de reducir la cantidad de material de caída en sus viviendas, generó una mayor presión en el talud, acelerando aún más el proceso de deslizamiento, quedando aproximadamente 20 viviendas afectadas.



Figura 60. Flujo de lodo en el sector, detonado por lluvias (20 de Abril de 2017)
Fuente: Elaboración propia



Figura 61. Estado de la ladera después del deslizamiento
Fuente: Elaboración propia



Figura 62. Costales de tierra puestos por los habitantes para detener el deslizamiento.
Fuente: Elaboración propia

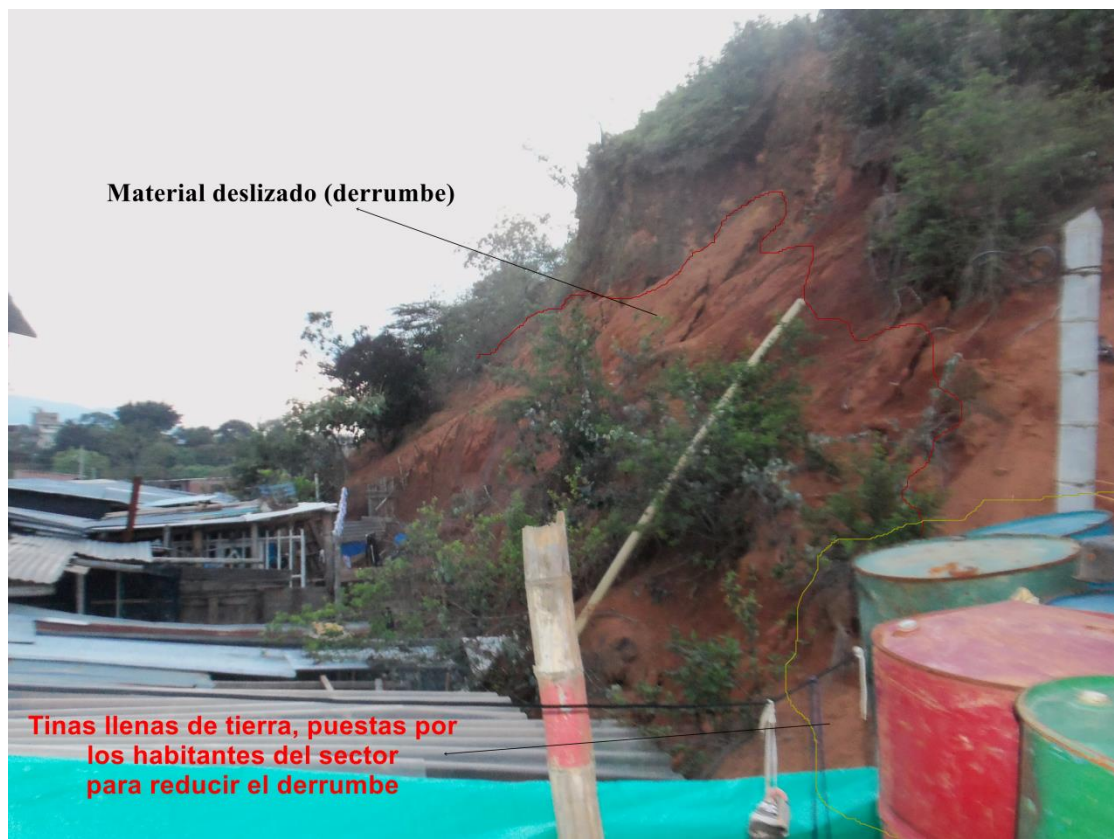


Figura 63. Tinas llenas de tierra puestas al pie de la ladera para reducir el deslizamiento

Fuente: Elaboración propia

5. CAPÍTULO IV: Elementos para la evaluación de la vulnerabilidad

Uno de los elementos fundamentales para la evaluación del riesgo es la vulnerabilidad, actualmente, se encuentra un trabajo arduo y constante realizado por muchas instituciones, académicos y expertos a nivel mundial como la UNISDR, CEPAL, GTZ, Wilches, Lavell, entre otros; pero continua siendo un tema de investigación. Cabe resaltar que la vulnerabilidad es dinámica y cambiante en el tiempo y en el espacio, es decir, que cada vez ésta trae consigo nuevos retos. La vulnerabilidad se puede considerar como la etapa más social del riesgo, en esta se integran los factores demográficos, medioambientales y estructurales de la comunidad y se considera el resultado de los propios procesos de desarrollo no sostenible.

Según la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UNISDR, 2009), existen diversos aspectos de la vulnerabilidad que surgen de factores físicos, sociales, económicos y ambientales. Estos se relacionan directamente con la interrelación de los diferentes niveles de organización de la sociedad, entre ellos, los grados de exposición a un tipo de amenaza, formas inadecuadas de construcción, la falta de información y concientización pública, la voluntad política de los dirigentes, la falta de articulación entre las entidades tomadoras de decisiones, los organismos de socorro y la comunidad para hacerle frente a los posibles fenómenos catastróficos que puedan presentarse en un espacio y tiempo determinados.

En esta etapa, se propone para estudios futuros el análisis de la vulnerabilidad frente a movimientos en masa en el sector “El Campito”, debido a que los cambios topográficos realizados por, construcciones, cambio de pendiente, nuevas vías y las condiciones propias del terreno; junto con los resultados del análisis de la susceptibilidad y la amenaza; sientan las bases que hacen necesario la realización de un estudio de detalle, lo cual puede influir en la toma de decisiones por parte de la entidad territorial.

En este estudio no se llegó al análisis de la vulnerabilidad por inconvenientes presupuestales, pero, se deja como adelanto el formulario de encuestas por hogares para el análisis de la vulnerabilidad en el asentamiento “El Campito”, anexo en este documento, lo cual es una herramienta para el levantamiento y sistematización de información de primer orden que permite adquirir las variables para el análisis de la vulnerabilidad.

Existen algunos factores que favorecen las condiciones de vulnerabilidad y situaciones de riesgo en los territorios, uno de los más importantes es la situación de pobreza, relación que se evidencia en la figura 64. La degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad, la deforestación, la escasez de agua potable, afectan negativamente los medios de vida de la población rural haciéndola más vulnerable a las amenazas ambientales.



Figura 64. Relación pobreza y vulnerabilidad

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas del Perú (MEF) y Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo. 2006

Es un hecho que las ciudades al expandirse transforman el medio y su entorno, y esto a su vez puede generar nuevos patrones de riesgo. La construcción en zonas de relleno, los asentamientos ubicados sobre los lechos de los ríos o en quebradas secas puede modificar el régimen hidrológico, desestabilizar las laderas, aumentando la amenaza de crecidas de los ríos y ocasionar deslizamientos de tierra.

Este documento sirve como un soporte para establecer la existencia de una condición de amenaza en el sector, lo cual invita a realizar estudios a detalle de la vulnerabilidad y riesgo. Aquí se presenta la caracterización de manera general de algunos elementos expuestos, sin embargo, esto solo es un insumo, el cual no es suficiente para hablar de vulnerabilidad.

La normativa vigente en el territorio colombiano, en este caso el decreto 1807 del 2014 plantea en su artículo 17. La *evaluación de vulnerabilidad*. Para evaluar la vulnerabilidad se consideran los siguientes aspectos:

- a. De acuerdo con los resultados del estudio detallado de amenazas para cada fenómeno analizado, se deben identificar y localizar en la cartografía correspondiente los elementos expuestos.

- b. Se debe establecer las características de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial.
- c. Se deben identificar los diferentes tipos de daño o efecto esperado sobre los elementos expuestos que se pueden presentar como resultado del fenómeno natural.
- d. Esta información debe zonificarse en un mapa a la misma escala del mapa de amenazas detallados estableciendo categorías de vulnerabilidad alta, media y baja, de acuerdo a las características de los elementos expuestos.

A continuación se exponen algunos insumos que van encaminados al cumplimiento de esta normativa, pero se hace necesario resaltar que solo son insumos, puesto que, para hacer cumplimiento a esta se debería partir con el mapa de amenaza y aquí se toma el de susceptibilidad por movimientos en masa para resaltar los elementos expuestos.

En el siguiente mapa (Figura 65) se logra identificar la cantidad de viviendas que se ven expuestas ante un movimiento en masa, en el sector Provivienda la Magdalena (lugar donde se realizó el estudio de la amenaza, donde por cuestiones técnicas no se espacializa cartográficamente la misma y se llama de nuevo a este punto el mapa de susceptibilidad para evidenciar los elementos expuestos. Figura 65) se tiene información de 102 predios construidos y la visión de los habitantes es seguir edificando en la parte alta del talud. Esta se registró como una fundación creada por madres cabeza de hogar con pocos ingresos. La gran mayoría de los habitantes se reconocen como víctimas del conflicto armado en el departamento de Nariño y lugares del Cauca: Toribio, Tacueyó, Jambaló, Miranda, El Palo, Corinto, Mondomo, Argelia, Buenos Aires, Timba Cauca, El Bordo Patía, El Naya, Caloto, Mercaderes, Rosas, Caldono, entre otros (Ver figura 66). De acuerdo con el análisis elaborado por la Unidad para Atención y Reparación Integral de Víctimas en el informe departamental de hechos victimizantes para el 2012 (Unidad para la reparación y atención de las víctimas, 2012), la cuida de Popayán y el municipio Santander de Quilichao son los receptores de la población desplazada de otros municipios del departamento como El Tambo, Buenos Aires, Argelia, López y Bolívar.

Normalmente las confrontaciones armadas y la lucha por la hegemonía territorial de los grupos armados sucede en áreas rurales, donde las familias desplazadas tenían acceso, ya sea formal o informal, a tierras en el municipio de origen, por ende su perfil ocupacional está ligado a las actividades del campo, con las cuales suplen sus necesidades, una vez se presenta la migración forzada estas familias llegan al área urbana donde no están preparadas para competir en los mercados laborales, tras ello enfrentan condiciones de vulnerabilidad al prescindir del principal generador de ingresos (Ibáñez, 2006).

De la información sobre salud, escolaridad y condiciones económicas no se encontró registro, por lo tanto se sugiere levantarla con el formulario encuesta creado para este proyecto.

5.1) Condiciones para la valoración de la vulnerabilidad

Tal como se mencionó, el decreto 1807 establece los aspectos que se deben considerar para valorar la vulnerabilidad de zonas expuestas a diversos tipos de amenaza. Así como un aporte para valorar la vulnerabilidad en la zona de estudio, se presentan los elementos correspondientes a amenaza, identificación de elementos expuestos, quedando pendiente la evaluación de la fragilidad y los diferentes tipos de daños esperados en función de sus capacidades, que deben ser definidas a partir del trabajo de campo que se realice en la zona. De esta manera también queda faltando la espacialización o zonificación de la vulnerabilidad.

Cabe resaltar que el estudio no llegó a estos resultados por las razones anteriormente expuestas.

5.1.1) Condiciones de amenaza

Por las condiciones topográficas los niveles de susceptibilidad en el sector El Campito están distribuidos de la siguiente manera: baja para el “Barrio” Bajo Lourdes; Nueva Colonia I y II, poseen valores bajos e intermedios, al igual que “El Campito”; y por último la Fundación Provivienda la Magdalena, en la cual, el resultado es alto. Una vez se evaluó la susceptibilidad del sector a los movimientos en masa, se procedió a calcular el Factor de seguridad en la ladera susceptible a este tipo de fenómeno, de ello se obtuvo que en condición crítica el talud del lado izquierdo es menos estable que el derecho.

Las estructuras del sector Provivienda la Magdalena, se encuentran altamente expuestas debido a que el factor de seguridad es 0,6; el deber ser es que el valor este por encima de 1,5. Para predios edificados en concreto, lo cual es la visión en el sector.

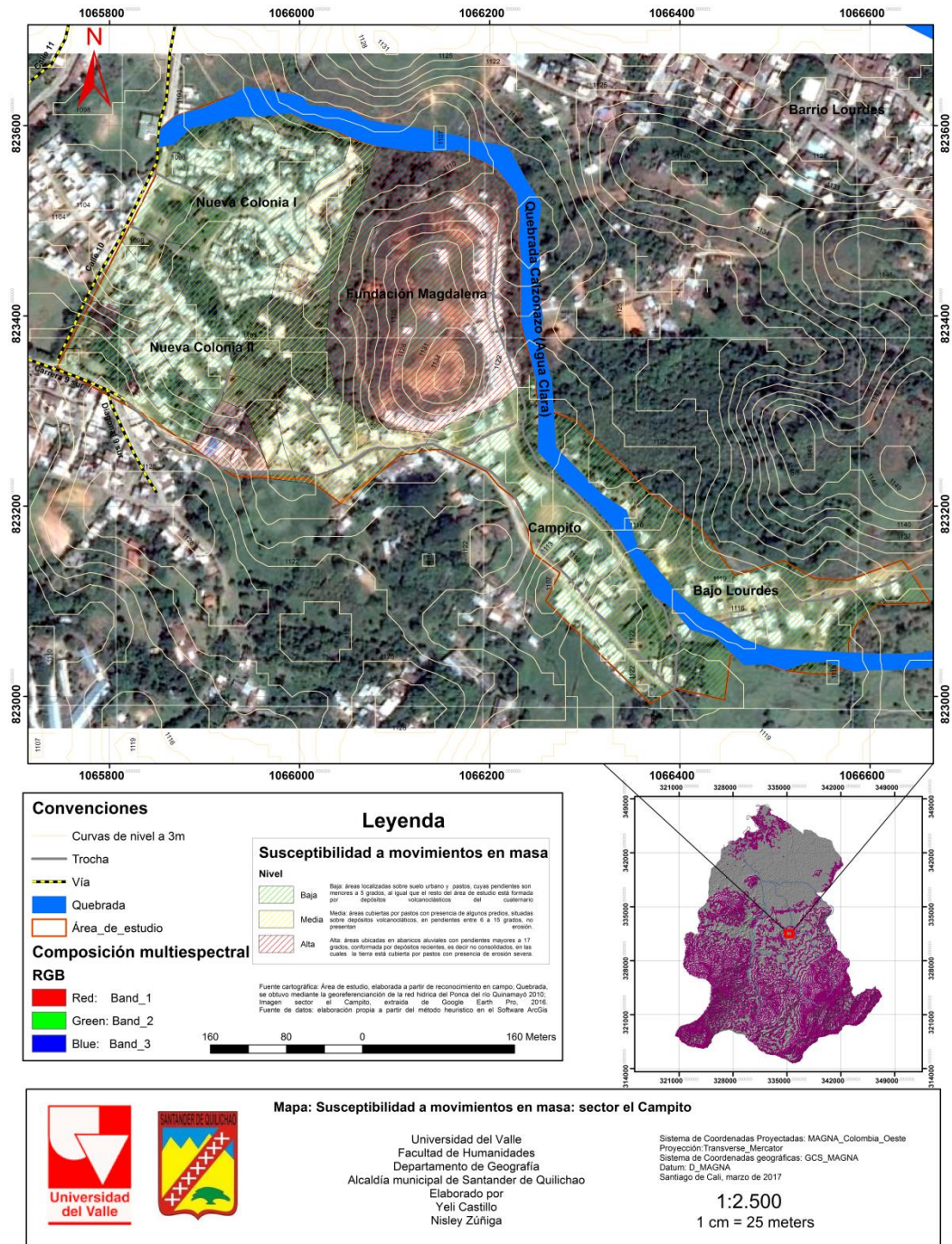


Figura 65. Susceptibilidad identificada en los predios del Campito y Fundación Magdalena

Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento de la información

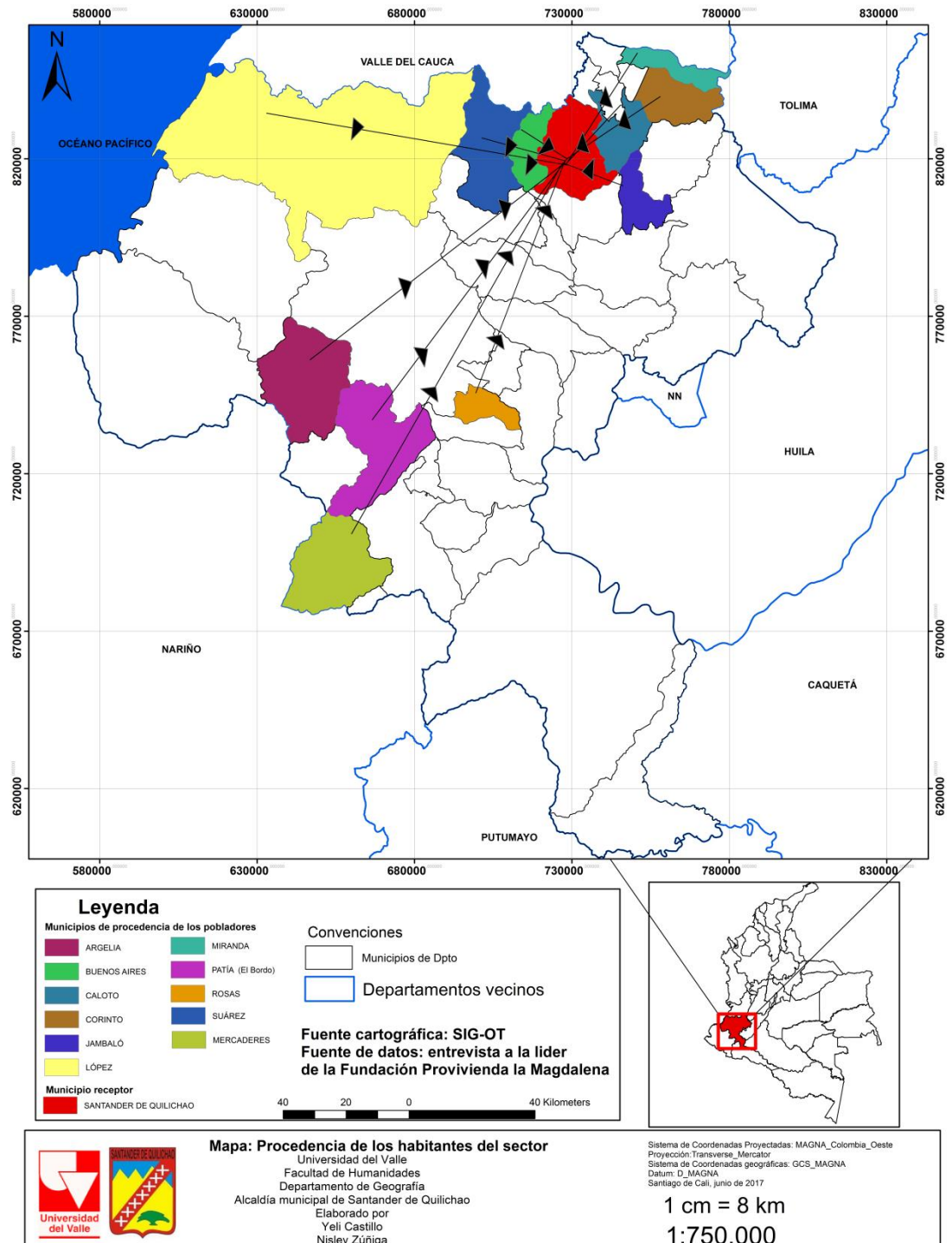


Figura 66. Procedencia geográfica de los habitantes del sector

Fuente: Elaboración propia

5.1.2) Identificación de elementos expuestos

Corporales.

Además de la cantidad de menores de edad se logró identificar en salida de campo algunas personas en condición de discapacidad motriz y auditiva, otros con enfermedades con tratamiento permanente. Es necesario levantar información que permita una evaluación de la fragilidad de las personas que se exponen ante esta amenaza.

Viviendas

Las viviendas del sector se caracterizan por tener medidas aproximadas de 7 X 21 metros, están construidas en guadua, tablas, material reciclable, malla o tela verde para cerramiento (costal), concreto y plástico. Pisos en tierra y techos de zinc (Figura 67), a su vez se identifica el alcantarillado rudimentario con el que cuenta el sector, donde todos los desechos van a la quebrada Agua Clara (Calzonazo) (ver Figura 68). Este tipo de alcantarillado, configura otros escenarios de riesgo asociados a epidemias, virus y vectores.

Se presentan formas de construcción inadecuadas, quizás por el bajo nivel de ingresos de los pobladores, inexistencia, desconocimiento o incumplimiento de normas de construcción, uso de tecnologías inadecuadas al medio, también influye la no percepción del riesgo por parte de la población y las autoridades.

En la actualidad la zona no tiene el reconocimiento por parte de la alcaldía pero la comunidad está trabajando en busca de ese reconocimiento, hay juntas de acción comunal y grupos comunitarios que muestran poder adquisitivo y prospectivamente se nota que puede cambiar el material de la vivienda e incluso este proceso se está llevando a cabo, lo que indica que cada día se exponen más ante la amenaza.



Figura 67. Material de las viviendas en el área de estudio

Fuente: Ceidy Castillo y Nisley Zúñiga



Figura 68. Alcantarillado improvisado

Fuente: Ceidy Castillo y Nisley Zúñiga

Funcionales

La infraestructura funcional identificada en el área de estudio es: Gasoducto Pradera – Popayán (Ramal Pradera-Jamundí-Popayán), la Casa de Justicia y el puente de acceso al sector, el cual conecta el casco urbano y la zona rural por la carrera 10.

Gasoducto Pradera – Popayán, este elemento expuesto (figura 69) posee una longitud de 119580 km y un diámetro de 4 pulgadas, por ser una conexión regional transporta un volumen de 3,675 (KPCD) miles de pies cúbicos estándar por día (Progasur) (en unidades equivalentes al sistema internacional de unidades), que por la ocurrencia de un deslizamiento en el área de estudio, aproximadamente a

un kilómetro de distancia, no se vería afectado; sin embargo, la tubería si podría ser afectada por una avenida torrencial, no obstante, la empresa menciona que el gasoducto cumple con las normas técnicas exigidas a nivel Nacional e internacional, para este tipo de tubería (Ver tabla 13).



Figura 69. Señalización del paso del gasoducto
Fuente: Ceidy Castillo y Nisley Zúñiga

Tabla 13. Características técnicas de diseño del Gasoducto

Característica	Norma NTC 3728	Progasur
Espesor de la pared	No superior a 1,14 veces el menor espesor medido para las tuberías menores que la NPS 20, y no mayor a 1,11 veces el menor espesor medido, para las tuberías NPS 20 o mayores.	La tubería tiene una resistencia 1.84 veces mayor de la que se exige para un gasoducto como el que circula por Santander de Quilichao, excediendo, las demandas de seguridad en su diseño y construcción de la normatividad técnica.
Profundidad	Superior a 100 cm (39,4 pulgadas) (pág. 36)	1,20 m

Fuente: NTC 3728, Sentencia AP 001 y la página Web de la empresa Progasur

La figura 70 enseña la tubería expuesta ante el desbordamiento de la quebrada calzonazo, una avenida torrencial y posiblemente al arrastre de material (palizadaso rocas) que pueden generar averías en esta tubería, generando una reacción en cadena negativa, ocasionando la pérdida del fluido en barrios como

Nariño, Villa María y Canalón. Cabe mencionar que este elemento no está expuesto a movimientos en masa.



Figura 70. Tubería de agua Fuente: Ceidy Castillo y Nisley Zúñiga

Casa de justicia municipal.

Esta estructura (figura 71) no se vería directamente afectada por el desenlace de Movimientos en masa, debido a que la distancia que existe entre la zona crítica y este lugar es considerable, pero se considera que pueden presentarse daños colaterales posterior a un evento de movimiento en masa, este lugar ya se ha visto perturbada por inundaciones, asociada al crecimiento de la quebrada Calzonazo (Agua Clara).



Figura 71. Casa de Justicia municipal

Fuente: Ceidy Castillo y Nisley Zúñiga

Elementos ambientales.

La quebrada Agua Clara o Calzonazo más que la contaminación que sufre debido a que el sector no cuenta con alcantarillado público, en el momento de ocurrencia de un deslizamiento se podría generar un taponamiento del cauce formando a su vez otro escenario de riesgo atribuido a una inundación (Figura 72).



Figura 72. Quebrada Agua Clara o Calzonazo

Fuente: Ceidy Castillo y Nisley Zúñiga

6. CONCLUSIONES

En el reconocimiento de campo se logró delimitar el lugar de investigación, el cual presenta un área de 0,21 km² donde se denota que el sector se conforma de cinco asentamientos de desarrollo incompleto los cuales son: Nueva Colonia I y II, Fundación Provivienda la Magdalena, Bajo Lourdes y El Campito, de los cuales este último cuenta con todos los servicios públicos y las condiciones necesarias para la legalización del sector.

De acuerdo con los cálculos realizados, la susceptibilidad es alta en áreas compuestas por materiales no consolidados y cuya pendiente es mayor a 17 grados (Fundación Provivienda la Magdalena), para aquellas zonas donde la pendiente oscila de 5 a 16 grados la susceptibilidad de la ladera disminuyó (parte alta de los "barrios" Nueva Colonia I y II), con eso se concluye que el ángulo de inclinación de ladera determina los niveles de susceptibilidad en el sector.

Con el cruce de la información geológica, geomorfológica, suelo y cobertura de la tierra se concluye que el sector de Provivienda la Magdalena presenta susceptibilidad alta, Las Colonias presentan susceptibilidad media en la parte alta y baja en la base, el sector Bajo Lourdes y El Campito presentan susceptibilidad baja. Por lo tanto el cálculo de la amenaza se realizó donde los resultados de la susceptibilidad dieron altos.

La modelación del factor de seguridad para la ladera que conforma la Fundación Provivienda la Magdalena presenta unos niveles menores a 1, específicamente (0,1 y 0,6), lo que indica que el sector no cuenta con las condiciones mínimas para la edificación. En tres de los cinco escenarios el talud izquierdo posee valores bajos en comparación con el derecho, es decir, la ladera izquierda es más inestable, esto se atribuye a que el nivel freático es superficial y la pendiente es más pronunciada en este lado, a pesar que la presión en la base es mayor en el perfil derecho.

Los cálculos realizados para determinar la cantidad de lluvia necesaria para detonar el fenómeno sugieren que, aproximadamente con 16 mm de precipitación puede acontecer un movimiento en masa. En efecto, las precipitaciones cortas e intensas pueden detonar deslizamientos más rápidos que el aumento del nivel freático en el sector, ya que estas se infiltran en el suelo, disminuyendo su cohesión, lo que genera fracturas que posteriormente se convierten en material deslizado.

El sector Provivienda la Magdalena presenta amenaza alta ante deslizamiento, por lo anterior se debe evitar el aumento de las construcciones en el ápice del talud, dado que ha mayor presión en este, la estabilidad de la ladera disminuye. En otras palabras, los resultados de la amenaza indican que las características intrínsecas del sector Provivienda la Magdalena hacen que sus suelos no sean aptos para la construcción de viviendas. Por lo tanto, desde la planificación territorial se debe determinar un uso del suelo adecuado, el cual puede ser de conservación

ambiental donde los usos destinados se relacionen con actividades de recreación, parques, jardines etc., que no influyan en la desestabilización de la ladera.

En cuanto a los elementos expuestos, en el sector se verían directamente afectados por movimientos en masa las personas (corporales) y las viviendas del sector Provivienda la Magdalena (estructurales), seguido de los elementos ambientales por la cercanía que existe desde donde ocurren los deslizamientos hasta la quebrada Calzonazo, esta afectación trae consigo otras consecuencias que podrían ser catastróficas como lo es un represamiento de la quebrada a causa del material trasladado. Los elementos de la infraestructura funcional son los menos afectados debido a que los puentes, gasoducto, casa de justicia, entre otros, se encuentran a una distancia considerable del área en condición de amenaza alta.

Los habitantes del sector son principalmente personas víctimas del desplazamiento forzado en sus lugares de origen como lo son: Argelia, El Bordo, Buenos Aires, Caloto, Miranda, entre otros sectores del Norte del Cauca.

A pesar de que no existen estudios que indiquen los niveles de contaminación en el sector, es evidente que por el alcantarillado rudimentario en Las Colonias, Bajo Lourdes y Fundación Provivienda la Magdalena, los residuos son depositados en la quebrada Calzonazo causando contaminación y proliferación de vectores que pueden causar epidemias y afectaciones considerables en los pobladores.

7. RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS

Que los resultados obtenidos durante el proceso sean socializados de nuevo ante concejo de gobierno y la comunidad con el fin de concientizar a las personas de la situación de riesgo a los que se encuentran expuestos

Realizar las exploraciones geotécnicas en cumplimiento al decreto 1807 del 2014, que permita ajustar los contenidos de este documento logrando así tener mayor calidad de los productos para la toma de decisiones por parte de la administración municipal.

Bajo el principio de precaución que demanda la ley 1523 del 2012 se hace necesario realizar estudio de vulnerabilidad y riesgo en el sector “El Campito” debido a que se han presentado antecedentes que evidencian la afectación a los habitantes del sector por múltiples fenómenos de origen natural a los que se ven expuestos, como vendavales, inundaciones y deslizamientos de tierra.

Es necesario hacer un trabajo arduo entre las entidades territoriales con el fin de realizar capacitaciones encaminadas al conocimiento, reducción y manejo del desastre, para que en conjunto puedan conformar un ensamble entre el conocimiento técnico que pueden aportar los funcionarios encargados de la gestión del riesgo y los habitantes de los sectores, quienes tiene la experiencia y evidencia del comportamiento del territorio; pues la gestión del riesgo de desastres es un compromiso de todos, logrando así fomentar estrategias como planes locales de emergencia, crear sistemas de alerta temprana, comités entre los líderes de los sectores (para programar capacitaciones de prevención y atención de emergencias), entre otras acciones, que les permita la preparación ante futuras situaciones de riesgo.

Programas de prevención y atención de desastres articulados con la comunidad que les permita realizar planes de monitoreo constante de afluentes de agua, laderas, franja forestal entre otros, que le permita la prevención y atención oportuna de emergencias. También que se realicen estudios de accesibilidad y conectividad entre los sectores con condición de riesgo y las entidades encargadas de la atención de emergencias con el fin de determinar los tiempos y las vías de acceso más adecuadas para la atención del evento.

Que se continúe la propuesta aquí presente y se realice el estudio de vulnerabilidad y riesgo en el sector del campito no solo ante movimientos en masa sino ante otros fenómenos naturales y humanos no intencionales que se pueden presentar en el sector.

Bajo el principio de precaución expresado en la ley 1523 del 2012 deberían tomarse medidas correctivas en la fundación Provivienda la Magda debido a que el estudio realizado en este proyecto indica que el sector se encuentra amenazado por los deslizamientos de tierra, las condiciones en que viven los habitantes y las características de las viviendas los hace vulnerables. Se presenta una frecuencia de afectaciones en el sector durante los periodos de lluvia, lo que indica, que en estas temporadas se debe mantener un mayor monitoreo.

Mientras las entidades encargadas de prestar los servicios de acueducto, alcantarillado, y energía eléctrica, continúen proporcionando estos servicios en asentamientos de desarrollo incompleto, con condiciones de riesgo, no se logrará la prevención de los desastres, puesto que, al suplir una necesidad tan básica como esta, lo que están logrando es la legalización del riesgo.

El componente de gestión del riesgo de desastres es eje estructurante para la planificación y el ordenamiento territorial, en general el municipio Santander de Quilichao requiere un mayor conocimientos de las zonas en condiciones de riesgo que le permita desde la prospectiva formular estrategias para la prevención de los desastres, logrando así mantener una armonía territorial, evitando grandes pérdidas económicas para el municipio y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA NAVARRO, María Alejandra. Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la Región del Maule. Talca, 2007, 154 h. Trabajo de grado (Ingeniero Forestal). Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal. Documento en línea, consulta [19 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/aguilera_a.pdf>
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE CALOTO. Plan básico de ordenamiento territorial: Recurso hídrico. [En línea]. Consulta [16 de diciembre de 2017]. Disponible en: <<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/caloto/04%20%20SUBB.%20FISICO%20BIOTICO%20-%20HIDRICO-final.pdf>>
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE SANTANDER DE QUILICHAO. Información del municipio. [En línea]. Consulta [14 de mayo de 2016]. Disponible en: <<http://santanderdequilichao-cauca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>>
- ALCALDÍA MUNICIPAL DE SANTANDER DE QUILICHAO. CONCEJO MUNICIPAL. Plan municipal para la gestión del riesgo de desastre 2014-2027. Santander de Quilichao, Mayo de 2016. 300p.
- ALEOTTI, Pietro. A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology*, 2004, vol. 73, no 3, p. 247-265. [Documento en línea]. Consulta [24 de junio de 2017]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/223232501_A_warning_system_for_rainfall-induced_shallow_failures>
- ALFONSO, C. A., et al. A Tertiary fold and thrust belt in the Valle del Cauca Basin, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 1994, vol. 7, no 3-4, p. 387-402.
- ANDERSON, Scott A. y SITAR, Nicholas. Analysis of rainfall – induced for debris flows. *En: Journal of geotechnical engineering*, vol. 121, No. 7 (Julio de 1995); p.544-552. [Documento en línea]. Consulta [13 de junio de 2017]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/240504732_Analysis_of_Rainfall-Induced_Debris_Flows>
- ANGELONE Silvia; GARIBAY María T. y CAUHAPÉ CASAUX Marina. Geología y geotecnia: Permeabilidad de suelos. Universidad Nacional del Rosario septiembre de 2006. 39 p. [Documento en línea] Consulta [22 de agosto de 2017]. Disponible en:

<<http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>>

- APARICIO MIJARES, Francisco Javier. Fundamentos de hidrología de superficie. Ciudad de México: Limusa de Noriega Editores, 2001. 303 p. ISBN 968-18-3014-8
- APUNTES DE INGENIERIA CIVIL. Cohesión y Fricción Interna: Propiedades del Suelo. 2011.[En línea]. Consulta [19 de enero de 2017]. Disponible en:<<http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co/2011/02/cohesion-y-friccion-interna-propiedades.html>>
- ARISTIZÁBAL, Edier; MARTÍNEZ, Hernán; VÉLEZ, Jaime Ignacio. Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. En: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y Naturales, vol. 34, No. 131(junio de 2010); p. 209-227. ISSN 0370-3908. [Documento en línea]. Consulta [25 de abril de 2017]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Edier_Aristizabal/publication/234076770_Una_revision_sobre_el_estudio_de_movimientos_en_masa_detonados_por_lluvias/links/00b4951a0b2e8c0f3f000000.pdf>
- **ASENSIO, Antonio, et al.** Procesos geológicos externos y sus riesgos. [En línea]. Consulta [20 de mayo de 2017]. Disponible en: <<http://www.biologiasur.org/Ciencias/index.php/geosfera/procesos-geologicos-externos-y-sus-riesgos>>
- BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis. Estabilidad de taludes. [Documento en línea]. Consulta [16 de enero de 2017]. Disponible en: <http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010301.pdf>
- BARBOSA CAMACHO, Gonzalo. Memoria explicativa mapa geológico del departamento del Cauca. En: INGEOMINAS. (Febrero de 2003) 221 p.
- BARREDO, José, *et al.* Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2000, vol. 2, no 1, p. 9-23.
- BISHOP, Alan W. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Journal Geotechnique*. Vol 5, no 1 (marzo de 1955), p 7 – 17. [Documento en línea]. Consulta [13 de enero de 2017]. Disponible en: <<http://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/geot.1955.5.1.7>>
- CALVO GARCÍA, Francisco. Sociedades y territorios en riesgo. Barcelona, España: Ediciones el Serbal, 2001. 186p. ISBN 8476283784
- CARDONA, Omar Darío. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. En: MASKREY, Andrew. Los desastres no son naturales. MASKREY.A (ed.), 1993, p. 51-74.
- CARDOZO, Claudia Paola. Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina). Córdoba – Argentina, 2013, 115 h. Tesis Maestría. Universidad nacional de

Córdoba. Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich. [Documento en línea] consulta [4 de abril de 2017]. Disponible en:

<http://aulavirtual.ig.conae.gov.ar/moodle/pluginfile.php/512/mod_page/content/86/Tesis_Maestria_CONAE-Paola-Cardozo.pdf>

- CARRARA, Alberto, *et al.* Current limitations in modeling landslide hazard. *En: Proceedings of IAMG*. Vol. 98, (October, 1998); p. 195-203.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1523 de 2012: por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones. [Documento en línea]. Consulta [16 de enero de 2017]. Disponible en: <<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>>
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Código penal Colombiano: Ley 599 de 2000. Bogotá. 24 de julio. 318 p [Documento en línea]. Consulta [16 de enero de 2017]. Disponible en: <http://oig.cepal.org/sites/default/files/2000_codigopenal_colombia.pdf>
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1753 de 2015: por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018 “Todos por un nuevo país”. [Documento en línea]. Consulta [16 de enero de 2017]. Disponible en: <<http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/leyes/Documents/LEY%201753%20DEL%2009%20DE%20JUNIO%20DE%202015.pdf>>
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. 2014 108 p.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente: NSR-10. Bogotá, marzo de 2010. Tomo I. [Documento en línea] consulta [31 de mayo de 2017]. Disponible en <http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf>
- COLOMBIA. TRIBUNAL ADMINISTRATIVO DEL CAUCA. Sentencia AP 001. Popayán, febrero 5 de 2015. 32p. [Documento en línea]. Consulta [junio 16 de 2017]. Disponible en: <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiBps3uzqLVAhXH6yYKHfeXDTQQFgghMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ramajudicial.gov.co%2Fdocuments%2F2218210%2F5762999%2F19001230000120100046400.doc%2F6375d2cb-9c0a-49c4-8a55-97d3210ae25a&usg=AFQjCNGtATOI915ZNm6a4pb_qHw_l0tWSQ>

- COLOMBIA-MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Bases conceptuales para la formulación del ordenamiento territorial departamental en el marco de la LOOT / Ley 1454 DE 2011. Bogotá, 2012. [Documento en línea]. Consulta [16 de octubre de 2016]. Disponible en: <<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/Bases%20conceptuales%20para%20la%20formulaci%C3%B3n%20del%20ordenamiento%20territorial%20departamental%20-%20MVCT.pdf>>
- CORAL MONCAYO, Hugo. Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonificación sísmica de áreas urbanizadas en Andorra. Barcelona, 2002, 207 h. Tesis Doctorado. Universidad de Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. Disponible en el catálogo en línea de la biblioteca de la Universidad de Politécnica de Cataluña: <<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93537?locale-attribute=en>>
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA (CARDER). Informe de neotectónica. Proyecto para la mitigación del riesgo sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Corp. Autónoma de Risaralda, CARDER. 1998.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, et. al. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca Hidrográfica Río Quinamayó Cauca: Aprestamiento y diagnóstico. Santander de Quilichao. Diciembre de 2010. 259 p
- COSTA, John .E. y BAKER, Victor .R. Surficial Geology: Bulding with the Herat. John Wiley, New York. 1981.510 p
- CROSTA, G. B.; FRATTINI, P. Distributed modelling of shallow landslides triggered by intense rainfall. *Natural Hazards and Earth SystemScience*, 2003, vol. 3, no 1/2, p. 81-93. [Documento en línea]. Consulta [9 de octubre de 2016]. Disponible en:<<https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/299004/filename/nhess-3-81-2003.pdf>>
- CROSTA, Giovanni. Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation. *EnvironmentalGeology*, 1998, vol. 35, no 2, p. 131-145.[Documento en línea]. Consulta [9 de octubre de 2016]. Disponible en:<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45190006/RAINFALL_REGIONALIZATION.pdf?>
- DESINVENTAR. Colombia-inventario histórico nacional de pérdidas. [en línea]. Consulta [15 de septiembre de 2016]. Disponible en: <https://online.desinventar.org/desinventar/#COL-1250694506-colombia_inventario_historico_de_desastres>
- DUNCAN, J. Michael. Factors of safety and reliability in geotechnical engineering.Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 2000, vol. 126, no 4, p. 307-316. [Documento en línea]. Consulta [15 de abril de 2017] Disponible en:

<<http://geo.cv.nctu.edu.tw/prob/download/Factors%20of%20Safety%20and%20Reliability%20in%20Geotechnical%20Engineering.pdf>>

- GARCÍA RODRÍGUEZ, María. Metodologías para la evaluación de peligrosidad a los deslizamientos inducidos por terremotos. Madrid, 2008, 323p. Tesis doctoral. Programa de Doctorado en Ciencias y Tecnología de la Ingeniería geodésica y cartográfica. Universidad de Alcalá. Departamento de Matemáticas. [En línea], Consulta [19 de noviembre de 2016]. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/286357563_Metodologias_para_la_evaluacion_de_la_peligrosidad_a_los_deslizamientos_inducidos_por_terremotos>
- GAVILANES, J. Hernán. Parámetros geotécnicos y estabilidad de laderas. [Documento en línea] Consulta [10 de junio de 2017]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/metuq/estabilidad-de-taludes-18624871>
- GEOSTRU. Estabilidad de taludes. [En línea]. Consulta [14 de febrero de 2017] Disponible en: <<http://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes/>>
- GÓMEZ TAPIAS, Jorge et al. Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015. Bogotá. 2015. 429p.
- GÓMEZ VELÁSQUEZ, Juan Felipe; CARVAJAL PERICO, José Henry; OTERO GARCÍA, Javier; Propuesta de estandarización de los levantamientos geomorfológicos en la zona costera del Caribe colombiano. Convenio Especial de Cooperación Colciencias – Gobernación del Magdalena - Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Martha, 2012. 110 p ISBN: 978-958-98049-3-3
- GONZALEZ DE VALLEJO, Luis et al. Ingeniería geológica. Pearson educación, Madrid, España, 2002. 744p. [Documento en línea]. Consulta [14 de agosto de 2016] Disponible en: <https://www.academia.edu/23657344/PWiiimir_at_BULLET_II_t_i_M_J_r_m_m_r_11_at_BULLET_at_BULLET.del_2016>
- GUZETTI, F. 2009. Statics of landslide sizes to determine landslide mobilization rates and to ascertain landslide hazard and risk. International Conference in Commemoration of the 10th Anniversary of the 1990 Chi-Chi Earthquake, Taiwan.
- HERNÁNDEZ IPIA, James Jhonier. RESEÑA HISTÓRICA: “barrio” El Campito. Líder comunitario de la “Asociación Popular de Vivienda campito O.P.V” Sector el Campito. Santander de Quilichao, 5 de octubre de 2016
- IBÁÑEZ, LONDOÑO Ana María. La estabilización económica de la población desplazada. Colombia: Litocamargo, 2006. 30p. ISSN: 1909-4310. [Documento en línea]. Consulta [23 de junio de 2017]. Disponible en: <http://www.acnur.org/t3/uploads/media/COI_1846.pdf>
- INGEOMINAS, CVC. Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa–Guía Metodológica. Santa fe de Bogotá, DC, 2001.

- INGEOMINAS; AIS y UNIANDES.1998. ESTUDIO GENERAL DE AMENAZA SISMICA DE COLOMBIA. 2ed Bogotá
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS CERTIFICACIÓN. Gasoductos: líneas de transporte y redes de distribución de gas. Bogotá: ICONTEC, 2001. 78 p. (NTC 3728).[Documento en línea]. Consulta [6 de julio de 2017].Disponible en: <file:///C:/Users/Pc/Downloads/NORMA_TECNICA_NTC_COLOMBIANA_3728_GASODU.pdf>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM). Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa, Bogotá 2012. [Documento en línea]. Consulta [16 de octubre de 2016]. Disponible en:<http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152732/Metodologia+suscept+FRM_oficial_final.pdf/6ded04e2-9378-440f-8902-2e6c92fcc745>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Cauca escala 1:100.000. Bogotá: imprenta nacional de Colombia, 2009. 556p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI México). Modelos Digitales de Elevación (MDE)-descripción: ¿qué es un modelo digital de elevación? [En línea]. Consulta [15 de Diciembre de 2016]. Disponible en:<<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/quees mde.aspx>>
- JARAMILLO J., Daniel. Introducción a la ciencia del suelo. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. 2002. 613 p. [Documento en línea]. Consulta [14 de septiembre de 2016]. Disponible en:<<http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>>
- KELLER, Edwar y BLODGETT, Robert. Riesgos naturales: procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Madrid, España: Person educación, S.A, 2007. 422p.
- LAVELL, Allan. Comunidades urbanas, vulnerabilidad a desastres y opciones de prevención: una propuesta de investigación- acción para Centroamérica. En: LAVELL, Allan. Viviendo en riesgo: comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina. Colombia: tercer Mundo Editoriales, 1994. p. 59-82.
- LÓPEZ CARDONA, Myriam C. Análisis de deformación tectónica en los piedemontes de las Cordilleras Central y Occidental Valle del Cauca, Colombia – Contribuciones Paleosísmicas. Medellín, 2006, 18 p. trabajo de grado (Magíster en ciencias de la tierra). Universidad EAFIT. Facultad de geología. [Documento en línea]. Consulta [20 de octubre de 2016].

Disponible en:

<<http://www.osso.org.co/docu/tesis/2006/piedemontes/Presentacion.pdf>>

- LUNA GONZÁLEZ, Antonio. “La concepción del espacio geográfico. Corrientes actuales y metodología del trabajo científico”. (2010). (Sección Temario de oposiciones de Geografía e Historia), *Proyecto Clío* 36. ISSN: 1139- 6237. En [línea] consulta [15 de noviembre de 2016]. Disponible en <<http://clio.rediris.es>>
- MARTÍNEZ, Juan y RODRÍGUEZ, Jorge. Zonificación geotécnica, mapas de susceptibilidad y amenaza por remoción en masa. Sociedad colombiana de geotecnia, Memoria Técnica Vol 2. VII congreso colombiano de geotecnia, Santafé de Bogotá D.C. 21,22 y 23 de octubre de 1998.
- MASSIRIS CABEZAS, Ángel. Fundamentos conceptuales y metodológicos del ordenamiento territorial, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia 2005. 121p
- MEYER William Y TURNER, B. Human population growth and global land-use/cover Change. *Annual review of Ecology and Systematics*, 1992, Vol. 23 (November), p 39-61. [Documento en línea]. Consulta [15 de abril de 2017] Disponible en: <<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.es.23.110192.000351?journalCode=ecolsys.1>>
- MEF(MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS DEL PERÚ) & GTZ (COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA). Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo. 2006. 64p. [Documento en línea]. Consulta [14 de septiembre de 2016]. Disponible en: <<http://dipecholac.net/docs/files/74-peru-conceptosasociadosalagestiondelriesgodedesastreenlaplanificacioneinversionparaeldesarrollo-ministeriodeeconomaiyfinanzas.pdf>>
- MONCAYO, J. *et al.* Evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía Metodológica. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2001. 166p. ISBN 958-8060-20-6
- MORACH., Ronaldo. La variación de la posición del nivel freático y su influencia en la capacidad de carga de cimentaciones superficiales: Caso Zapata corrida infinita en un suelo de origen volcánico, Juan Viñas, Cartago, Costa Rica. En: *Revista Geológica de América Central*, 2000, no 23, p. 17-23 <http://revista.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/8577>
- NARVAEZ, Lizardo; LAVELL, Allan y PÉREZ ORTEGA Gustavo. La gestión del riesgo de desastre un enfoque basado en procesos 2009. 106p. [Documento en línea]. Consulta [14 de septiembre de 2016]. Disponible en: <file:///C:/Users/Pc/Downloads/2.5la_gestion_del_riesgo_de_desastres.pdf>

- UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES. Guía de Integración de la Gestión del Riesgo y el Ordenamiento Territorial Municipal. Bogotá. 2015. 104p. [Documento en línea]. Consulta [2 de mayo de 2017]. Disponible en: <<http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Guia-Integracion-Gestion-Riesgo-Ordenamiento-Territorial-Octubre2015.pdf>>
- UNIDAD PARA LA ATENCIÓN Y REPARACIÓN INTEGRAL DE LAS VÍCTIMAS. Cauca: Informe Departamental de Hechos Victimizantes a 2012. 23p. [Documento en línea]. Consulta [6 de julio de 2017]. Disponible en: <<https://rni.unidadvictimas.gov.co/sites/default/files/Documentos/Cauca.pdf>>
- UNIRDS (OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Panamá. 2009. 43p. [Documento en línea]. Consulta [14 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Marco de Acción de Hyogo para 2005 – 2015. Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres. 2005 [En línea]. Consulta [14 de febrero de 2016]. Disponible en: <<http://www.unisdr.org>>
- OROZCO CAÑAS, Cecilia. *et al.* Caracterización espacial y funcional de bahía Málaga. Santiago de Cali: Programa editorial Universidad del Valle, 2008. 170 p.
- PARRA, Sergio. ¿Cuánto pesa una casa? Publicado el 16 de enero de 2011. En Xatakaciencia.com. [En línea]. consulta [12 de abril de 2017] Disponible en: <<https://www.xatakaciencia.com/fisica/cuanto-pesa-una-casa-y-iii>>
- PERALTA *et al.* Delimitación de zonas de manejo con modelos de elevación digital y profundidad del suelo. 2013. En revista Interciencia de la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc.org). México (Junio de 2013), Vol. 38 N° 6, p 418 – 424. [Documento en línea]. Consulta [4 de marzo de 2017]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/html/339/33928571010/>>
- PROMOTORA DE GASES DEL SUR S.A E.S.P (ProgaSur). Gasoducto Popayán: Pradera/Jamundí (Valle del Cauca) – Popayán (Cauca) [en línea]. Consulta [3 de junio de 2017]. Disponible en: <<http://www.progasur.com.co/gasoducto.php?Men=3&Id=8>>
- PUJADAS, R FONT, J. Ordenamiento y planificación territorial. Síntesis Madrid 1998. 399p.
- RAMÍREZ, Jesús Emilio. Historia de los terremotos en Colombia. En: Documentación Geográfica. Colombia. Instituto Geográfico, 1975. 250 p

- RESTREPO, Gloria. Aproximación cultural al concepto de territorio. Estudiante del Programa de Maestría en Geografía, Convenio UPTC-IGAC, Santafé de Bogotá 2011. [Documento en línea]. Consulta [2 de mayo de 2017]. Disponible en: <<http://fundaminga.blogspot.com.co/2011/07/aproximacion-cultural-al-concepto-de.html>>
- ROCSCIENCE. Slide. [En línea]. Consulta [14 de mayo de 2017]. Disponible en: <<https://www.rocscience.com/rocscience/products/slide>>
- SÁEZ CASTILLO, Antonio José. Modelización estocástica de precipitaciones máximas para el cálculo de eventos extremos a partir de los periodos de retorno mediante R. 2009. Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén. [En línea]. Consulta [19 de mayo de 2017]. Disponible en: <<http://www4.ujaen.es/~ajsaez/informe.html.LyXconv/informe.html#x1-1002r2>>
- SANHUEZA PLAZA, C.; RODRÍGUEZ CIFUENTES L. Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. Revista de la Construcción Volumen 12 No 1 – 2013. P 17-29 [Documento en línea]. Consulta [3 de junio de 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000100003>
- SGC (SERVICO GEOLÓGICO COLOMBIANO). Sismicidad histórica de Colombia. [En línea]. Consulta [26 de abril de 2017]. Disponible en: <<http://sish.sgc.gov.co/visor/>>
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Y OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO POPAYÁN. Informe de actividad de los volcanes del segmento central Volcán Nevado del Huila, Puracé y Sotará abril de 2010 <https://www2.sgc.gov.co/getattachment/dba69e96-4978-4fc7-b766-33daa350e5a5/Informe-actividad-sismica-abril-2010.aspx>
- SOLDANO, Álvaro. Inundaciones: ¿Qué es susceptibilidad? Conceptos sobre riesgo. Síntesis temática realizada para el Foro Virtual de la RIMD creado para la Capacitación en Teledetección Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones, 2009, Vol. 16. 5 p [Documento en línea]. Consulta [14 de Octubre de 2016]. Disponible en: <<http://www.rimd.org/advf/documentos/4921a360071e58.79575639.pdf>>
- SOETERS, Robert Y VAN WESTEN, Cornelis. Slope instability recognition, analysis and zonation. En: A.K. Turner & R.L. Schuster (Eds) Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report. Washington, D.C, 1996, no 247, ISA. P 2: NationalAcademyPress. p 129 – 177.
- SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Parámetros para la elaboración de mapas de susceptibilidad a los deslizamientos. Sociedad colombiana de geotecnia, Memoria Técnica Vol. 2. VII congreso colombiano de geotecnia, Santafé de Bogotá D.C. 21,22 y 23 de octubre de 1998.

- -----, Deslizamientos: Análisis geotécnico. Vol. I Bucaramanga: División de publicaciones UIS, 2009. 588 p. ISBN 978-958-8504-03-2.
- TARBUCK, Edward Y LUTGENS, Frederick. Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física. Pearson Educación S.A, Madrid 8, 2005 736p. ISBN 8420 549 983.
- TCHEMODANOVA, Valentina. Metodología de zonificación técnica regional. Sociedad colombiana de geotecnia, Memoria Técnica Vol 2. VII congreso colombiano de geotecnia, Santafé de Bogotá D.C. 21,22 y 23 de octubre de 1998.
- TOBOADA, A; DIMATÉ, C. y FUENZALIDA, A. Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción. En: Física de la tierra. n° 10 (1998); p. 111-147. [Documento en línea]. Consulta [20 enero de 2017]. Disponible en: <file:///C:/Users/Pc/Downloads/12980-13060-1-PB.PDF>
- UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Open CuorseWare: Riesgo por superficie-caudal del riesgo. [En línea]. Consulta [10 de junio de 2017]. Disponible en: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%208.Riego%20por%20superficie/page_21.htm/skinless_view>
- USGS. Landslide Types and Processes. 2004, 4p. [Documento en línea]. Consulta [14 de Octubre de 2016]. Disponible en: <<https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>>
- VAN WESTEN, Cees J., et al. Prediction of the occurrence of slope instability phenomenal through GIS-based hazard zonation. *GeologischeRundschau*, 1997, vol. 86, no 2, p. 404-414. [Documento en línea]. Consulta [2 de noviembre de 2016]. Disponible en:<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45843832/Prediction_of_the_occurrence_of_slope_in20160521-27851-j8vezg.pdf?A>
- VARGAS CUERVO, Germán. Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa. Villavicencio 1999. 197 p
- VARNES, David J. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Paris: UNESCO, 1984. 63 p. ISBN 9231018957
- WILCHES-CHAUX, Gustavo. Desastres, ecologismo y formación profesional: herramientas para la crisis. En *Desastres, ecologismo y formación profesional: Herramientas para la crisis*. Colombia. Servicio Nacional de Aprendizaje, 1989.