

**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA ZONIFICACIÓN DEL RIESGO
DE DETALLE, PARA LOS BARRIOS PINARES DE ORIENTE, ESFUERZOS DE
PAZ Y SAN ANTONIO EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN.**

PROYECTO DE GRADO
Para optar por el título de Geólogo

POR
JULIAN ESTEBAN GIRALDO ZULUAGA
ASESOR
MARCO FIDEL GAMBOA RAMIREZ

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN, ANTIOQUIA

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	12
Hipótesis	14
Pregunta de trabajo	14
Problema de trabajo	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. METODOLOGÍA	17
4. CONCEPTUALIZACIÓN	19
4.1. Movimientos en Masa	19
4.2. Inundaciones.....	19
4.3. Avenidas torrenciales	19
4.4. Unidad morfodinámica independiente (UMI)	19
4.5. Amenaza	20
4.6. Vulnerabilidad	20
4.7. Fragilidad	20
4.8. Riesgo.....	20
4.8.1. Riesgo alto mitigable.....	21
4.8.2. Riesgo alto no mitigable.....	21
4.9. Gestión del Riesgo	21
5. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
5.1. Localización	22
6. GEOLOGÍA REGIONAL	24
6.1. Dunitas de Medellín (JKuM).....	24
6.2. Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA).....	25
6.3. Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (QfIII, NFI, NQFII)	26
6.4. Depósitos de deslizamiento (Qd)	26
6.5. Depósitos aluviotorrenciales (Qat).....	27
6.6. Llenos antrópicos (Qll).....	27
7. GEOLOGÍA LOCAL	29
7.1. Dunitas de Medellín (JKuM).....	29
7.2. Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e)	30

7.2.1.	Depósitos de talus (Qt).....	30
7.2.2.	Depósitos de deslizamiento (Qd).....	31
7.3.	Llenos antrópicos (QII).....	31
8.	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	35
8.1.	Macrounidades geomorfológicas	35
8.1.1.	Superficie de erosión S-I (AP-S-I),	35
8.1.2.	Escarpe erosivo regional ER-2 (AP-ER-2),	35
8.1.3.	Valle medio del Bloque Santa Elena (VM-BSE),	35
8.1.4.	Valle medio del Bloque comuna nororiental alta (VM-BCNA),.....	36
8.1.5.	Valle medio del Bloque comuna nororiental baja (VM-BCNB),.....	36
8.1.6.	Valle medio de fondo de valle (VM-FV),	36
8.2.	Unidades geomorfológicas	36
8.2.1.	Unidad de lomos bajos (LB),.....	36
8.2.2.	Unidad de superficies con baja incisión (SBI),.....	36
8.2.3.	Unidad de lomos (L),.....	36
8.2.4.	Unidad de peldaños (PÑ),.....	37
8.2.5.	Unidad de rasgos morfotectónicos (RMT),.....	37
8.2.6.	Unidad de superficies suaves depósitos moderadamente incisados (SSDMI),	37
8.2.7.	Unidad de superficies suaves en depósitos poco incisados (SSDPI),.....	37
8.2.8.	Unidad de vertiente en suelos residuales moderadamente incisados (VSRMI),.....	37
8.2.9.	Unidad de Escarpes semicirculares superiores (ESCS),	37
9.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	39
9.1.	Unidad peldaño bajo PÑB	39
9.2.	Unidad peldaño tectónico PÑT	39
9.3.	Unidad picacho P.....	40
9.4.	Unidad escarpe largo semicircular ELSC.....	40
9.5.	Unidad escarpe E.....	40
9.6.	Unidad lomo amplio con vertientes moderadas LAVM	40
9.7.	Unidad lomo alargado con vertientes fuertes LARVF	41
9.8.	Unidad superficie antrópica SA	41
9.9.	Unidad superficies suaves sobre depósitos moderadamente incisados	41
9.10.	Unidad superficies suaves sobre depósitos poco incisados SSDPI	41
9.11.	Unidad de superficies con baja incisión SBI	42
9.12.	Unidad de vertiente escarpada VE.....	42

9.13.	Unidad de vertiente suave VS.....	42
9.13.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.....	46
9.14.	Geología Estructural Local.....	46
9.15.	Análisis Estructural.....	48
10.	GEOTÉCNIA.....	49
11.	METODOLOGÍA DESARROLLADA POR SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES....	52
11.1.	Recopilación de información básica.....	52
11.2.	Zonificación de la aptitud geológica.....	53
11.3.	Análisis y evaluación de la amenaza.....	53
11.4.	Análisis de la amenaza por movimientos en masa.....	53
11.4.1.	Análisis del factor de seguridad.....	53
11.5.	Análisis de la probabilidad de falla.....	55
11.6.	Análisis de la amenaza por inundación.....	56
11.7.	Análisis de la amenaza por avenidas torrenciales.....	58
11.8.	Avenidas torrenciales por movimientos en masa.....	59
11.9.	Análisis de la vulnerabilidad física.....	60
11.10.	Vulnerabilidad física para movimientos en masa.....	60
11.11.	Evaluación y cálculo del riesgo.....	63
12.	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA PARA LOS BARRIOS ESFUERZOS DE PAZ, SAN ANTONIO Y PINARES DE ORIENTE MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA.....	66
12.1.	Amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, polígono Esfuerzos de Paz.....	66
12.2.	Amenaza por movimientos en masa e inundaciones, polígono San Antonio.....	68
12.3.	Amenaza por movimientos en masa e inundaciones, polígono Pinares de Oriente.....	69
13.	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR COSNTRUCCIÓN PARA LOS BARRIOS ESFUERZOS DE PAZ, SAN ANTONIO Y PINARES DE ORIENTE MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA.....	70
13.1.	Polígono Esfuerzos de Paz, riesgo por movimientos en masa.....	70
13.1.1.	Riesgo alto no mitigable.....	70
13.1.2.	Riesgo alto mitigable.....	70
13.1.3.	Riesgo medio.....	70
13.1.4.	Riesgo bajo.....	70
13.2.	Polígono Esfuerzos de Paz, riesgo por inundación y avenidas torrenciales.....	71
13.2.1.	Riesgo alto no mitigable.....	72

13.2.2.	Riesgo alto mitigable	72
13.2.3.	Riesgo medio	72
13.2.4.	Riesgo bajo	73
13.3.	Polígono San Antonio, riesgo por movimientos en masa	74
13.3.1.	Riesgo alto no mitigable	75
13.3.2.	Riesgo alto mitigable	75
13.3.3.	Riesgo medio	75
13.3.4.	Riesgo bajo	75
13.4.	Polígono San Antonio, riesgo por inundación	77
13.4.1.	Riesgo alto no mitigable	77
13.4.2.	Riesgo alto mitigable	77
13.4.3.	Riesgo medio	77
13.5.	Polígono Pinares de Oriente, riesgo por movimientos en masa	79
13.5.1.	Riesgo alto no mitigable	79
13.5.2.	Riesgo alto mitigable	79
13.5.3.	Riesgo medio	79
13.5.4.	Riesgo bajo	79
13.6.	Polígono Pinares de Oriente, riesgo por inundación	81
13.6.1.	Riesgo alto no mitigable	81
13.6.2.	Riesgo Alto mitigable	81
14.	METODOLOGÍA DEARROLLADA POR LA UNIVERSIDAD EAFIT PARA LA ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR POLÍGONO, PARA MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES UTILIZANDO	83
14.1.	ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR POLÍGONO PARA MOVIMIENTOS EN MASA	83
14.2.	Metodología para estudios de Tipo I:	87
14.3.	Metodología para estudios de Tipo II:	87
14.4.	Metodología para estudios de Tipo III:	87
14.5.	Zonificación de riesgo para inundaciones:	88
14.6.	Perfiles y calculos de velocidades	88
14.6.1.	Poligono Esfuerzos de Paz	89
14.6.2.	Poligono San Antonio	90
14.6.3.	Poligono Pinares de Oriente	91
15.	ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR POLÍGONO, PARA LOS BARRIOS ESFUERZOS DE PAZ, SAN ANTONIO Y PINARES DE ORIENTE, MEDIANTE LA METODOLOGÍA EAFIT	93

15.1. POLÍGONO ESFUERZOS DE PAZ, RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA	93
15.1.1. Riesgo alto no mitigable	93
15.1.2. Riesgo alto mitigable	93
15.1.3. Riesgo medio	94
15.1.4. Riesgo bajo	94
15.2. POLÍGONO ESFUERZOS DE PAZ, RIESGO POR INUNDACIÓN	96
15.2.1. Riesgo alto no mitigable	96
15.2.2. Riesgo alto mitigable	96
15.2.3. Riesgo medio	97
15.2.4. Riesgo bajo	97
15.3. POLÍGONO ESFUERZOS DE PAZ, RIESGO AVENIAS TORRENCIALES	99
15.3.1. Riesgo alto no mitigable:	99
15.4. POLÍGONO SAN ANTONIO, RIESGO POR MOVIMIENTO EN MASA	99
15.4.1. Riesgo alto no mitigable	100
15.4.2. Riesgo alto mitigable	100
15.4.3. Riesgo bajo	100
15.5. POLÍGONO SAN ANTONIO, RIESGO POR INUNDACIÓN	103
15.5.1. Riesgo alto mitigable	103
15.5.2. Riesgo bajo	103
15.6. POLÍGONO PINARES DE ORIENTE, RIESGO POR MOVIMIENTO EN MASA	105
15.6.1. Riesgo alto no mitigable	105
15.6.2. Riesgo alto mitigable	105
15.6.3. Riesgo medio	106
15.6.4. Riesgo bajo	106
15.7. POLÍGONO PINARES DE ORIENTE, RIESGO POR INUNDACIÓN	107
15.7.1. Riesgo alto no mitigable	108
15.7.2. Riesgo alto mitigable	108
15.7.3. Riesgo medio	108
15.7.4. Riesgo bajo	108
16. COMPARACIÓN Y RESULTADO DE ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR POLÍGONO ENTRE LA METODOLOGÍA EMPLEADA POR SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA Y LA METODOLOGÍA EAFIT	110
16.1. Polígono Esfuerzos de Paz, riesgo por movimientos en masa.....	110
16.2. Comparación Esfuerzos de Paz, riesgo por inundación.....	112

16.3.	Comparación San Antonio, riesgo por movimientos en masa	112
16.4.	Comparación San Antonio, riesgo por inundación	115
16.5.	Comparación Pinares de Oriente, riesgo por movimientos en masa	116
16.6.	Comparación Pinares de Oriente, riesgo por inundación	118
16.7.	Comparación de la zonificación del riesgo por polígono con la Metodología EAFIT y la zonificación de riesgo individual y el nivel de amenaza obtenido por SIGA I.C	119
16.7.1.	Esfuerzos de Paz	119
16.7.2.	San Antonio	120
16.7.3.	Pinares de Oriente	120
17.	DISCUSIÓN	122
18.	CONCLUSIONES	125
19.	BIBLIOGRAFÍA	127

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Flujo diagrama de la metodología a desarrollar</i>	18
<i>Figura 2. Localización.....</i>	23
<i>Figura 3. Mapa de geología regional de la zona de estudio. Fuente AMVA 2006.</i>	28
<i>Figura 4. Mapa de la geología local, polígono Pinares de Oriente. Fuente SIGA I.C 2016. .</i>	32
<i>Figura 5. Mapa de la geología local, polígono Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA I.C 2016.</i>	33
<i>Figura 6. Mapa de geología local, polígono San Antonio. Fuente SIGA I.C 2016.....</i>	34
<i>Figura 7. Mapa geomorfológico regional. Fuente SIGA I.C 2016.</i>	38
<i>Figura 8. Mapa geomorfológico local, Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA I.C. 2016.....</i>	43
<i>Figura 9. Mapa geomorfológico local, San Antonio. Fuente SIGA I.C. 2016.</i>	44
<i>Figura 10. Mapa geomorfológico local, Pinares de Oriente. Fuente SIGA I.C. 2016.....</i>	45
<i>Figura 11. Modelo de cuerpo libre mecanismo de falla plana. Fuente: SIGA I.C 2016.</i>	54
<i>Figura 12. Mecanismos de falla planar. Fuente: SIGA I.C 2016. Fuente: SIGA I.C 2016. ..</i>	55
<i>Figura 13. Tipo de Daños de daños según velocidad y profundidad de Flujo (Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Instituto Mi Rio, 2003).....</i>	57
<i>Figura 14. Asignación de la amenaza por Inundación a partir de la Intensidad y la probabilidad del fenómeno (Ofee et al (1997 y Fiebiger (1997) en López y Courtel 2006) ...</i>	58
<i>Figura 15. Asignación de la amenaza para avenidas torrenciales a partir de la intensidad y la probabilidad del fenómeno</i>	60
<i>Figura 16. Evaluación y cálculo utilizada por SIGA I.C.2016.</i>	64
<i>Figura 17. Amenaza por movimientos en masa polígono Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016</i>	67
<i>Figura 18. Amenaza por Inundación polígono Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016</i>	67
<i>Figura 19. Amenaza por Avenidas Torrenciales polígono Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016</i>	67
<i>Figura 20. Amenaza por movimientos en masa polígono San Antonio. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016.....</i>	68
<i>Figura 21. Amenaza por Inundación polígono San Antonio Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016</i>	68
<i>Figura 22. Amenaza por movimientos en masa polígono Pinares de Oriente. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016.....</i>	69
<i>Figura 23. Amenaza por Inundación polígono Pinares de Oriente. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016</i>	69
<i>Figura 24. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono Esfuerzos de Paz SIGA I.C 2016.....</i>	71
<i>Figura 25. Mapa de riesgo por inundación polígono Esfuerzos de Paz SIGA I.C 2016</i>	74
<i>Figura 26. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono San Antonio SIGA I.C 2016.</i>	76
<i>Figura 27. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio SIGA I.C 2016.</i>	78
<i>Figura 28. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono Pinares de Oriente SIGA I.C 2016.....</i>	80
<i>Figura 29. Mapa de riesgo por inundación Pinares de Oriente SIGA I.C 2016.....</i>	82
<i>Figura 30. Diagrama de fuerzas bloque deslizante (SGC, 2015).....</i>	85

<i>Figura 31. Tipo de daños de acuerdo con valores de velocidad y profundidad del flujo. (Universidad Nacional de Colombia et al., 2003).</i>	88
<i>Figura 32. Perfil realizado por SIGA INGENERÍA Y CONSULTORÍA S.A (2016)</i>	89
<i>Figura 33. Perfil realizado con base en la metodología EAFIT</i>	89
<i>Figura 34. Perfil realizado por SIGA INGENERÍA Y CONSULTORÍA S.A (2016)</i>	90
<i>Figura 35. Perfil realizado con base en la metodología EAFIT</i>	91
<i>Figura 36. Perfil realizado con base en la metodología EAFIT</i>	92
<i>Figura 37. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono Esfuerzos de Paz M. EAFIT</i>	95
<i>Figura 38. Mapa de riesgo por inundación polígono Esfuerzos de Paz M. EAFIT</i>	98
<i>Figura 39. Mapa de riesgo por avenidas torrenciales polígono Esfuerzos de Paz.</i>	99
<i>Figura 40. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono San Antonio M. EAFIT</i>	102
<i>Figura 41. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio M. EAFIT</i>	104
<i>Figura 42. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono Pinares de Oriente M. EAFIT</i>	107
<i>Figura 43. Mapa de riesgo por inundación polígono Pinares de Oriente M. EAFIT</i>	109
<i>Figura 44. Comparación de Metodología EAFIT con Metodología SIGA, polígono Esfuerzos de Paz.</i>	111
<i>Figura 45. Mapa de riesgo por inundación polígono Esfuerzos de Paz M. EAFIT</i>	112
<i>Figura 46. Mapa de riesgo por inundación polígono Esfuerzos de Paz SIGA I.C 2016.</i>	112
<i>Figura 47. Comparación de Metodología EAFIT con Metodología SIGA I.C., polígono San Antonio</i>	114
<i>Figura 48. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio M. EAFIT</i>	115
<i>Figura 49. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio SIGA I.C 2016</i>	115
<i>Figura 50. Comparación de Metodología EAFIT con Metodología SIGA, polígono Pinares de Oriente.</i>	117
<i>Figura 51. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio M. EAFIT</i>	118
<i>Figura 52. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio SIGA I.C 2016.</i>	118

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos de pendientes para definición de la geomorfología local.....	39
Tabla 2. Nivel de amenaza considerando la probabilidad de ruptura y el factor de seguridad. Fuente: SIGA I.C 2016.	56
Tabla 3. Asignación de la calificación de la Probabilidad de Inundaciones. Fuente: SIGA I.C 2016.....	58
Tabla 4. Asignación de la calificación de la Intensidad de Inundaciones. Fuente: SIGA I.C 2016.....	58
Tabla 5. Asignación de la calificación de la Intensidad de avenidas torrenciales.....	59
Tabla 6. Categorización de la vulnerabilidad física ante fenómenos de movimientos en masa. Fuente: SIGA I.C 2016.	63
Tabla 7. Matriz de unificación del riesgo de estructuras y de personas para determinar el riesgo total. Fuente: SIGA I.C 2016.	65
Tabla 8. Categorización del riesgo total. Fuente: SIGA I.C 2016.	65
Tabla 9. Regla de decisión para el riesgo por polígono para movimientos en masa.....	84
Tabla 10. Calculo de velocidades para determinar riesgo con base en Metodología Eafit....	90
Tabla 11. Calculo de velocidades para determinar riesgo con base en Metodología EAFIT.	91
Tabla 12. Calculo de velocidades para determinar riesgo con base en Metodología EAFIT.	92
Tabla 13. Comparación nivel Riesgo Alto Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto Mitigable y amenaza SIGA Ingeniería y Consultoría Polígono Esfuerzos de Paz.....	119
Tabla 14. Comparación nivel Riesgo Medio EAFIT contra nivel de Riesgo Medio y amenaza SIGA Ingeniería y Consultoría Polígono Esfuerzos de Paz	119
Tabla 15. Comparación nivel Riesgo Bajo EAFIT contra nivel de Riesgo Bajo y amenaza SIGA Ingeniería y Consultoría Polígono Esfuerzos de Paz	119
Tabla 16. Comparación nivel Riesgo Alto No Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto No Mitigable y amenaza SIGA Ingeniería y Consultoría Polígono Esfuerzos de Paz	120
Tabla 17. Comparación nivel Riesgo Alto No Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto No Mitigable y amenaza SIGA I.C. Polígono San Antonio	120
Tabla 18. Comparación nivel Riesgo Alto Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto Mitigable y amenaza SIGA I.C. Polígono San Antonio	120
Tabla 19. Comparación nivel Riesgo Bajo EAFIT contra nivel de Riesgo Bajo y amenaza SIGA I.C. Polígono San Antonio.....	120
Tabla 20. Comparación nivel Riesgo Alto No Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto No Mitigable y amenaza SIGA I.C. Polígono Pinares de Oriente.....	121
Tabla 21. Comparación nivel Riesgo Alto Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto Mitigable y amenaza SIGA I.C. Polígono Pinares de Oriente	121
Tabla 22. Comparación nivel Riesgo Medio EAFIT contra nivel de Riesgo Medio y amenaza SIGA I.C. Polígono Pinares de Oriente	121
Tabla 23. Comparación nivel Riesgo Bajo EAFIT contra nivel de Riesgo Bajo y amenaza SIGA I.C. Polígono Pinares de Oriente	121

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A Javier y Matilde, mis viejos, a quienes amó, y quienes siempre a la distancia me han brindado un apoyo incondicional.

Un agradecimiento muy especial a mi asesor Marco Fidel Gamboa Ramírez, por su disposición, profesionalismo, conocimiento y apoyo en cada fase del proyecto.

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que en determinado momento me brindaron su apoyo, tanto técnico cuando en ocasiones no sabía qué hacer, como de manera anímica cuando en algún momento colapse; sin lugar a dudas, gracias a ellos este proceso se logró culminar de manera satisfactoria. Cami, Nico, Pili, y Salas, y todas las personas que de una u otra manera siempre mandaron buena energía.

Muchas gracias.

1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de obtener el título de Geólogo de la Universidad EAFIT, el estudiante Julián Esteban Giraldo Zuluaga desarrolla y presenta el siguiente proyecto, realizado en el marco del contrato entre la Empresa De Desarrollo Urbano (EDU) y la Universidad EAFIT con el objetivo de generar los mapas de riesgo por polígono, debido a que surge de la necesidad de definir áreas de riesgo para realizar intervenciones en pro del ordenamiento territorial de la ciudad; dicho trabajo se realiza con base en el proyecto 0286 de 2014 “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLIGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” realizado por SIGA Ingeniería y Consultoría en 2016.

El departamento de Antioquia se caracteriza por ser una región con un relieve abrupto al ser afectado por el sistema montañoso andino, su capital Medellín no es la excepción a este fenómeno ya que se encuentra localizada sobre la Cordillera Central colombiana. Esta condición permite que Medellín se encuentre asentada en un estrecho valle interandino, rodeado de laderas con altas pendientes en las cuales se ha desarrollado gran parte de su zona urbana. Por esta razón la ciudad se encuentra influenciada por diferentes fenómenos como movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, que afectan de manera directa sus barrios, motivo por el cual es sumamente importante conocer el riesgo que representan dichos fenómenos, caracterizarlos y mitigarlos de manera eficiente.

Existen diferentes metodologías para la zonificación del riesgo de detalle; no obstante, este trabajo busca comparar dos metodologías, las cuales ya han sido implementadas; la metodología de SIGA I.C, 2016 en la cual se zonifica el riesgo por elementos expuestos y la Metodología EAFIT en la cual se zonifica el riesgo por polígono, y así verificar su eficiencia a la hora de evaluar el riesgo en una zona determinada.

Para el presente trabajo se cuenta con una secuencia de procesos; se presentan los objetivos y la metodología del proyecto; el marco teórico donde se describen conceptos importantes para el desarrollo del trabajo; se exponen las generalidades del área de estudio; se presenta el marco geológico regional y local, la geomorfología, la geología estructural y la geotecnia; seguido

de esto se describen las metodologías a comparar con su respectivos parámetros y se presenta la zonificación del riesgo obtenida para cada una. Por último, se realiza la comparación de las metodologías y resultados; finalmente las conclusiones y recomendaciones obtenidas en este estudio.

Hipótesis

Realizando un análisis minucioso de proyecto desarrollado por SIGA Ingeniería y Consultoría, se puede determinar que los estudios de algunos polígonos carecen de información, la cual es de suma importancia para la determinación de riesgo, por lo tanto, la metodología EAFIT es más eficiente y genera un grado de incertidumbre menor a la hora de determinar el riesgo por polígono.

Pregunta de trabajo

¿Cuál de las metodologías, EAFIT (por polígono) o SIGA Ingeniería y Consultoría (por construcción) es más eficiente para zonificar el riesgo correctamente?

Problema de trabajo

En el marco del contrato 0286 de 2014 de SIGA I.C se realizaron los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por elementos expuestos, sin embargo, así la zonificación de riesgo sea correcta este método limita el ordenamiento territorial. Por esta razón es necesario realizar la zonificación por polígono, ya que esta permite planear, ordenar y mitigar los territorios que requieren intervención.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar los estudios realizados por SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORIA S.A, que corresponde a los “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” con la Metodología EAFIT para a zonificación del riesgo de detalle por polígono, determinar su eficiencia y sus resultados

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar y analizar los estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgo, realizados por SIGA INGENIERIA Y CONSULTORÍA S.A en el marco del proyecto Barrios Sostenibles.
- Verificar y analizar la metodología de zonificación de riesgo por polígono de la Universidad EAFIT, para determinar los factores que se tienen en cuenta a la hora de evaluar el riesgo.
- Realizar un análisis comparativo entre la metodología propuesta por EAFIT para la zonificación del riesgo por polígono y la propuesta por SIGA IC, por elementos expuestos.
- Determinar si la metodología desarrollada por SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA, cumple con los insumos necesarios para aplicar la metodología EAFIT.
- Determinar de acuerdo a los resultados, la eficiencia de las metodologías, EAFIT y SIGA, para la zonificación del riesgo
- Obtener la zonificación de riesgo por polígono, (riesgo alto no mitigable, riesgo alto mitigable, riesgo medio, riesgo bajo).

3. METODOLOGÍA

Para realizar este proyecto se proponen una serie de actividades que permiten llegar a los resultados planteados en el objetivo general.

1. Realizar una revisión y análisis detallada de los estudios realizados por SIGA Ingeniería y Consultoría S.A; de esta manera extraer y conocer la información más relevante y la metodología empleada para desarrollar la zonificación de amenazas y riesgos por inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales.
2. Realizar una revisión y análisis detallada de la metodología para la zonificación del riesgo por polígono propuesta por EAFIT, de esta manera evaluar los factores que se utilizan para determinar el riesgo.
3. Por medio de tablas comparativas, se evaluará las metodologías SIGA y EAFIT, y de esta manera destacar los factores favorables y desfavorables de cada una de las metodologías, así como los insumos que cada una utiliza para determinar el riesgo.
4. Mediante la revisión y análisis previos realizados, se buscará determinar si los estudios desarrollados por SIGA contienen los insumos necesarios para aplicar la metodología EAFIT (Profundidad, perfiles, velocidad de los movimientos, coeficiente de fricción).
5. Por medio de la generación de los mapas de riesgo de la zona de estudio se pretende comparar la eficiencia de la metodología EAFIT para la zonificación del riesgo por polígono frente a la metodología implementada por SIGA I.C
6. Posteriormente se escriben los resultados y análisis en el informe final, seguido de la sustentación oral del proyecto (Figura 1).

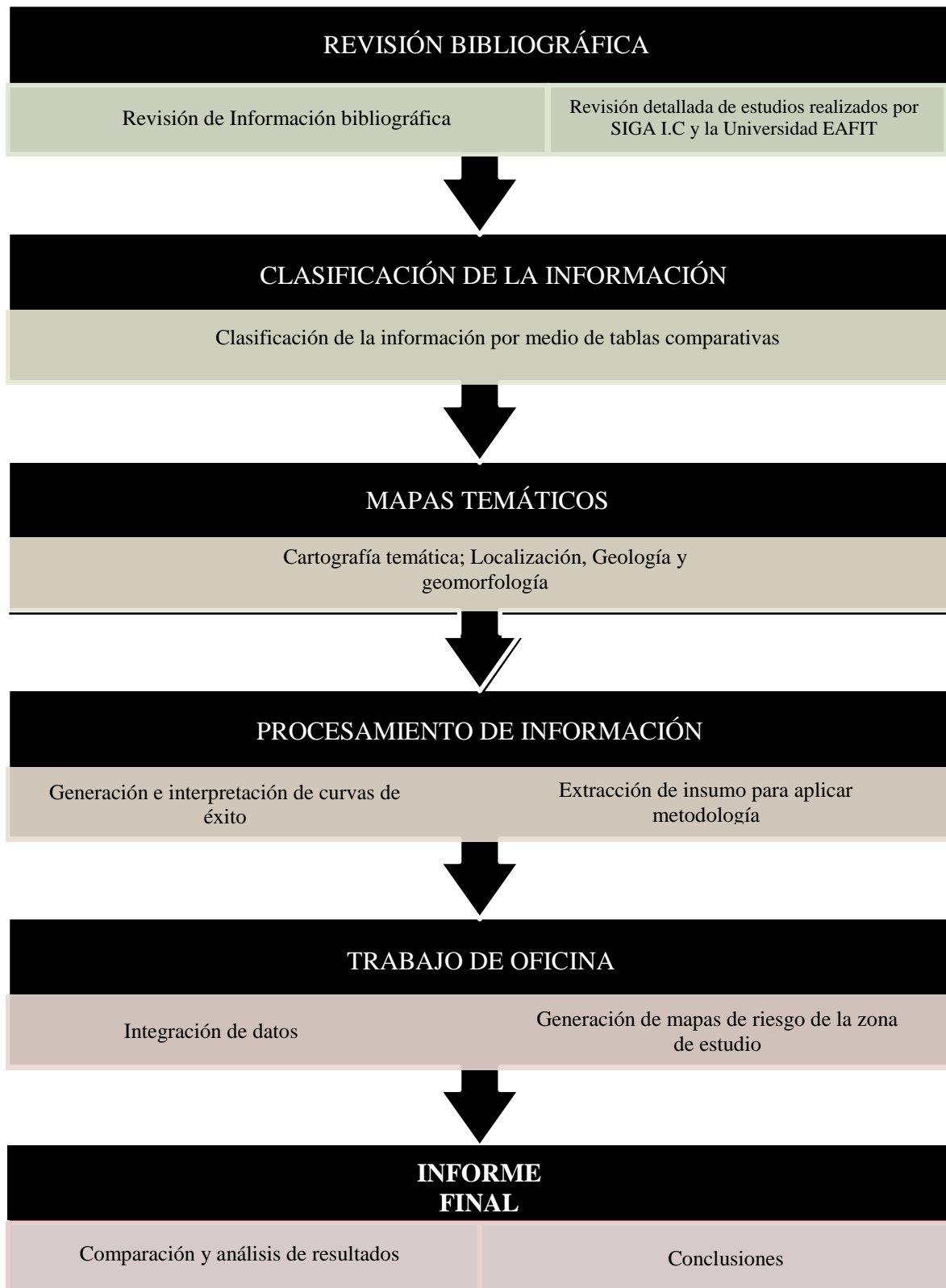


Figura 1. Flujo diagrama de la metodología a desarrollar

4. CONCEPTUALIZACIÓN

En este capítulo se presenta el marco conceptual que guía el desarrollo de este proyecto

4.1. Movimientos en Masa

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo o de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. En la literatura científica se encuentran muchas clasificaciones de movimientos en masa; la mayoría de ellas se basan en el tipo de materiales, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación ((PMA:GCA), 2007)

4.2. Inundaciones

Según el IDEAM, las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de la orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.

4.3. Avenidas torrenciales

El fenómeno de las avenidas torrenciales es descrito como una falla progresiva y rápida, donde el flujo desciende formando una especie de “ríos de roca y suelo”. Estos flujos comúnmente se relacionan con lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionales muy altos, deshielo de nevados o movimientos sísmicos en zonas de alta montaña y la ausencia de vegetación, aunque es un factor influyente, no es un pre-requisito para que ocurran (Suárez, 2011).

4.4. Unidad morfodinámica independiente (UMI)

Se entiende como la unidad del territorio que enmarca el predio de interés o que presenta un comportamiento independiente de las unidades adyacentes. Se considera que cualquier proceso morfodinámico que se presente en el exterior no afecta su interior e igualmente, que cualquier proceso morfodinámico que se presente en el interior de ésta no afecta las unidades adyacentes. (AMVA, 2012)

4.5. Amenaza

Según la Ley 1523 de 2012, la amenaza es el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de modo 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 caracterización de la amenaza debe incluir su ubicación, clasificación, magnitud o intensidad, y se evalúa en función de la probabilidad de ocurrencia espacial y temporal. La magnitud o intensidad de la amenaza se pueden expresar en términos de volumen, área, velocidad, intensidad o energía.

4.6. Vulnerabilidad

Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, 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 de sus sistemas físicos, sociales económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos. (Ley 1523 de 2012)

4.7. Fragilidad

Nivel de daño que un elemento puede sufrir luego de estar sometido a la acción de un movimiento en masa. Para bienes materiales, este nivel de daño está relacionado con el valor de las pérdidas relativo al valor de la propiedad; para personas, el nivel de daño se relaciona con la pérdida de vidas humanas y las lesiones física sufridas producto de un evento. (SGC, 2016)

4.8. Riesgo

Medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, salud, propiedad o el ambiente. Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socionatural, o antrópico no intencional, en un periodo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad. Según la manera como se defina el elemento en riesgo, el riesgo puede medirse según la pérdida económica esperada, o según la extensión del daño físico a la propiedad (SGC, 2016)

4.8.1. Riesgo alto mitigable

Según el Decreto 1626 de 2015, son aquellas áreas en las cuales el fenómeno es controlable a través de obras de mitigación o protección (medidas estructurales o no estructurales), cuyas consecuencias de tipo económico, ambiental, financiero y social traen consigo un costo razonable y no se hace necesario el reasentamiento de la población.

4.8.2. Riesgo alto no mitigable

Según el Decreto 1626 de 2015, corresponden a aquellas áreas de alto riesgo donde la implementación de medidas de mitigación estructural resulta de mayor complejidad y costo técnico-económico que llevar a cabo el reasentamiento de la población y equipamiento urbano respectivo.

4.9. Gestión del Riesgo

La gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (1523 de 2012)

5. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1. Localización

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Medellín, más exactamente en la parte alta de la ladera centro oriental, entre los límites rurales y urbanos de la ciudad.

Las unidades morfogénicas integradas (UMI's) correspondientes al proyecto "Barrios Sostenibles" se encuentran ubicadas en su mayoría en la comuna 8 (Villa Hermosa) y en su interior los polígonos objetos de este estudio, los cuales son zonas en condición de riesgo: Esfuerzos de Paz, San Antonio y Pinares de Oriente.

El polígono San Antonio, se encuentra localizado en la zona centro sur, bordeado al norte con el polígono Pinares de Oriente y al sur con los polígonos Esfuerzos de Paz y Villa Turbay. Tiene un área aproximada de 4.54 ha, limita por el norte con el Ecoparque Campo Santo Villatina, el Barrio Pinares de Oriente y la Quebrada La Gallinaza 1, por el sur con el Barrio Esfuerzos de Paz y la Quebrada San Antonio, por el oriente con el Cerro Pan de Azúcar y al Occidente con el Barrio Villatina. (SIGA I.C., 2016) (Figura 2)

El polígono Pinares de Oriente se encuentra localizado en la base del Cerro Pan de Azúcar, tiene un área aproximada de 3.59 ha, de las cuales 2.07 ha pertenecen al área urbana y 1.52 ha se encuentran por fuera del perímetro urbano en suelo rural. Sus límites son con el cerro Pan de Azúcar al norte, el barrio Villatina al sur, el Ecoparque Campo Santo (también en el Barrio Villatina) por el oriente y con los Barrios Trece de Noviembre y La Libertad por el occidente. (SIGA I.C., 2016) (Figura 2)

El polígono de Esfuerzos de Paz se encuentra localizado en la zona centro-sur limitando al norte con el cerro Pan de Azúcar, al sur con el barrio Las Estancias y la quebrada La Castro, al oriente con el barrio San Antonio y al Occidente con el barrio Villa Liliam. El polígono Esfuerzos de Paz está conformado por los barrios conocidos como Esfuerzos de Paz I y Unión de Cristo, que, según la división geopolítica de Medellín, pertenecen en la parte norte al Barrio San Antonio, y en sur a los barrios Villatina y Villa Liliam. (SIGA I.C., 2016) (Figura 2)

LOCALIZACIÓN

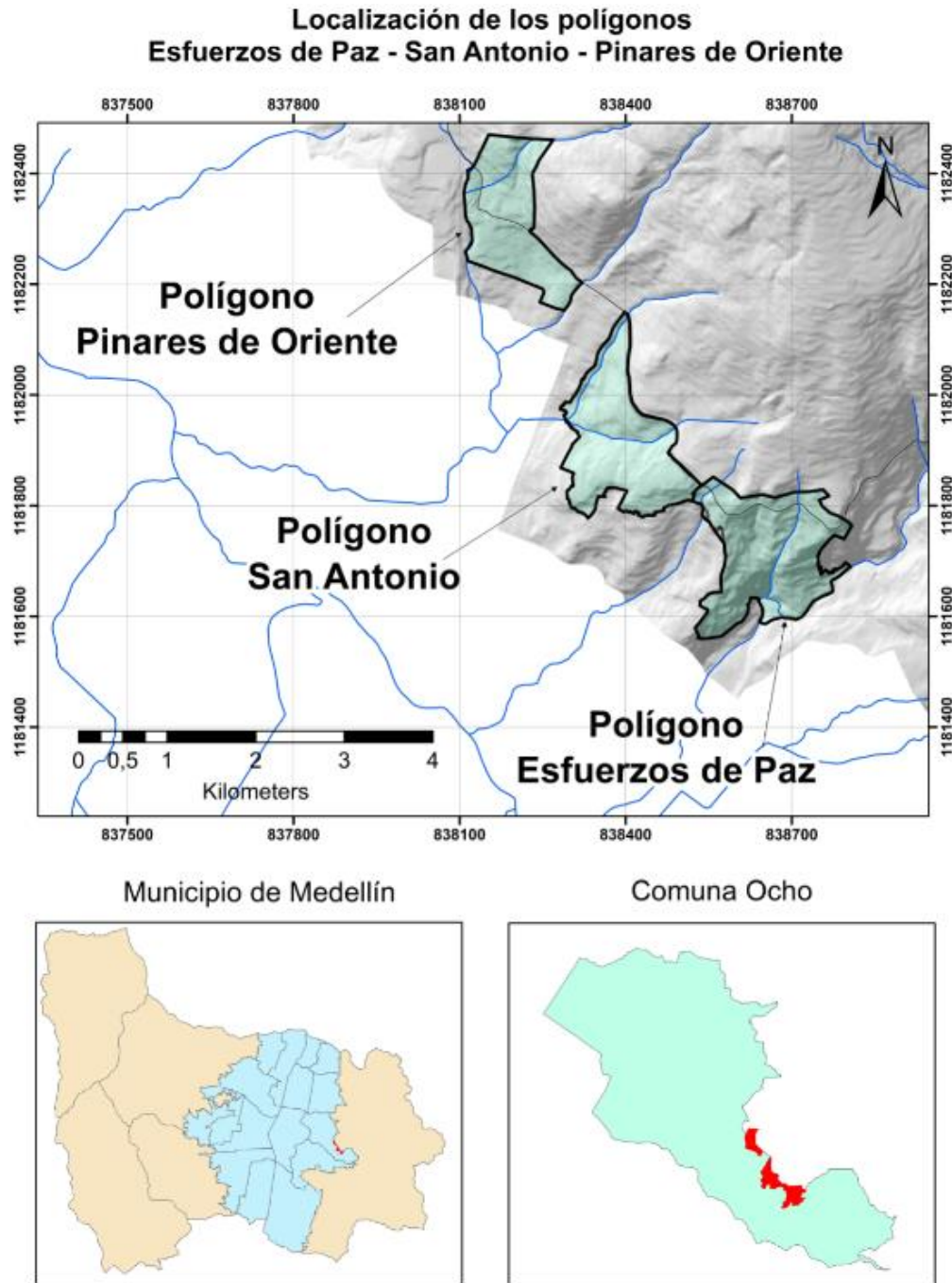


Figura 2. Localización

6. GEOLOGÍA REGIONAL

La geología de la zona y tomando como base, el estudio de Microzonificación Sísmica del Valle de Aburra (2006), se compone principalmente por rocas ígneas ultramáficas como las Dunitas de Medellín (JKuM), cuerpos plutónicos como el Stock de las Estancias (KcdE) y el Stock de Media Luna (KcdML), que para este informe se agrupan como la unidad denominada Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA). Estas unidades están suprayacidas por llenos antrópicos (QII), depósitos aluviotorrenciales (Qat), depósitos de deslizamiento (Qd) y depósitos de flujo de lodos y/o escombros (QFIII, NFI, NQFII).

Las UMI's Pinares de Oriente, Esfuerzos de Paz y San Antonio se ubican sobre las unidades geológicas denominadas como Dunitas de Medellín (JKuM) y depósitos de flujos de lodos y/o escombros (NFI).

A continuación, se describen en orden cronológico todas las unidades, desde las más antiguas a las más recientes

6.1. Dunitas de Medellín (JKuM)

La Dunita de Medellín hace parte del Complejo Ofiolítico de Aburrá y atraviesa el Valle del río Aburra, ubicándose en las laderas oriental y occidental. Esta unidad se extiende desde Las Palmas, en los límites con el municipio de Envigado, hasta el suroccidente del municipio de San Pedro de Los Milagros, como una franja de dirección NNW, pero que particularmente en el corregimiento de Santa Elena forma un cuerpo elongado con dirección N-S (AMVA, 2006).

Según Restrepo & Toussaint (1984), esta secuencia ofiolítica se relaciona con procesos tectónicos de cabalgamiento mediante una obducción de edad cretácica. Lo anterior, genera una zona de esquistos cloríticos actinolíticos, replegados en el contacto con las Anfibolitas de Medellín, además de mostrar una fuerte expresión geomorfológica en el cambio de pendiente de la cima de las colinas a la parte distal de las mismas. La dunita está en contacto fallado de bajo ángulo con la Anfibolita de Medellín en la quebrada Rodas (Autopista Medellín - Bogotá) (AMVA, 2006)

La Dunita es una roca ígnea masiva, compuesta principalmente por olivino, con contenidos menores de magnetita y cromita, esta última con concentraciones mayores hacia la zona de Santa Elena. El olivino presenta alteraciones parciales a tremolita y ésta última a minerales del

grupo de la serpentina, como talco y clorita. La roca es masiva de color gris oscuro a negro, con tonalidades verdes dadas por la alteración a minerales del grupo de la serpentina, y cuando se encuentra meteorizada presenta variaciones de color entre diferentes tonalidades de pardo, gris y ocre fuerte dado el alto contenido de hierro (AMVA, 2006)

Esta roca presenta un perfil de meteorización de espesor variable entre 6 m y 40 m, que está sujeto de la pendiente de la zona, en el que se encuentra desde el Horizonte IB hasta el IIA y en ocasiones hasta el horizonte III, del perfil de meteorización según Deere & Patton, (1971).

Por otra parte, en el sector del altiplano de Santa Elena, se presenta un perfil de bajo espesor con afloramientos y geoformas de disolución como dolinas, cavernas, úvalas y valles kársticos (AMVA, 2006).

En el municipio de Medellín, el cuerpo de dunitas presenta condiciones geotécnicas muy pobres, hacia las partes altas de la comuna nororiental, relacionadas con el alto grado de meteorización, además de la forma particular de meteorizar en bloques rocosos de abundante matriz que es fácilmente lavada por las aguas de escorrentía, esto ha generado importantes problemas geotécnicos en estas laderas (AMVA, 2006).

Esta es la unidad que ocupa la mayor extensión en la zona interés con aproximadamente el 85% del área. Hacia la parte sureste de la zona de estudio se encuentra en contacto con el Stock de Media Luna y hacia el noroccidente con el Stock de Las Estancias, cubierta por sectores de depósitos de vertiente.

6.2. Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA)

Son cuerpos intrusivos de composición granitoide, que presentan similitud al Batolito Antioqueño (KcdA) y que de acuerdo a su ubicación tienen una relación genética con éste. Los cuerpos que se encuentran en la zona de estudio son el Stock de Media Luna (KcdML) y el Stock de Las Estancias (KcdE).

El Stock de Media Luna presenta composición cuarzodiorítica y una textura fanerítica media, este cuerpo aflora en la vereda Media Luna por la vía que comunica de Santa Elena a Medellín. En la zona de estudio se encuentra al sureste, y están en contacto con la Dunita de Medellín. Los suelos residuales asociados a este cuerpo son generalmente limos arenosos de coloración amarilla y rojiza que conservan la textura original de la roca (AMVA, 2006).

Por otra parte, el Stock de Las Estancias se localiza en el extremo suroeste del área de estudio, en la parte inferior del Cerro Pan de Azúcar y en los alrededores de la Quebrada La Castro. La

composición y textura de la roca es similar al cuerpo anterior, al igual que el suelo residual (AMVA, 2006)

6.3. Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (QFIII, NFI, NQFII)

En el municipio de Medellín gran parte de las vertientes están cubiertas por estos depósitos, los cuales tiene composición variable según los materiales que se encuentran en la parte alta de estas, reposando sobre el perfil de meteorización generado por las rocas del basamento (AMVA, 2006)

Estos depósitos corresponden a diferentes eventos depositacionales de tipo flujo, que por su espesor, altura, grado de consolidación, madurez, grado de incisión, y dataciones realizadas en algunos, tienen asignadas edades variables entre el Neógeno y el Cuaternario (AMVA, 2006)

Los depósitos están conformados por flujos de varias generaciones, cuyos clastos muestran diferentes grados de meteorización. Son generados al producirse una saturación y pérdida de resistencia hacia las partes altas de las vertientes. (AMVA, 2006).

Según la granulometría de los materiales que conforman la fuente, pueden dar lugar a depósitos de flujo con predominio de bloques rocosos, denominados flujos de escombros. También puede dar lugar a depósitos de flujo con predominio de la fracción fina (en general arcilla o limo) en cuyo caso se llaman flujos de lodos. Sin embargo, dada la mecánica del fenómeno, que no permite una selección o clasificación del material, pueden existir dentro del mismo depósito zonas que correspondan a flujos de escombros y otras a flujos de lodos (AMVA, 2006).

Esta unidad se encuentra principalmente en la parte baja de la zona de estudio, sobre el perfil de meteorización de la Dunita de Medellín y del Stock de Las Estancias.

6.4. Depósitos de deslizamiento (Qd)

Los depósitos de deslizamiento son generados por inestabilidad o movimientos de masa y las zonas de alta pendiente. Se producen por varios factores como la gravedad, el agua y la intervención humana. Generalmente se encuentran en zonas de baja pendiente o topografía suave seguidas de zonas con pendiente fuerte de las cuales se desprendieron los materiales que los forman (AMVA, 2006).

Estos depósitos se presentan en gran parte de la zona de estudio como pequeños cuerpos asociados a procesos morfodinámicos.

6.5. Depósitos aluviotorrenciales (Qat)

Estos depósitos se encuentran en los valles de quebradas, la cuales tienen formas de abanico o alargadas, como resultado de avenidas torrenciales ocurridas principalmente en periodos de altas precipitaciones. Los depósitos están formados por clastos redondeados a subredondeados con alternancia de tamaños, forma y litología, normalmente se presentan envueltos en matriz arenosa, de color gris. Como característica importante no presentan estratificación ni selección de los materiales (AMVA, 2006).

En la zona de estudio se presentan principalmente en la quebrada La Castro y la quebrada Chorro Hondo.

6.6. Llenos antrópicos (QII)

Los llenos antrópicos provienen normalmente de actividades constructivas y urbanísticas, esto su vez crea gran cantidad de escombros que se acumulan y forman terraplenes. En el municipio de Medellín se encuentran principalmente hacia las zonas urbanas, y otros corresponden a sitios de botaderos que se generan por la apertura de vías (AMVA, 2006)

La composición de estos es muy variada, presentando desde materiales formados con normas técnicas, hasta basura, materia orgánica y escombros vertidos. Presentan extensión variable que permite cartografiarlos en escala 1:10.000 y espesores hasta de 10 m o más (AMVA, 2006). Estos cuerpos están presentes de forma dispersa en toda el área de estudio, se concentran en las zonas urbanas y centros poblados cerca al cerro Pan de Azúcar.

GEOLOGÍA REGIONAL - ZONA DE ESTUDIO

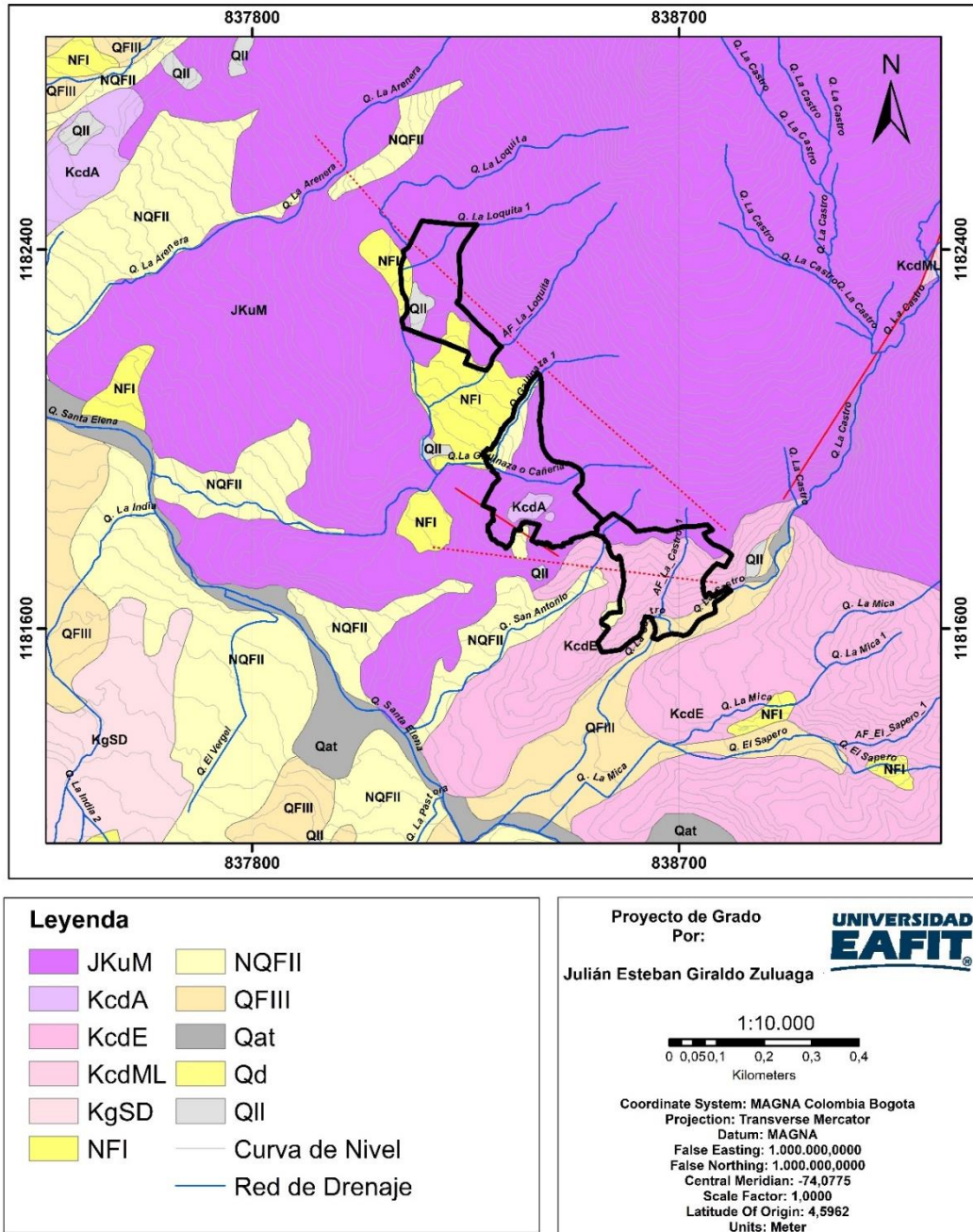


Figura 3. Mapa de geología regional de la zona de estudio. Fuente AMVA 2006.

7. GEOLOGÍA LOCAL

Como base para la realización de la geología local, se tomó la información obtenida por SIGA I.C, dicha firma recopiló información de estudios anteriores para la elaboración de ésta.

En la zona de estudio correspondiente a los polígonos **Esfuerzos de Paz, San Antonio y Pinares de Oriente** la unidad geológica predominante corresponde a los horizontes de meteorización de las Dunitas de Medellín (JKuM), las cuales son suprayacidas por depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e) y depósito de deslizamiento (Qd), además se presentan llenos antrópicos (Qll) asociados a las construcciones generadas por la expansión urbana. (SIGA I.C., 2016)

A continuación, se hace una descripción de cada una de estas unidades desde la más antigua a la más reciente.

7.1. Dunitas de Medellín (JKuM)

La dunita de Medellín fue localizada en la zona de estudio, por medio de perforaciones realizadas, se encontraron evidencias en los horizontes IB, IC y IIA, de acuerdo a la clasificación de Deer & Patton (1971). Se pueden encontrar con facilidad evidencias de falla, como espejos, milonitas, salbanda y brechas tectónicas, por lo que se podría clasificar como dunita cizallada (SIGA I.C., 2016)

El horizonte IB se encuentra aflorando en forma de franjas tanto en la parte alta, media y baja de los polígonos Esfuerzos de Paz y San Antonio, con espesores variables entre 1.0 m y 1.4 m. Se presenta un suelo de color pardo naranja, con tamaño de grano limo y arcilla, húmedo, consistencia firme a blanda y tenacidad baja, que contiene raíces, micas y nódulos de hierro. (SIGA I.C., 2016)

En el polígono Esfuerzos de Paz, San Antonio y Pinares de Oriente el horizonte IC muestra espesores de hasta 7.0 m; a su vez se encuentra un suelo arcilloso de color pardo anaranjado con manchas verdes, húmedo y con tenacidad media. Contiene bloques de dunita frescos y con textura esquistosa, se encuentran además bloques fantasmas en suelo residual localizado en la parte alta del polígono San Antonio y Pinares Oriente con diferentes grados de meteorización subangulares y angulares. En algunas zonas se pueden observar espejos de falla. (SIGA I.C., 2016)

En el horizonte IIA se infiere espesores de hasta 12 m, basado en líneas geofísicas consiste en bloques de dunita y dunita milonitizada con longitudes inferiores a 20 cm. La roca se encuentra

moderadamente meteorizada, fracturada y diaclasada, presenta alteraciones a serpentina y pátinas de oxidación negras y pardas en las superficies de ruptura. Se observan igualmente espejos de falla y zonas de cizalla. (SIGA I.C., 2016)

7.2. Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e)

En el polígono Esfuerzos de Paz y San Antonio se encuentran distintos cuerpos distribuidos en la parte inferior, media y superior, en ocasiones cubiertos por llenos antrópicos. Tienen espesores entre 3 m y 20.8 m y abarcan longitudes entre 10 m y 156 m.

Hacia la parte inferior del polígono Pinares de Oriente, se encuentra un depósito de flujo de lodos y escombros, suprayacido por un lleno antrópico. La matriz es de tamaño limo y arcilla, de color café y pardo amarillento, húmeda, consistencia blanda y tenacidad media. Los fragmentos pertenecen a una dunita con tamaño máximo grava fina, leve a fuertemente meteorizados, dispuestos aleatoriamente y con espejos de falla, también se encuentran nódulos de hierro con tamaño inferior que 5 mm. (SIGA I.C., 2016)

En el extremo suroeste de Esfuerzos de Paz se reporta un depósito de flujos de lodos y escombros, formado por dos eventos depositacionales identificados a través del análisis multitemporal, en donde uno de los eventos corresponde al deslizamiento de Villatina. La matriz es arcillosa, de color pardo oscuro a pardo amarillento, húmeda, de tenacidad baja y consistencia blanda. Los fragmentos corresponden a dunitas, esquistos verdes y rocas graníticas, angulares a subangulares, tamaño grava, con diferentes grados de meteorización. Además, pueden tener ceniza volcánica mezclada, cristales de asbesto y nódulos de hierro. (SIGA I.C., 2016)

Para los tres polígonos se presentan varios depósitos de flujo de lodos y escombros con espesores variables, cada uno de ellos se describe a continuación:

7.2.1. Depósitos de talus (Qt)

Este depósito fue identificado, hacia el sureste del polígono Esfuerzos de Paz, en la unidad geomorfológica denominada Escarpe Largo Semicircular de la parte media del polígono. Este depósito tiene un espesor de 2.0 m, es ovalado, mide 8 m de longitud y 3 m de ancho, está formado por fragmentos de dunita moderadamente meteorizados, angulares a subangulares, que miden entre 20 cm y 100 cm. (SIGA I.C., 2016)

7.2.2. Depósitos de deslizamiento (Qd)

Este depósito fue identificado en la parte superior del polígono Esfuerzos de Paz, cerca de la frontera con el polígono San Antonio. Se presenta un cuerpo de forma ovalada con una longitud de 10 m y un ancho de 5 m. Es un depósito matriz soportado con relación matriz/fragmentos de 90/10. La matriz es limosa de color café anaranjado, húmedo, de consistencia firme y tenacidad baja (SIGA I.C., 2016)

7.3. Llenos antrópicos (QII)

En las UMI's Esfuerzos de Paz, San Antonio y Pinares de Oriente se encuentran cuerpos que en superficie abarcan longitudes entre 7 m y 123 m y en profundidad alcanzan espesores variables entre 2.5 m y 14.0 m. Estos llenos fueron caracterizados en las perforaciones suprayaciendo los suelos residuales de las Dunitas de Medellín y los depósitos de flujo de lodos y/o escombros (SIGA I.C., 2016)

Los llenos antrópicos encontrados tienen entre 3.0 m y 4.5 m de espesor y están localizados hacia el noroeste del área de estudio. Presenta una relación matriz/fragmentos de 70/30. La matriz es limosa de color café, gris y negra, húmeda y de consistencia blanda. (SIGA I.C., 2016)

Se caracterizó un lleno localizado en el talud inferior de la vía principal, hacia el sureste de la zona de estudio. El cuerpo presenta un espesor de 2.5 m y una relación matriz/fragmentos de 80/20. Se caracteriza por una matriz de color pardo y café rojizo, su tamaño de grano es limo, presenta una tenacidad media, consistencia blanda y el material está seco. Los fragmentos son subangulares y corresponden a una dunita. Contiene fragmentos antrópicos correspondientes a ladrillos y telas. (SIGA I.C., 2016)

Hacia el sureste de Esfuerzos de Paz, se localiza un lleno con espesor de 2.0 m. Tiene matriz limo arenosa, de color negro y manchas grises, con tenacidad baja, consistencia blanda y húmeda, con relación matriz/fragmentos 85/1. Presenta materiales antrópicos como fragmentos de concreto, plástico y raíces; mientras que los otros materiales corresponden a dunitas meteorizadas. (SIGA I.C., 2016)

Hacia el sur del polígono San Antonio se identifica un lleno antrópico, este lleno tiene un espesor variable entre 2.0 m y 4.0 m y es matriz soportado. Se observa una matriz limosa de color pardo amarillento, húmeda a seca, consistencia firme a blanda y de tenacidad media presencia de desechos de plástico (SIGA I.C., 2016)

Al oeste del polígono Pinares de Oriente se encuentra un lleno antrópico definido a partir de la perforación de estudio DEACIVIL, (2014) y de las perforaciones de TECNISUELOS, (2013). Tiene un espesor variable entre 1.5 m y 6.5 m y suprayace el suelo residual de las Dunitas de Medellín. Es un material heterogéneo que varía entre limo y limo arcilloso de color café amarillento con zonas café oscuras, presenta algunas raíces. (SIGA I.C., 2016).

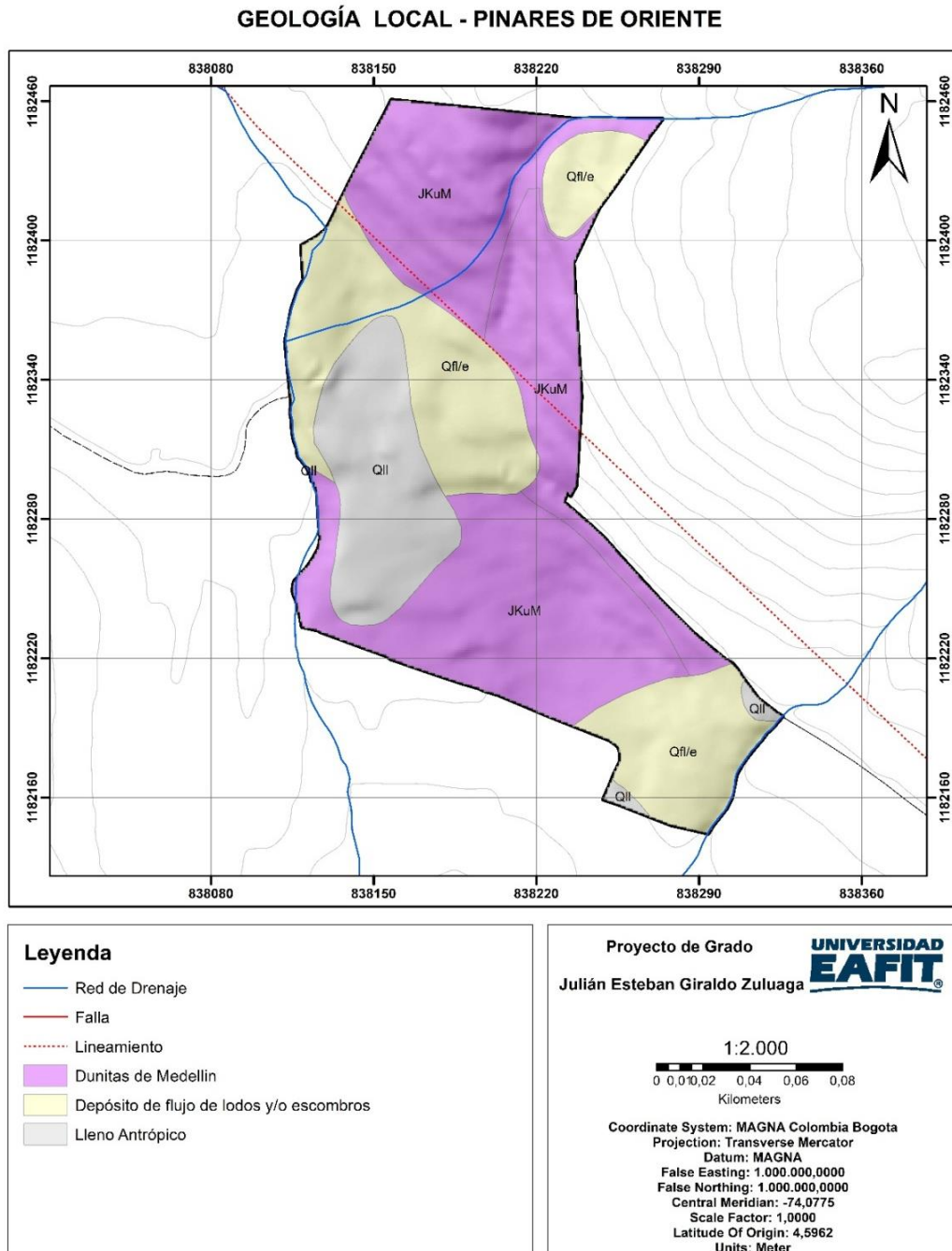


Figura 4. Mapa de la geología local, polígono Pinares de Oriente. Fuente SIGA I.C 2016.

GEOLOGÍA LOCAL - ESFUERZOS DE PAZ

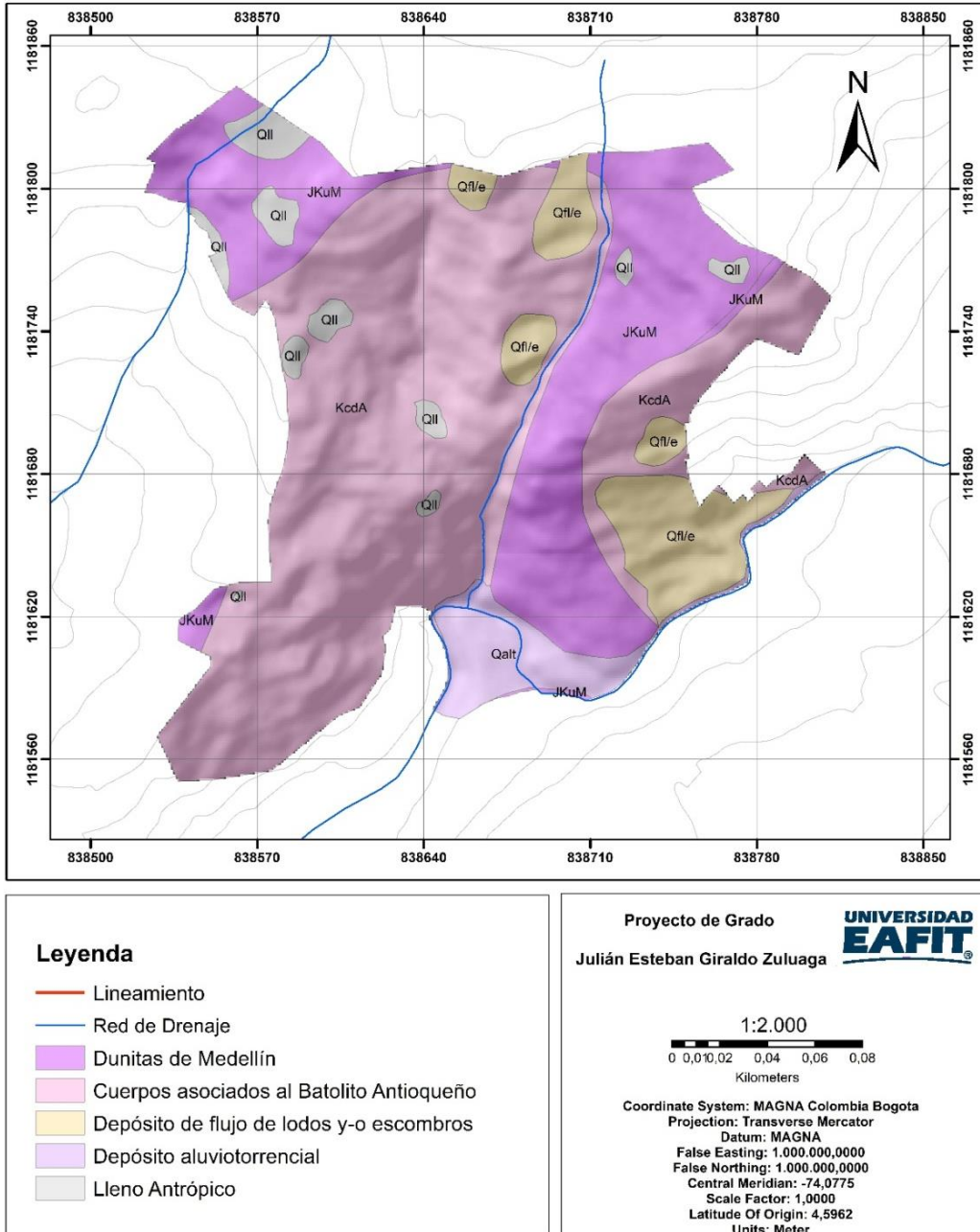


Figura 5. Mapa de la geología local, polígono Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA I.C 2016.

GEOLOGÍA LOCAL - SAN ANTONIO

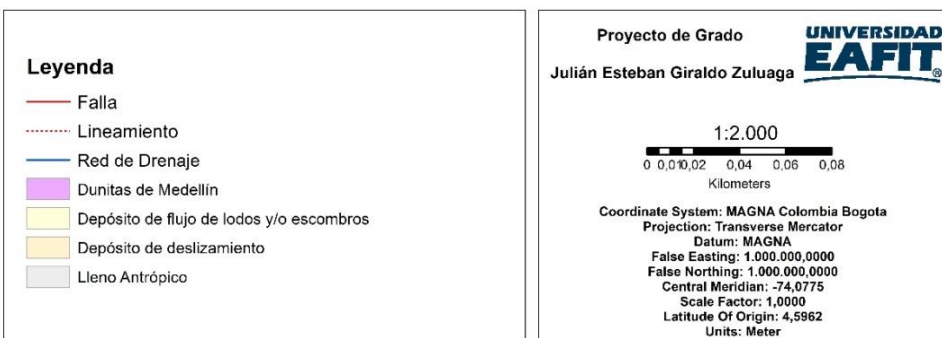
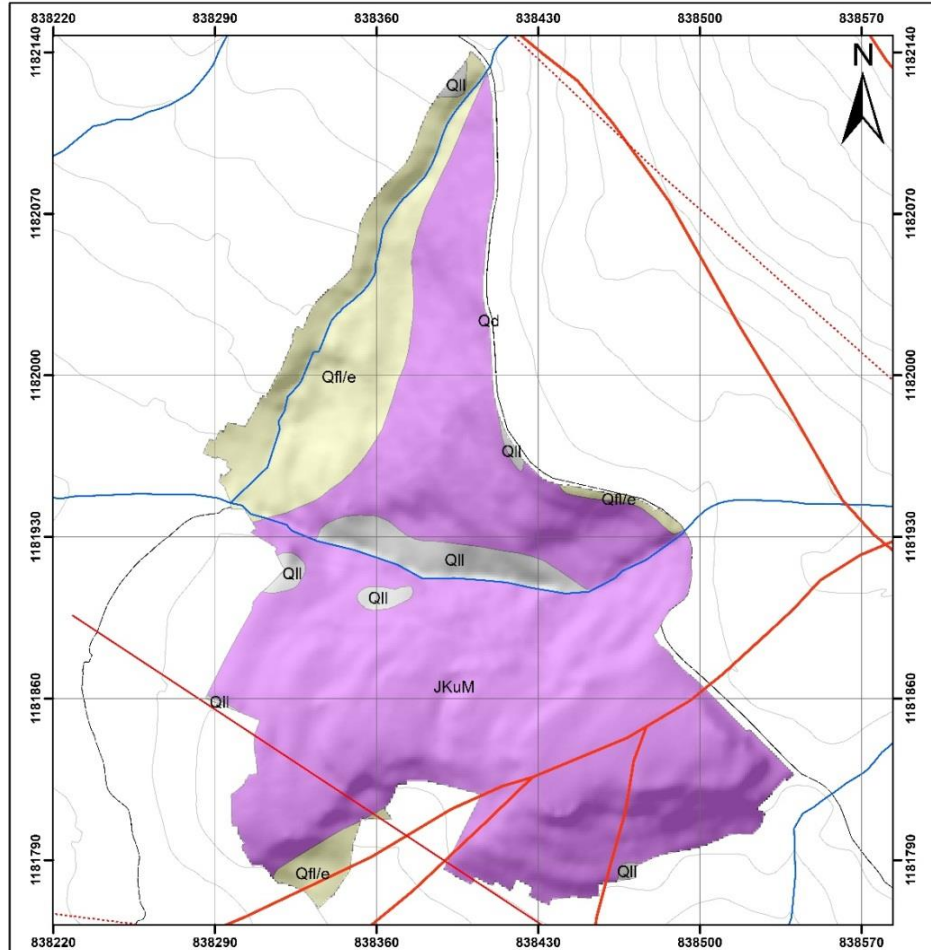


Figura 6. Mapa de geología local, polígono San Antonio. Fuente SIGA I.C 2016.

8. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

El Valle de Aburrá se ubica en un valle profundo comprendido por dos altiplanos o superficies de erosión cuyas alturas oscilan entre los 2200 msnm y 3200 msnm. Regionalmente, las geoformas más sobresalientes corresponden a superficies de erosión localizadas en el altiplano de Santa Elena, escarpes erosivos, superficies con diversos grados de incisión desarrollados sobre materiales in situ y geoformas asociadas a estructuras geológicas. (SIGA I.C., 2016)

A continuación, se presentan las macro unidades geomorfológicas de las UMI's presentes en la zona de estudio

8.1. Macrounidades geomorfológicas

Las macrounidades o bloques se asocian a unidades de paisaje en escalas regionales relacionadas genéticamente en cuanto a su geología, procesos de erosión y controles estructurales. En la zona de estudio regionalmente se tienen las macrounidades que se describen a continuación:

8.1.1. Superficie de erosión S-I (AP-S-I),

Ubicada a altura del corregimiento de Santa Elena hacia el oriente de Medellín. Se encuentran entre alturas de 2500 msnm y 2600 msnm, se caracterizan por ser superficies con baja incisión pertenecientes al altiplano mencionado anteriormente en medio de sistemas de falla. (SIGA I.C., 2016)

8.1.2. Escarpe erosivo regional ER-2 (AP-ER-2),

Limita las superficies de erosión descritas en el párrafo anterior. Genéticamente corresponden a zonas donde se presentó un levantamiento tectónico que genera una superficie con un gradiente en el cual se facilita la ocurrencia de procesos de erosión, denominándose de esta manera como escarpe erosivo. Esta macrounidad es observada como un conjunto de lomos bajos exhibiendo un alto grado de incisión en comparación con la superficie de erosión. (SIGA I.C., 2016)

8.1.3. Valle medio del Bloque Santa Elena (VM-BSE),

Ubicado sobre la margen derecha de la Quebrada Santa Elena. Se trata de lomos con tendencia S-N a SSE-NNW, de topes redondeados y vaguadas poco incisadas. Cerca del sector de la Estancias y La Sierra se tienen controles estructurales evidenciados en lineamientos y descansos topográficos denominados peldaños. (SIGA I.C., 2016)

8.1.4. Valle medio del Bloque comuna nororiental alta (VM-BCNA),

El cual se desarrolla geológicamente sobre las denominadas Dunitas de Medellín y de manera local sobre depósitos de vertiente. Su clasificación y característica principal es el control estructural presente, exhibiendo así un relieve escalonado sobre las laderas. Comprende un sistema de lomos con tendencia E-W de topes suaves y estrechos cañones. (SIGA I.C., 2016)

8.1.5. Valle medio del Bloque comuna nororiental baja (VM-BCNB),

Correspondiente a sistemas de lomos con tendencia N-S de topes suaves y estrechos cañones con control estructural como lineamientos con tendencia N-S. Esta unidad se desarrolla geológicamente sobre suelos depositados como aluviotorrenciales y aluviales asociados a la quebrada Santa Elena. (SIGA I.C., 2016)

8.1.6. Valle medio de fondo de valle (VM-FV),

El cual corresponde a zona planas de baja inclinación e incisión asociadas a depósitos aluviales del fondo del Valle de Aburrá. (SIGA I.C., 2016)

8.2. Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas se detallan en escalas más locales, haciendo referencia a aquellas geoformas con relaciones en cuanto a su geometría, la homogeneidad del proceso que las genera, la geología y su edad. Dentro de las macrounidades descritas anteriormente se puede encontrar diversas unidades geomorfológicas, es decir, una misma unidad geomorfológica puede estar presente en varias macrounidades, pudiéndose citar las siguientes:

8.2.1. Unidad de lomos bajos (LB),

Se encuentra en la macrounidad denominada Altiplano Escarpe Regional 2. Son lomos alargados sin ninguna orientación y con bajo grado de disección. (SIGA I.C., 2016)

8.2.2. Unidad de superficies con baja incisión (SBI),

Se encuentra en la macrounidad denominada como Altiplanos Superficie de Erosión I y corresponde a geoformas de lomos alargados localizadas cerca de zonas escarpadas. (SIGA I.C., 2016)

8.2.3. Unidad de lomos (L),

Se encuentra en las macrounidades denominadas Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Alta y Valle Medio Bloque Santa Elena. Se caracterizan por estar

orientados hacia el eje fluvial principal, corresponden a filos alargados y estrechos. (SIGA I.C., 2016)

8.2.4. Unidad de peldaños (PÑ),

Esta unidad se encuentra en las macrounidades: Valle medio-Bloque Comuna Nororiental Alta, Valle Medio-Bloque Comuna Nororiental Baja, y Valle Medio-Bloque Santa Elena, corresponden a superficies de baja inclinación de gran continuidad. (SIGA I.C., 2016)

8.2.5. Unidad de rasgos morfotectónicos (RMT),

Se encuentra en la macrounidad Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Alta y corresponden a geoformas asociadas estructuralmente a lineamientos, fallas y contactos entre unidades geológicas. (SIGA I.C., 2016)

8.2.6. Unidad de superficies suaves depósitos moderadamente incisados (SSDMI),

Se encuentra en la macrounidad Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Alta. Se desarrolla sobre depósitos de vertiente (flujo de lodos y/o escombros) y corresponde a zonas continuas de baja inclinación e incisión moderada. (SIGA I.C., 2016)

8.2.7. Unidad de superficies suaves en depósitos poco incisados (SSDPI),

Se encuentra en las macrounidades denominadas como Valle Medio Bloque El Salvador y Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Baja. Se desarrollan sobre depósitos de vertiente (flujo de lodos y/o escombros) y corresponden a zonas continuas de baja inclinación y poca incisión. (SIGA I.C., 2016)

8.2.8. Unidad de vertiente en suelos residuales moderadamente incisados (VSRMI),

Se encuentra en la macrounidad Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Baja. La localización de esta geoforma varía de acuerdo con la unidad geológica presente. Corresponden a laderas con filos estrechos y topes agudos. Para el caso de estudio se desarrollan sobre suelos residuales de las Dunitas de Medellín. (SIGA I.C., 2016)

8.2.9. Unidad de Escarpes semicirculares superiores (ESCS),

Se encuentra en la macrounidad Valle Medio -Bloque Santa Elena. Se encuentra en zonas escarpadas y superficies rocosas hacia los límites con los altiplanos, caracterizándose por presentar fuertes pendientes. (SIGA I.C., 2016)

MAPA GEOMORFOLOGÍA REGIONAL- ZONA DE ESTUDIO

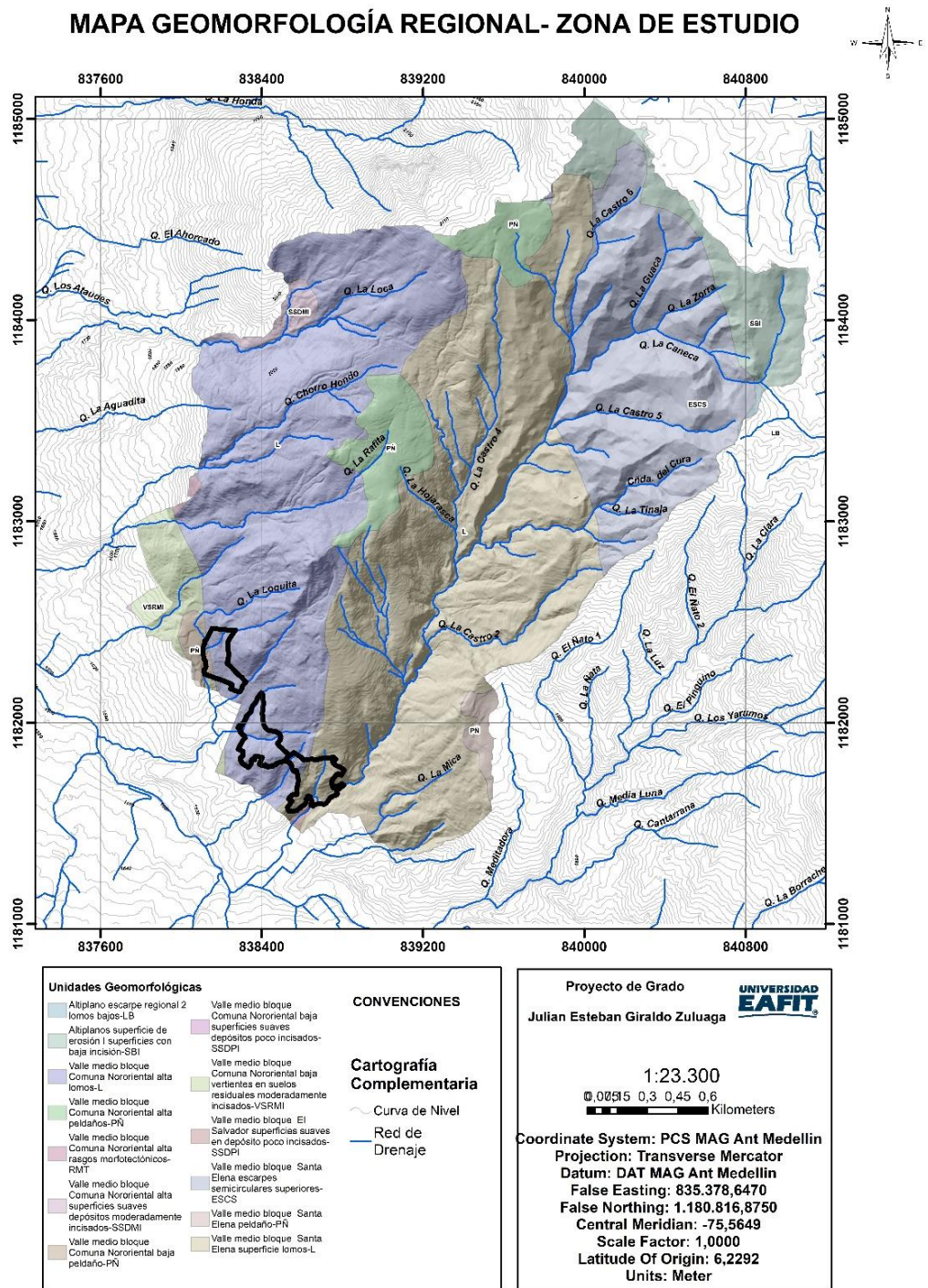


Figura 7. Mapa geomorfológico regional. Fuente SIGA I.C 2016.

9. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Para la realización del mapa de las unidades geomorfológicas se toma como base la información del estudio realizado por SIGA I.C, en este se definieron rangos de pendiente de acuerdo con el ángulo de inclinación que presenta el terreno, el cual es expresado según el Acuerdo Metropolitano N°9 de 2012 del (AMVA, 2012).

Tabla 1. *Rangos de pendientes para definición de la geomorfología local*

Rango	Clasificación	Rasgo Geomorfológico	Tipo de Proceso
0° a 5°	Baja	Planicies	Erosión superficial
5° a 15°	Moderada	Superficies suaves	Erosión superficial
15° a 30°	Alta	Superficies moderadas	Movimientos en masa y erosión superficial
> 30°	Muy alta	Laderas empinadas	Movimientos en masa y caída de rocas

Se presentan trece unidades geomorfológicas las cuales para la geomorfología local se describen de acuerdo a los polígonos de estudio:

9.1. Unidad peldaño bajo PÑB

Esta unidad se encuentra localizada hacia el sur (parte baja) de la UMI Esfuerzos de Paz donde actualmente se localiza el Tanque Santa Elena. Se encuentra entre las cotas 1740 msnm y 1750 msnm, limitada por lineamientos asociados a rasgos tectónicos observados principalmente en quiebres de pendiente. Esta unidad presenta forma de ovalo alargado, topes planos a moderadamente convexos con pendientes menores de 15°. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín y llenos antrópicos. (SIGA I.C., 2016)

9.2. Unidad peldaño tectónico PÑT

Se encuentran en la parte media y alta de Esfuerzos de Paz y San Antonio. Está localizada en la parte media y corresponde a la expresión geomorfológica denominada “Silleta o Silla de

Montar”. Este tipo de depresiones son generadas por la presencia de planos de debilidad donde se produce con mayor facilidad la meteorización de una unidad geológica debido a la presencia de estructuras geológicas como lineamientos y fallas. (SIGA I.C., 2016)

El peldaño tectónico localizado en la parte alta del polígono presenta topes suaves con pendientes menores de 5° y con forma de óvalo alargado y estrecho.

9.3.Unidad picacho P

Se localiza en la parte alta de Esfuerzos de Paz, hacia el norte, en esta unidad se encuentra el Cerro Pan de Azúcar (CPA). Se caracteriza por encontrarse en el rango de pendientes mayores de 30°, esta geoforma presenta forma ovalada a irregular, sus vertientes son fuertes a escarpadas con topes convexos y planos. Litológicamente se encuentra sobre el Horizonte IIA de Dunitas (SIGA I.C., 2016).

9.4.Unidad escarpe largo semicircular ELSC

Se ubica en la parte alta de Esfuerzos de Paz y San Antonio. Se caracteriza por presentar pendientes muy escarpadas con ángulos mayores de 30°, paredes (frentes de roca) con alturas mayores de 100 m, formas semicirculares a ovaladas limitados por lineamientos y peldaños tectónicos. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre el Horizonte IIA de las Dunitas y se generan procesos de inestabilidad (SIGA I.C., 2016).

9.5.Unidad escarpe E

Se encuentra ubicado en la parte alta de San Antonio sobre la margen izquierda de la Quebrada La Loquita. Se caracteriza por presentar pendientes muy escarpadas con ángulos mayores de 30°, presenta paredes (frentes de roca) con alturas entre 50 m y 80 m, con formas irregulares cóncavas y convexas. Esta unidad geomorfológica hace parte del escarpe sobre el cual se tiene la cicatriz de deslizamiento de Villatina en la UMI correspondiente a San Antonio. Litológicamente se desarrolla sobre el Horizonte IIA de las Dunitas de Medellín. En esta unidad geomorfológica se desarrollan procesos de inestabilidad como caída de rocas, el cual es desencadenado por procesos de erosión superficial. (SIGA I.C., 2016).

9.6.Unidad lomo amplio con vertientes moderadas LAVM

Se localiza en la parte media de Pinares de Oriente, limita en la parte superior con la Unidad Escarpes Largos Semicirculares y en la parte inferior con la Unidad Superficies con Baja Incisión. Se caracteriza por presentar topes subangulosos con pendientes menores de 15°, vertientes cortas con pendientes moderadas a fuertes, presenta formas alargadas con bajo grado de incisión. Litológicamente, esta unidad se desarrolla principalmente sobre el Horizonte IIA y suelo residual de Dunitas de Medellín y en pequeñas zonas se localizan depósitos de flujos de lodos y/o escombros (SIGA I.C., 2016).

9.7. Unidad lomo alargado con vertientes fuertes LARVF

Se localiza en la parte alta de San Antonio limita en la parte superior por la unidad de Peldaño Alto cerca del Cerro Pan de Azúcar (CPA), en cuanto a su extensión gran parte de esta unidad se localiza sobre la UMI de Esfuerzos de Paz y Villa Turbay. Se caracteriza por presentar topes continuos de pendientes suaves de 15°, vertientes cortas con pendientes moderadas a fuertes. Litológicamente esta unidad se desarrolla principalmente sobre el Horizonte IIA y suelo residual de Dunitas de Medellín. (SIGA I.C., 2016).

9.8. Unidad superficie antrópica SA

Se encuentran concentradas en la parte media y baja de Pinares de Oriente. Son superficies explanadas con formas irregulares modificadas antrópicamente, con pendientes suaves entre 0° y 5° de inclinación. Sobre esta unidad se localiza el Tanque Santa Elena (SIGA I.C., 2016).

9.9. Unidad superficies suaves sobre depósitos moderadamente incisados

Se encuentran localizadas sobre toda la zona de estudio. La de mayor área se ubica sobre la margen izquierda y derecha de la Quebrada La Loquita. Estas geoformas se caracterizan por presentar pendientes menores de 15° y formas ovaladas, laderas cortas moderadamente incisadas y topes suaves. Como su nombre lo indica, se desarrollan sobre depósitos de flujo de lodos y/o escombros. (SIGA I.C., 2016).

9.10. Unidad superficies suaves sobre depósitos poco incisados SSDPI

Se encuentran ubicados en la parte alta del polígono, Pinares de Oriente sobre ambas márgenes de la Quebrada La Loquita 1. Estas geoformas se caracterizan por presentar pendientes menores a 15° y formas ovaladas, laderas muy cortas poco incisadas y topes suaves. Como su

nombre lo indica, se desarrollan sobre depósitos de flujo de lodos y escombros). (SIGA I.C., 2016).

9.11. Unidad de superficies con baja incisión SBI

Localizada en la parte inferior de San Antonio y Pinares de Oriente y sobre gran parte de los polígonos. Presenta topes suaves rugosos con pendientes menores de 5° y bajo grado de incisión). Litológicamente se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín. (SIGA I.C., 2016).

9.12. Unidad de vertiente escarpada VE

Se localiza en la parte baja de Pinares de Oriente. Se caracteriza por presentar laderas cortas con pendientes fuertes a escarpadas e inclinaciones mayores a los 15° con bajo grado de incisión; se encuentra completamente urbanizada. Esta geoforma se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín. (SIGA I.C., 2016).

9.13. Unidad de vertiente suave VS

Se encuentra en límite entre San Antonio Esfuerzos de Paz. Se caracteriza por presentar laderas cortas con pendientes suaves con inclinaciones menores de 15° con bajo grado de incisión y de forma convexa. Esta geoforma se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín. (SIGA I.C., 2016).

GEOMORFOLOGÍA LOCAL - ESFUERZOS DE PAZ

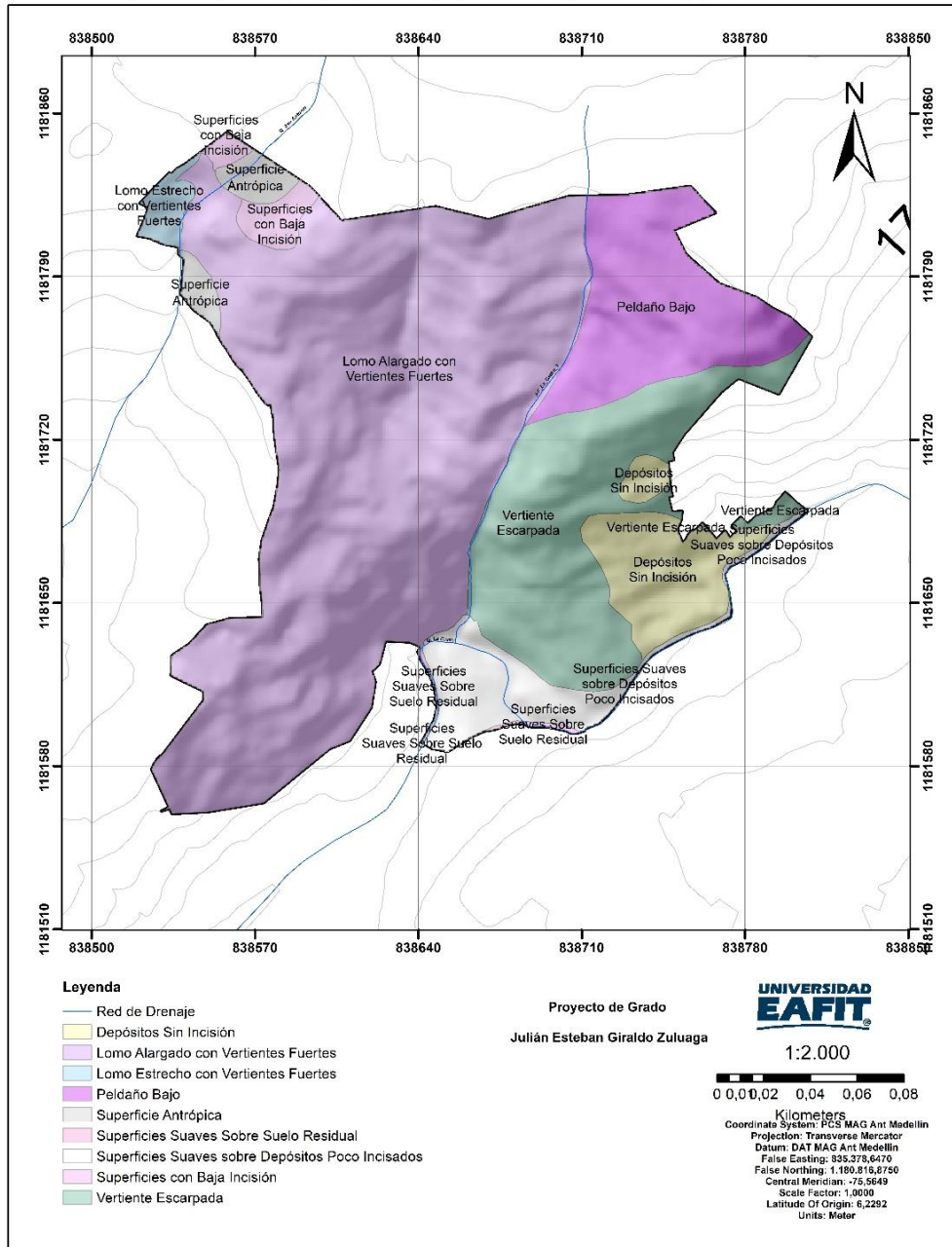


Figura 8. Mapa geomorfológico local, Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA I.C. 2016

GEOMORFOLOGÍA LOCAL - SAN ANTONIO

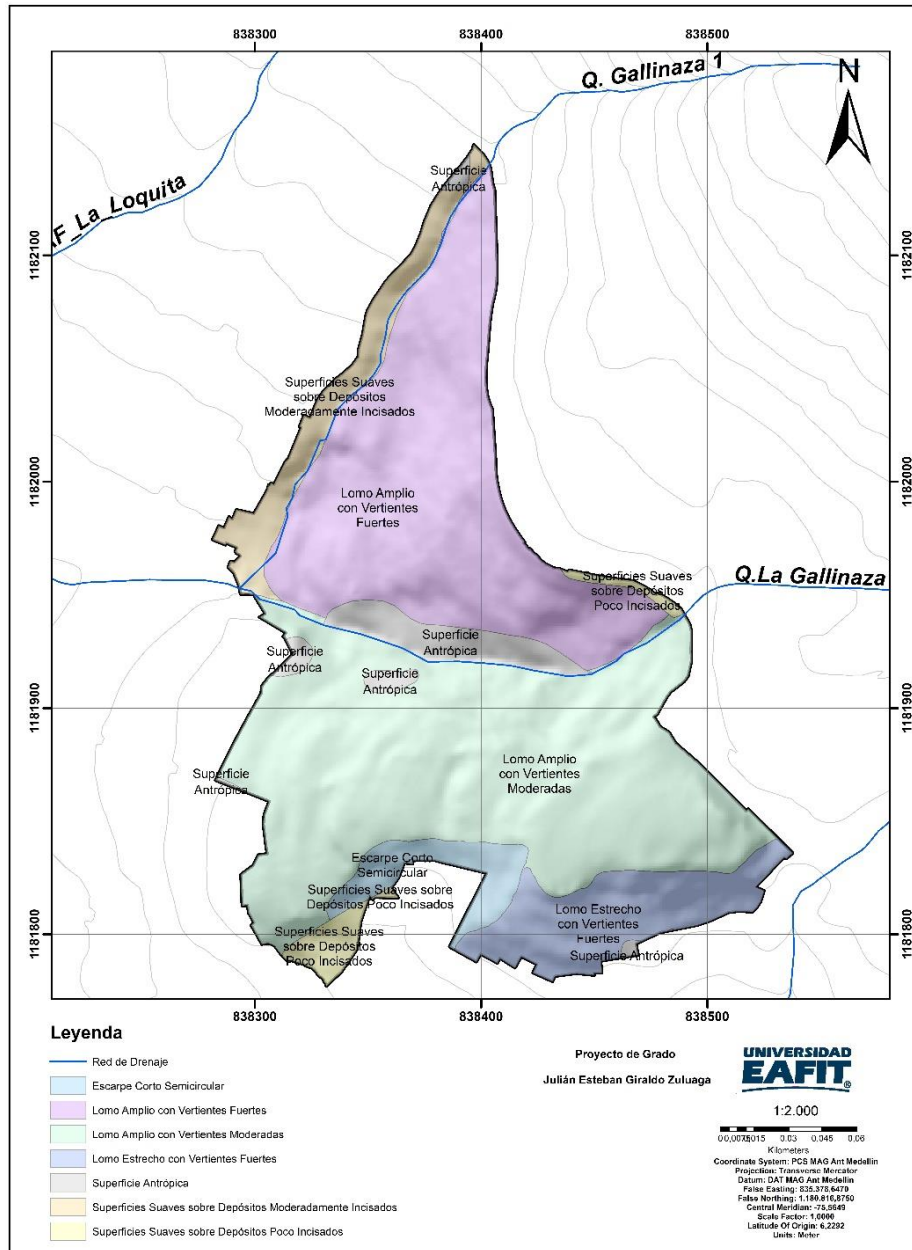


Figura 9. Mapa geomorfológico local, San Antonio. Fuente SIGA I.C. 2016.

GEOMORFOLOGÍA LOCAL - PINARES DE ORIENTE

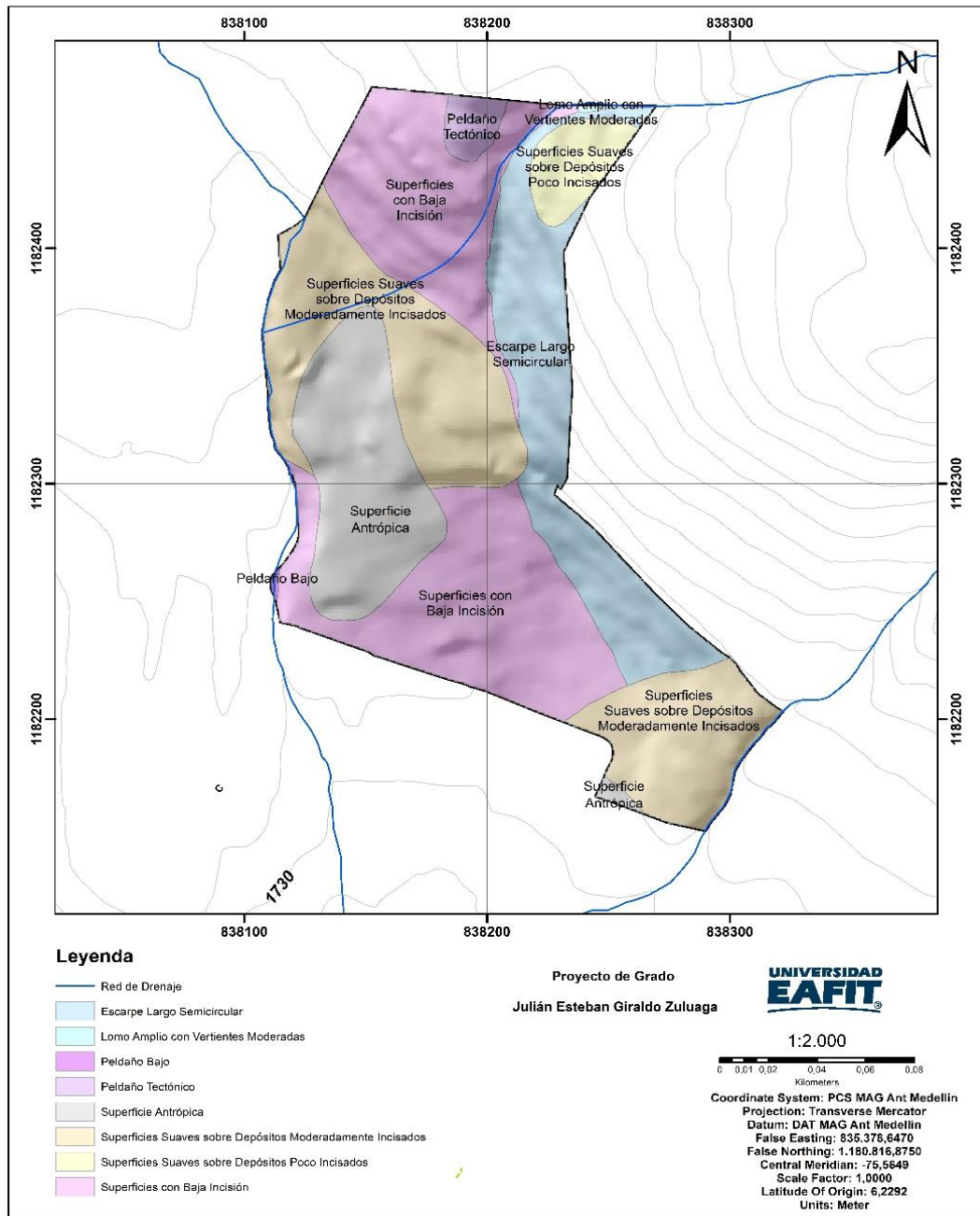


Figura 10. Mapa geomorfológico local, Pinare de Oriente. Fuente SIGA I.C. 2016.

9.13.GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

En el Valle de Aburrá, conforme a la geología de la Plancha 147, Medellín Oriental (INGEOMINAS, 2005) existen tres direcciones principales de cizallamiento, que son N-S, N45°E y N45°W. Lo anterior concuerda con la dirección del Sistema de Fallas Romeral, reportado por varios autores, donde la dirección predominante es N-S (AMVA, 2006).

En la zona sur del Valle de Aburrá se han reportado un gran número de fallas regionales y lineamientos con dos direcciones predominantes: NS a NNW al oeste del Río Aburrá y una tendencia NW al este del mismo (Grosse, 1926; Gonzalez , 1980; Restrepo & Toussaint, Unidades litológicas de los alrededores de Medellín., 1984; Case, Duran, López, & Moore, 1971)

Se destacan trazas de las Fallas San Jerónimo, Minas y Santa Isabel. Al norte del valle existe otro sistema de fallas regionales con dirección NW, donde sobresalen las Fallas Don Matías y Rodas. Del sistema de fallas con dirección NE, las principales trazas son La Chapa y Santa Elena (AMVA, 2006).

En la zona de estudio, el Consorcio Microzonificación (AMVA, 2006) reporta estructuras geológicas para las Dunitas de Medellín, tales como diaclasas, cizallas y fallas, con datos de rumbo/buzamiento: N80°W/45°S y NS/45°NS-45°E, estos datos fueron tomados en los contactos entre anfibolitas y dunitas.

9.14. Geología Estructural Local

Los polígonos Pinares de Oriente, Esfuerzos de Paz y San Antonio se encontraron estructuras tales como lineamientos geológicos, discontinuidades y zonas de cizalla.

Los lineamientos se identificaron a través de los análisis geomorfológicos y fotogeológicos, encontrando tendencias NW-SE, en donde la primera se relaciona con la dirección del contacto entre anfibolitas-dunitas de Medellín (Falla Contacto Anfibolitas Dunitas). Además, cabe resaltar la posible relación de estos lineamientos geológicos con las evidencias de falla encontradas en los recorridos de campo y en las perforaciones, lo cual lleva a concluir que las Dunitas de la zona de estudio están cizalladas. (SIGA I.C., 2016)

En el polígono Pinares de Oriente las diferentes estructuras encontradas presentan datos en rangos similares, los cuales tienen predominancia el buzamiento hacia el SW y varía entre lo 180° y los 240°.

En el polígono Esfuerzos de Paz, se presentan estructuras propias del tipo de roca que fueron heredadas por los eventos de cizallamiento y deformaciones discontinuas. Estas se asocian a comportamientos frágiles de rotura, como fracturas aleatorias, diaclasas y fallas geológicas, asociadas a estructuras regionales o locales, producto de la dinámica del sector. (SIGA I.C., 2016).

A través de los análisis geomorfológicos y fotogeológicos se encontraron tendencias NW-SE y NE, en donde la primera se relaciona con los principales lineamientos. Se observó, además, una falla que corta el cuerpo de Dunitas sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro, localizada en cercanías del centro de rehabilitación Hogares Claret llamada Falla La Aguadita. Esta falla fue reportada por Bernal y Jaramillo (1985) y Restrepo J. (2008) presenta sentido preferencial N40°W/45° Universidad Nacional de Colombia, Corantioquia, & Instituto Mi Río (2003) y corta la Falla de Rodas en las cercanías de la quebrada Santa Elena. Esta falla se cartografió en campo a partir de los cambios topográficos observados en Hogares Claret, en geoformas denominadas como Peldaños. (SIGA I.C., 2016)

La segunda tendencia corresponde a las fallas La Castro y La Castro 1, las cuales fueron observadas sobre la quebrada que lleva su nombre. La Castro 1 corresponde a un ramal de la falla La Castro, cuya zona de influencia se encuentra sobre la Quebrada La Castro 4 (afluente de Quebrada La Castro), en el cual se observa material de las Dunitas y Anfibolitas en brechas de falla. (SIGA I.C., 2016)

En general, se observaron geoformas estructurales tales como lomos de obturación, descansos topográficos (peldaños) y material altamente fracturado en las inmediaciones de la Quebrada La Castro, la cual pone en contacto un pequeño cuerpo de las Anfibolitas de Medellín con las Dunitas de Medellín. (SIGA I.C., 2016)

Es importante mencionar la posible relación de estas fallas geológicas con las evidencias de zonas de cizalla encontradas en las perforaciones, lo cual lleva a concluir que las Dunitas de Medellín y los cuerpos intrusivos asociados al Batolito Antioqueño de la zona de estudio están igualmente afectadas por estos sistemas de fallas. (SIGA I.C., 2016)

Por su parte en el polígono San Antonio los resultados obtenidos por medio del análisis estructural indican que se identifican dos familias de diaclasas con disposición N27°W/68°SW y N34°E/36°NW La Familia 2 (N34°E/36°NW) presenta direcciones en rumbo y buzamiento semejantes al sistema de diaclasas N50°E/45°E, según el reporte realizado por el Consorcio Microzonificación (AMVA, 2006).

9.15. Análisis Estructural

Los resultados obtenidos en el análisis general y local indican que la UMI Pinares de Oriente tiene cuatro tendencias de discontinuidades, de las cuales dos se consideran familias principales (Familias 1 y 2) y las otras dos familias secundarias (Familias 3 y 4). La Familia 1 muestra la tendencia principal para esta UMI. Además, puede inferirse lo siguiente:

- De acuerdo con el análisis general, la Familia 1 (N70°W/18°SW) es semejante a la falla N80°W/45°SW, reportada por el Consorcio Microzonificación (AMVA, 2006) como el contacto entre dunita-anfibolita en el municipio de Santa Elena.
- La Familia 4 (N26°E/78°NW) del análisis local, podría correlacionarse con la zona de cizalla S35°W/55°W reportada por el Consorcio Microzonificación (AMVA, 2006) en la vía al Plan, Envigado. (SIGA I.C., 2016)
- Las Familias 2 y 3 del análisis local, no se correlaciona de forma directa con las estructuras geológicas reportadas a escala regional, por ello, se asumen como discontinuidades locales de macizo. (SIGA I.C., 2016)

10. GEOTÉCNIA

Para la caracterización de los materiales presentes en el área de estudio, se ejecutaron sondeos profundos y líneas geofísicas, los cuales fueron localizados en función del modelo geológico-geotécnico que debía determinarse. Se tuvo en cuenta además la ubicación de los sondeos existentes en los estudios recopilados. (SIGA I.C., 2016)

En los polígonos Pinares de Oriente, Esfuerzos de Paz y San Antonio se realizaron sondeos tanto de tipo directo (perforaciones) como indirecto (líneas de geofísica), que en conjunto conforman un sistema de exploración que cubre ampliamente la zona de estudio a nivel local y regional. (SIGA I.C., 2016)

En el polígono Pinares de Oriente se encuentran cuerpos de llenos antrópicos que en superficie abarcan longitudes entre 7 m y 123 m y en profundidad alcanzan espesores variables entre 1.5 m y 6.5 m. Estos llenos fueron caracterizados en las perforaciones suprayaciendo los suelos residuales de la Dunita de Medellín y los depósitos de flujo de lodos y escombros. Este material presenta resistencias a la penetración estándar muy variables, entre 9 golpes/pie e incluso 51 golpes/pie. (SIGA I.C., 2016)

Por debajo de los llenos antrópicos o aflorando en superficie se tienen los depósitos de flujo de lodos y escombros. Se encuentran doce cuerpos distribuidos en la parte superior, central y baja del polígono. Estos depósitos fueron identificados en las perforaciones. La resistencia a la penetración varía considerablemente entre 6 golpes/pie y 68 golpes/pie, entre los 1.5 m y 19.5 m de profundidad. (SIGA I.C., 2016)

La Dunita de Medellín fue identificada en la zona de estudio, mediante la exploración en profundidad, encontrando el desarrollo de los horizontes IB, IC y IIA, según la clasificación de Deere & Patton (1971). En esta unidad es común encontrar evidencias de falla, tales como espejos, milonitas, salbanda (tacto jabonoso) y brechas tectónicas (cataclásitas), por lo que se podría clasificar como dunita cizallada. Las resistencias a la penetración estándar también mejoran notablemente con la profundidad, presentando en los primeros 3 m de esta formación las resistencias más bajas, del orden de 4 golpes/pie. Luego la resistencia aumenta, llegando incluso a 86 golpes/pie. (SIGA I.C., 2016)

En el polígono Esfuerzos de Paz se encuentran cuerpos de llenos antrópicos que en superficie abarcan longitudes entre 4 m y 113 m y en profundidad alcanzan espesores variables entre 1.2 m y 16.0 m. Estos llenos fueron caracterizados en las perforaciones suprayaciendo los suelos residuales de la Dunita de Medellín y del Batolito Antioqueño y los depósitos de flujo

de lodos y escombros. Este material presenta resistencias a la penetración estándar muy variables, entre 2 golpes/pie y 35 golpes/pie e incluso 82 golpes/pie. (SIGA I.C., 2016)

Por debajo de los llenos antrópicos o aflorando en superficie se tienen depósitos de flujo de lodos y/o escombros. Se encuentran ocho cuerpos distribuidos en la parte superior, central y baja del polígono. Estos depósitos fueron identificados en las perforaciones. La resistencia a la penetración varía considerablemente entre 3 golpes/pie y 75 golpes/pie, entre la superficie y 15.0 m de profundidad. (SIGA I.C., 2016)

La Dunita de Medellín fue identificada en la zona de estudio, mediante la exploración en profundidad, encontrando el desarrollo de los horizontes IB, IC y IIA, según la clasificación de Deere & Patton (1971). En esta unidad es común encontrar evidencias de falla, tales como espejos, milonitas, salbanda (tacto jabonoso) y brechas tectónicas (cataclasitas), por lo que se podría clasificar como dunita cizallada. Las resistencias a la penetración estándar también mejoran notablemente con la profundidad, presentando resistencias del orden de 5 golpes/pie a 94 golpes/pie. (SIGA I.C., 2016)

En el polígono también se identificaron cuerpos asociados al Batolito Antioqueño, encontrando el desarrollo de los horizontes IC y IIA, según la clasificación de Deere & Patton, (1971). Las resistencias a la penetración estándar también mejoran notablemente con la profundidad, presentando resistencias del orden de 5 golpes/pie a 100 golpes/pie (SIGA I.C., 2016)

En el polígono San Antonio se encuentran cuerpos de llenos antrópicos que en superficie abarcan longitudes entre 15 m y 100 m y en profundidad alcanzan espesores variables entre 1.5 m y 10.0 m. Estos llenos fueron caracterizados en las perforaciones suprayaciendo los suelos residuales de la Dunita de Medellín y los depósitos de flujo de lodos y escombros. Este material presenta resistencias a la penetración estándar muy variables, entre 4 golpes/pie e incluso 39 golpes/pie. (SIGA I.C., 2016)

Por debajo de los llenos antrópicos o aflorando en superficie se tienen los depósitos de flujo de lodos y escombros. Se encuentran ocho cuerpos distribuidos en la parte superior, central y baja del polígono. Estos depósitos fueron identificados en las Perforaciones. La resistencia a la penetración varía considerablemente entre 2 golpes/pie y 82 golpes/pie, entre la superficie y 16.0 m de profundidad. (SIGA I.C., 2016).

La Dunita de Medellín fue identificada en la zona de estudio, mediante la exploración en profundidad, encontrando el desarrollo de los horizontes IB, IC y IIA, según la clasificación de Deere & Patton (1971). En esta unidad es común encontrar evidencias de falla, tales como espejos, milonitas, salbanda (tacto jabonoso) y brechas tectónicas (cataclasitas), por lo que se

podría clasificar como dunita cizallada. Las resistencias a la penetración estándar también mejoran notablemente con la profundidad, presentando resistencias del orden de 3 golpes/pie y 81 golpes/pie. (SIGA I.C., 2016).

En el polígono también se registran cuerpos asociados al Batolito Antioqueño localizados en la parte baja del polígono San Antonio, a partir de los 12.5 m de profundidad con resistencias a la penetración estándar entre 26 golpes/pie y 69 golpes/pie. En esta misma perforación se obtuvieron valores de la resistencia a la penetración estándar entre 12 golpes/pie y 17 golpes/pie, en la zona de contacto entre Dunitas de Medellín y cuerpos asociados al Batolito Antioqueño. (SIGA I.C., 2016).

11. METODOLOGÍA DESARROLLADA POR SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES

En el marco del contrato 0286 de 2014, SIGA I.C. (2016), realizó los “estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de detalle para los polígonos de barrios sostenibles en el municipio de Medellín”. A continuación, en este capítulo se describe la metodología utilizada por SIGA I.C, para la evaluación y el cálculo del riesgo.

Para el análisis y evaluación del riesgo por elementos expuestos en los polígonos Esfuerzos de Paz, San Antonio y Pinares de Oriente, SIGA I.C. utilizó una serie de parámetros los cuales comprenden desde recopilación de información básica de la zona, trabajos de levantamientos de campo, geología y geotecnia, cálculos de factores de seguridad y probabilidad de falla, además de la evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad, para de esta manera tener los insumos necesarios para la evaluación del riesgo.

11.1. Recopilación de información básica

Es de suma importancia la recopilación de información básica que permita tener un entendimiento mayor de la zona, tales como literatura, información de sensores remotos, topográfica, estudios geotécnicos y geológicos que ayuden en el desarrollo técnico del proyecto.

Por otra parte, también se verificaron diferentes documentos que involucran normativas que se deben cumplir a nivel regional y nacional como:

- Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Medellín (2014)
- Acuerdo Metropolitano 009 de 2012
- Estudios de microzonificación sísmica de 1999 y 2006
- Planchas cartográficas del IGAC 1972 y del proyecto SIGAME 1999
- Fotografías aéreas disponibles en el IGAC del municipio de Medellín y Antioquia
- Reglamento colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10
- Bases de datos de procesos morfodinámicos disponibles en el portal DAGRD

11.2. Zonificación de la aptitud geológica

De acuerdo a las características de cada UMI, se realiza una zonificación de aptitud geológica, estas se realizaron bajo los criterios del (AMVA,2012). Se definieron en zona aptas, las cuales presentan alto grado de estabilidad; zonas aptas con restricciones moderadas, donde la estabilidad está condicionada por la incidencia que presentan procesos morfodinámicos activos; zonas aptas con restricciones altas, donde se evidencia la ocurrencia y recurrencia de procesos morfodinámicos activos y zonas no aptas, que son zonas con evidente inestabilidad por la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos

11.3. Análisis y evaluación de la amenaza

Para el proyecto realizado por SIGA I.C. se evaluaron tres escenarios de amenazas; Amenaza por movimientos en masa, Amenaza por inundación, y Amenaza por avenidas torrenciales

11.4. Análisis de la amenaza por movimientos en masa

Para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, se tuvieron en cuenta cuatro condiciones:

- Condición 1, Para la situación actual y para los procesos por movimientos en masa identificados como parte del modelo geológico-geotécnico propuesto para el área objeto de estudio
- Condición 2, Bajo las condiciones normales y extremas de lluvia
- Condición 3, Sismo a las que podrá estar expuesta el área de estudio
- Condición 4, Para la situación generada por el cambio de la aptitud del uso (licencia de urbanización, parcelación, construcción de nuevas obras de urbanismo, y plan de construcciones más probables).

11.4.1. Análisis del factor de seguridad

Para el análisis de amenaza por movimiento en masa, se tuvieron en cuenta los fenómenos de inestabilidad que se pueden generar tanto en ambientes de suelo como en ambientes donde se presentan afloramientos de roca. Para los ambientes de suelo SIGA I.C., (2016), utilizo el análisis de estabilidad por medio de equilibrio límite Taylor (1948) esté dando como resultado un valor cuantitativo del factor de seguridad y la probabilidad de falla.

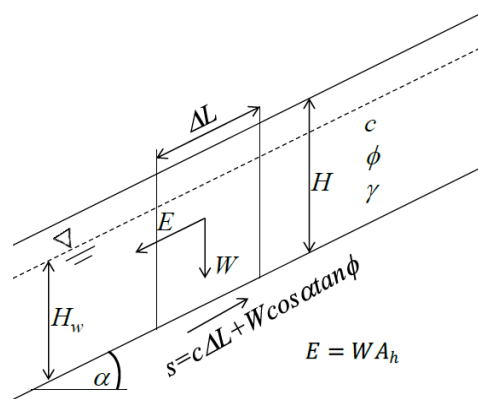


Figura 11. Modelo de cuerpo libre mecanismo de falla plana. Fuente: SIGA I.C 2016.

Para condiciones estáticas normales, la teoría del talud infinito se expresa como:

$$FS_{estático} = \frac{c + (\gamma H - \gamma_w H_w) \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma H \cos \beta \sin \beta}$$

Para condiciones pseudo estáticas normales, la teoría del talud infinito puede ser expresada como:

$$FS_{dinámico} = \frac{c + (\gamma H - \gamma_w H_w) \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma H \cos \beta (A_h \cos \beta + \sin \beta)}$$

Para los análisis de estabilidad, el factor de seguridad está en función del espesor de la capa de suelo (H), la posición del nivel freático (Hw), la inclinación o pendiente de la ladera (β) y finalmente los parámetros de resistencia al cortante de los materiales, ángulo de fricción interna (ϕ), cohesión (c) y peso unitario (γ) y en el caso del análisis pseudo estático por la aceleración crítica horizontal (Ah)

Por otra parte, para los análisis de macizo rocoso también se aplicaron las teorías de Equilibrio Límite Taylor (1948); sin embargo, en este caso fue necesario caracterizar las discontinuidades y tener información de dirección y buzamiento de la discontinuidad, continuidad, abertura, rugosidad, estado de alteración, condiciones de agua.

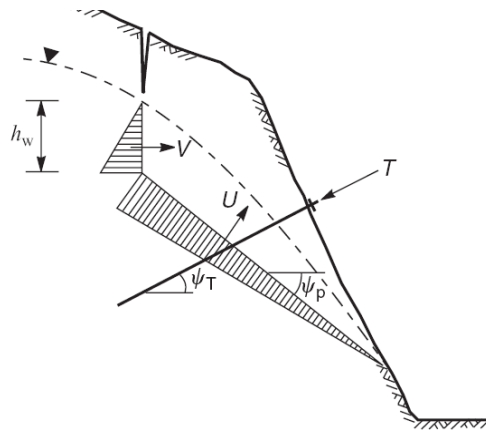


Figura 12. Mecanismos de falla planar. Fuente: SIGA I.C 2016. Fuente: SIGA I.C 2016.

Para condiciones estáticas normales, la teoría de estabilidad de fallas planares en roca se puede calcular como:

$$FS_{estático} = \frac{c \cdot l + W \cdot \cos \psi_c \cdot \operatorname{tg} \phi}{W \cdot \sin \psi_c}$$

11.5. Análisis de la probabilidad de falla

Después de determinar el factor de seguridad se procedieron con el cálculo de la probabilidad de falla. La probabilidad de falla se determinó como la probabilidad de que los valores considerados límites sean excedidos. En el caso del factor de seguridad (FS), la probabilidad de falla se determinó como la probabilidad de que ese factor de seguridad sea menor que la unidad.

Para este proyecto, la probabilidad de falla al deslizamiento se evaluó utilizando la metodología del índice de confiabilidad (β) el cual es una aplicación directa del método de Primera Orden y Segundo Momento (FOSM). Este método del índice de confiabilidad (β) fue utilizado sobre las ecuaciones de resistencia (R) y la carga (C) que definen el factor de seguridad por equilibrio límite.

La diferencia entre la resistencia (R) y la carga (C) es lo que se denomina como margen de seguridad (M).

$$M = R - C$$

La resistencia y la carga manejan variaciones, por lo que estas dos magnitudes poseen momentos estadísticos como valores medios o esperados, desviaciones y covarianzas entre otros.

$$\mu_M = \mu_R - \mu_C$$

$$\sigma_M^2 = \sigma_R^2 + \sigma_C^2 - 2\rho_{RC}\sigma_R\sigma_C$$

Donde μ_R y μ_C son las medias o esperanzas de la resistencia y la carga respectivamente, σ_R y σ_C son las desviaciones estándar de la resistencia y la carga respectivamente, elevadas al cuadrado, estas últimas correspondiendo a la Var(R) y la Var(C) respectivamente. Finalmente, ρ_{RC} es el coeficiente de correlación entre la carga y la resistencia.

El índice de confiabilidad (β) expresa la distancia que existe entre la media y en este caso el valor crítico del margen de seguridad expresado en unidades de desviación estándar. Si la carga y la resistencia no presentan correlación alguna, entonces:

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{\mu_R - \mu_C}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_C^2}}$$

Tabla 2. Nivel de amenaza considerando la probabilidad de ruptura y el factor de seguridad. Fuente: SIGA I.C 2016.

NIVEL DE AMENAZA	F.S.	(%) P.R
Alta	<1.20	<5.50
Media	1.20 - 1.30	3.20 - 5.50
Baja	>1.30	0.00 - 3.20

11.6. Análisis de la amenaza por inundación

Para el análisis de la amenaza por inundación se tuvieron en cuenta las inundaciones causadas por desbordamiento e incapacidad de los cauces naturales. Se contó con información básica como registros de estaciones pluviométricas localizadas dentro o cerca de la zona de estudio, con curvas de Duración-Frecuencia, las cuales fueron insumo para el cálculo de caudales máximos. Así mismo para la aplicación del modelo se tuvieron ciertos insumos como un DEM (Modelo de Elevación Digital) para establecer direcciones de drenajes y delimitación de cuencas, y mediante modelos de lluvia y escurrimiento se estimaron caudales para diferentes periodos de retorno, 2.33, 10, 50, y 100 años.

Con base en la información obtenida se generaron modelos hidráulicos, para calcular diferentes variables de flujo, como la velocidad y la profundidad, con las cuales se delimitan las manchas de inundación para los periodos de retorno. La geometría del canal se definió por las secciones transversales del cauce, tomadas en forma perpendicular a la dirección de las líneas del flujo.

La asignación de la amenaza por inundaciones se realizó a partir de la combinación de la intensidad del fenómeno y de su probabilidad de ocurrencia de acuerdo con metodologías suizas y austriacas para evaluar la amenaza en general, Ofee et al (1997) y Fiebiger (1997) en López y Courtel (2006) y en FLO-2D (2012) las cuales fueron expuestas en SIGA I.C., (2016). La intensidad del fenómeno fue dada por los valores de la profundidad y la velocidad de flujo, mientras que la probabilidad de ocurrencia está directamente relacionada con el periodo de retorno de la creciente.

La categorización de la intensidad se realizó empleando la clasificación desarrollada por la Universidad Nacional de Colombia, Corantioquia, & Instituto Mi Río, (2003) para los diferentes tipos de daños posibles según diferentes combinaciones de velocidades y profundidades de flujo (Figura 13)

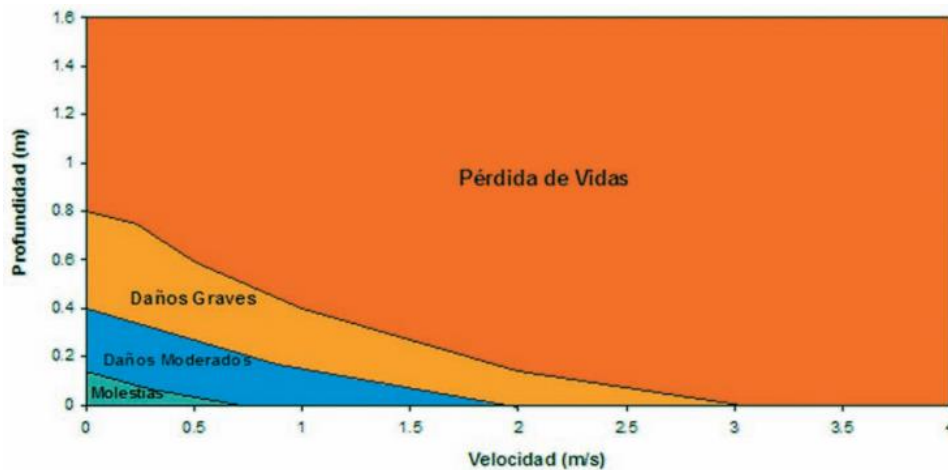


Figura 13. Tipo de Daños de daños según velocidad y profundidad de Flujo (Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Instituto Mi Río, 2003)

Por su parte, para la probabilidad también se consideraron tres categorías, alta, media y baja. A los eventos generados por crecientes cuya probabilidad anual de excedencia es inferior al 2%, es decir aquellos asociados a periodos de retorno superiores a 50 años, se les asignó una calificación de probabilidad baja.

Se calificó con probabilidad media a aquellos eventos asociados a una probabilidad anual de excedencia entre el 2% y el 10%, es decir, con periodos de retorno superiores a 10 años e inferiores o iguales a 50 años.

Finalmente, los eventos con una probabilidad anual de excedencia igual o superior al 10% se consideraron con una probabilidad alta, es decir, aquellos asociados a periodos de retorno de 10 años o menos.

En la tabla 3 y en la tabla 4 se resume la clasificación de la probabilidad y la intensidad respectivamente según los criterios descritos.

Tabla 3. *Asignación de la calificación de la Probabilidad de Inundaciones. Fuente: SIGA I.C 2016.*

Calificación de la Probabilidad	Periodo de retorno (Años)	Probabilidad de Excedencia (%)
Alta	TR ≤ 10	10% ≤ P
Media	10 < TR ≤ 50	2% ≤ P < 10%
Baja	50 < TR	P < 2%

Tabla 4. *Asignación de la calificación de la Intensidad de Inundaciones. Fuente: SIGA I.C 2016.*

Calificación de la Intensidad	Tipo Potencial de Daños
Alta	Daños graves y pérdida de vidas
Media	Daños moderados
Baja	Molestias

La calificación de la amenaza se realizará a partir de la combinación de la intensidad y la probabilidad. (Figura 14)

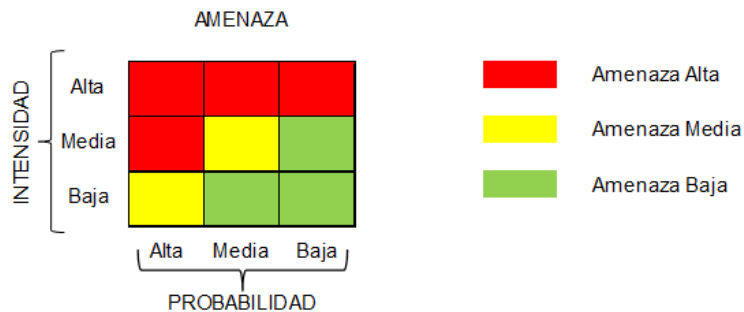


Figura 14. *Asignación de la amenaza por Inundación a partir de la Intensidad y la probabilidad del fenómeno (Ofee et al (1997) y Fiebiger (1997) en López y Courtel 2006)*

11.7. Análisis de la amenaza por avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales que fueron analizadas como parte de este estudio corresponden a flujos de una mezcla de agua y sedimento en altas concentraciones a través de los principales cauces que tienen influencia sobre el polígono de estudio. Los fenómenos de avenidas torrenciales que se consideraron en el estudio de SIGA I.C. (2016) corresponden a aquellos cuyo origen está relacionado con la combinación de eventos de deslizamiento en las laderas de la cuenca que depositan material en el cauce y eventos de crecientes máximas en los cauces.

Así mismo se analizaron las posibilidades de ocurrencia de avenidas torrenciales con origen en la remoción y transporte del material.

La amenaza por avenidas torrenciales comparte gran parte de la metodología de la amenaza por inundación, como modelo de elevación digital, direcciones de drenaje, delimitación y caracterización de cuencas y estimación de caudales, que en este tipo de análisis se denominan caudales líquidos.

11.8. Avenidas torrenciales por movimientos en masa

De acuerdo a los resultados obtenidos de la amenaza por movimiento en masa, se consideró la probabilidad de que los deslizamientos puedan alcanzar los corrientes que afectan la zona de estudio.

SIGA I.C., (2016) utilizó la categorización de la intensidad empleando la clasificación recomendada en Fiebigger (1997), OFEE (1997) y O'Brian (2010), donde la máxima profundidad y el producto de la máxima profundidad con la máxima velocidad son los factores que determinan el grado de intensidad del fenómeno, según la Tabla 5.

Tabla 5. *Asignación de la calificación de la Intensidad de avenidas torrenciales*

Calificación de la Intensidad	Profundidad Máxima (m)	OP	Producto de profundidad Máxima y Velocidad Máxima (m ² /s)
Alta	$h > 1.0 \text{ m}$	ó	$v h > 1.0 \text{ m}^2/\text{s}$
Media	$0.2 \text{ m} < h < 1.0$	y	$0.2 < v h < 1.0 \text{ m}^2/\text{s}$
Baja	$0.2 \text{ m} < h < 1.0$	y	$v h < 0.2 \text{ m}^2/\text{s}$

Por su parte, para la probabilidad también se consideraron tres categorías, alta, media y baja. A los eventos generados por crecientes cuya probabilidad anual de excedencia es inferior al 2%, es decir, aquellos asociados a periodos de retorno superiores a 50 años, se les asignó una calificación de probabilidad baja. Por su parte, se calificaron con probabilidad media a aquellos eventos asociados a una probabilidad anual de excedencia entre el 2% y el 10%, es decir, con periodos de retorno superiores a 10 años e inferiores o iguales a 50 años. Finalmente, los eventos con una probabilidad anual de excedencia igual o superior al 10% se consideraron con una probabilidad alta, es decir a aquellos asociados a periodos de retorno de 10 años o menos. La calificación de la amenaza se realiza a partir de la combinación de la intensidad y la probabilidad según lo recomendado en Fiebigger (1997) y Ofee (1997) tomado de SIGA I.C., (2016). De acuerdo a lo anterior, en la Figura 15 se presenta de manera gráfica la asignación de la amenaza para avenidas torrenciales según la probabilidad y la intensidad.

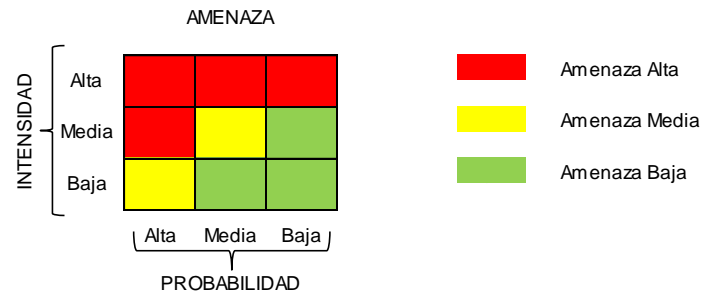


Figura 15. Asignación de la amenaza para avenidas torrenciales a partir de la intensidad y la probabilidad del fenómeno

11.9. Análisis de la vulnerabilidad física

Los elementos de la vulnerabilidad pueden ser subdivididos en elementos expuestos, elementos resistentes y elementos resilientes; toda esta información debe zonificarse en un mapa de vulnerabilidad, categorizando la vulnerabilidad en alta, media y baja, de acuerdo a las características de los elementos expuestos.

11.10. Vulnerabilidad física para movimientos en masa

Para la evaluación de la vulnerabilidad física a movimientos en masa, se utilizó la metodología establecida por Li et al. (2010) y Uzielli et al. (2008) además de otros trabajos existentes en la literatura científica y que son citados en el artículo base de SIGA I.C. (2016)

La base para determinar la vulnerabilidad física según Li et al. (2010), está fundamentada sobre la intensidad arrolladora que podría experimentar un fenómeno y la resistencia de los elementos físicos expuestos, lo anterior entonces se explica con que la vulnerabilidad es función de la intensidad y la resistencia.

El factor de intensidad geométrico tiene que ver con la posición o la proximidad de las estructuras respecto a lo que se considera la zona de amenaza.

El factor de intensidad dinámico tiene como principal variable la velocidad del deslizamiento cuando ocurre el impacto contra la estructura localizada fuera del área donde ocurriría el movimiento en masa. Ambos factores son adimensionales y son calculados como:

Factor de intensidad geométrico, cuando las estructuras están dentro del movimiento en masa

$$I = \begin{cases} I_{gem} \cdot I_{dfm} & \text{Factor de intensidad dinámico, cuando las estructuras están} \\ & \text{fuera del movimiento en masa} \\ I_{din} \cdot I_{dpt} & \end{cases}$$

Dónde:

- I_{gem} : Factor de intensidad geométrica
- I_{dfm} : Factor que considera la deformación de las estructuras cuando se encuentran localizadas al interior del área del movimiento en masa y las cuales sufrirán la acción de deslizamientos con bajas velocidades de deslizamiento.
- I_{dpt} : Factor que considera el espesor de los detritos que llegan hasta la zona de las estructuras y que impactan las mismas. Este es utilizado para evaluar los elementos exteriores a las áreas de deslizamientos que ocurrieran con altas velocidades y se podría obtener con la ecuación:

$$I_{dpt} = 0.1 \cdot D_{dpt}$$

- I_{din} : Factor que relaciona la velocidad de la amenaza con la estructura impactada. En el caso de que la velocidad del deslizamiento pueda superar los $5 \times 10^{-1} \text{ mm/s}$, Cruden & Varnes, (1996) afirman que las estructuras serán destruidas y fuera de servicio. Para valores menores de $5 \times 10^{-7} \text{ mm/s}$, las estructuras permanecerían intactas. Así las cosas, la intensidad dinámica podría ser calculada como:

$$I_{din-E} = \begin{cases} 0,00 & C \leq 5 \times 10^{-7} \quad (\text{mm/s}) \\ \frac{1}{36} (\text{Log}_{10} C + 6,30)^2 & C > 5 \times 10^{-1} \quad (\text{mm/s}) \end{cases}$$

Donde C es la velocidad en la que se podría desarrollar un fenómeno y para la cual Cruden & Varnes, (1996) presentan una clasificación de los movimientos considerando la velocidad.

La resistencia refleja la capacidad de los elementos vulnerables para resistir la acción del fenómeno con un determinado grado de severidad. Para las personas, esta misma resistencia representaría la capacidad de reacción y evacuación.

En el caso de las estructuras, la resistencia total es función de varios factores y en el trabajo de Li et al. (2010) estos factores son específicamente:

$$R = \left(\prod_{i=1}^{ns} \xi_i \right)^{1/ns}$$

- ✓ Factores de fundación (ξ_{sfd})
- ✓ Factores por el tipo de estructura (ξ_{sty})
- ✓ Factor de mantenimiento o estado (ξ_{smn})
- ✓ Factor de Altura o niveles de las estructuras (ξ_{sht})

Luego entonces la resistencia se podrá calcular como:

$$R = \left(\xi_{sfd} \cdot \xi_{est} \cdot \xi_{alt} \cdot \xi_{man} \right)^{1/4}$$

Para determinar el factor de fundación, Ragozin & Tikhvinsky (2000) propusieron la siguiente ecuación en función de la profundidad de desplante de la fundación (D_{fun})

$$\xi_{sfd} = \left(\frac{D_{fun}}{10} \right)^{1/3} + 0.05$$

Con esta ecuación se podría establecer unos rangos de valores para determinadas profundidades de fundación.

$\xi_{sfd}=1.05$	Para $D_{fun} > 10m$
$\xi_{sfd}=0.63$	Para $2m < D_{fun} < 10m$
$\xi_{sfd}=0.5$	Para $D_{fun} < 2m$

Para determinar la vulnerabilidad, Li et al. (2010) proponen expresiones en función de la intensidad de la amenaza (I) asociada a los elementos expuestos y de la resistencia (R) de esos elementos para soportar esa amenaza.

$$V = f(I, R) = \begin{cases} 2 \frac{I^2}{R^2} & \frac{I}{R} \leq 0,5 \\ 1,0 - \frac{2(R-I)^2}{R^2} & 0,5 < \frac{I}{R} \leq 1,0 \\ 1,0 & \frac{I}{R} \leq 1,0 \end{cases}$$

Silva, (2015) llegó a establecer una intensidad definida a partir de la relación de los parámetros geométricos de la amenaza y de la resistencia de las estructuras impactadas. Así entonces, la vulnerabilidad física se definió matemáticamente como:

$$V = f(Z, R) = \left[1 + \left(\frac{Z}{R} \right)^{-1/0.04} \right]^{-0.05}$$

La anterior ecuación tiene sentido físico cuando se observa que la vulnerabilidad (V) es la inversa de la capacidad de resistencia (R) de las estructuras. La vulnerabilidad estructural se expresa en esta metodología como un número adimensional que varía entre 0 y 1, donde 1 es el valor de máxima vulnerabilidad estructural. Este valor bien puede representar un factor de daño.

Además de la vulnerabilidad física estructural, la metodología propuesta por Uzielli (2010) permite estimar la vulnerabilidad de las personas (V_p) que se encuentran al interior de las estructuras, en función de la vulnerabilidad estructural (V_e) mediante la expresión: (Tabla 6)

$$V_p = f(V_e) = 0.0014 \cdot e^{6.07V_e}$$

Tabla 6. *Categorización de la vulnerabilidad física ante fenómenos de movimientos en masa. Fuente: SIGA I.C 2016.*

Categoría de la Vulnerabilidad	Rango de la Vulnerabilidad	Descripción
Baja	0,0 – 0,2	Lesiones leves en las personas. A pesar de las lesiones, las personas se mantienen conscientes de lo sucedido y pueden mantenerse en pie sin ningún tipo de asistencia.
Media	0,2 – 0,4	Lesiones moderadas a graves en las personas. Las personas pueden perder ligeramente la conciencia o entrar en estados de shock temporales. Las lesiones pueden ir entre cortes y fracturas pueden requerir de asistencia médica que dejan a la persona sin capacidad de movilizarse de forma temporal.
Alta	0,4 – 0,6	Lesiones muy graves como invalides o pérdida de miembros corporales. Pérdida de vida por efecto del deslizamiento.

11.11. Evaluación y cálculo del riesgo

La evaluación del nivel del riesgo resulta de la intersección de la amenaza existente en el entorno, con la vulnerabilidad de los elementos que podrían ser afectados, ya sean vidas humanas o infraestructura. (Figura 16)

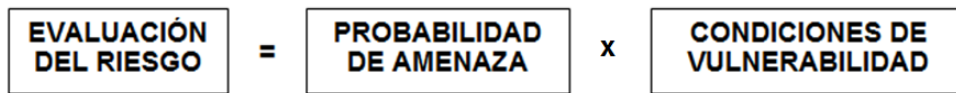


Figura 16. Evaluación y cálculo utilizada por SIGA I.C.2016.

Siguiendo lo anterior el riesgo se puede cuantificar como:

$$R_{(Prop)} = P_{(H)} \times P_{(S:H)} \times V_{(Prop:S)} \times E$$

Donde,

- $R_{(prop)}$: es el riesgo de la propiedad
- $P_{(H)}$: es la probabilidad anual de que ocurra un evento de amenaza (deslizamiento, por ejemplo)
- $P_{(S:H)}$: es la probabilidad de que esa amenaza afecte en el espacio esa propiedad
- $V_{(prop:S)}$ es la vulnerabilidad física de la propiedad
- E : es el valor o valor presente neto de la propiedad

El riesgo es analizado para tres escenarios de amenaza, por movimientos en masa, por avenidas torrenciales por inundaciones. Por otra parte, la vulnerabilidad involucra principalmente para este proyecto lo que respecta a la vulnerabilidad física de la estructura que está en función de la resistencia de la estructura y de la localización de esta dependiendo del tipo de amenaza.

E es el valor total o costo de los elementos físicos expuestos o amenazados. E en el caso de las estructuras estaría compuesto por el valor por metro cuadrado de la propiedad, el área total de la propiedad, el número de pisos de la propiedad:

$$R = P(H_i) \cdot V_e \cdot \$/m^2 \cdot N^\circ \text{ pisos}$$

Para efectos del proyecto y con el fin de manejar un valor de probabilidad, los análisis se realizaron considerando solo la probabilidad de ocurrencia de la amenaza $P(H_i)$ y la vulnerabilidad de las estructuras.

Tabla 7. *Matriz de unificación del riesgo de estructuras y de personas para determinar el riesgo total. Fuente: SIGA I.C 2016.*

RIESGO ESTRUCTURAS	RIESGO DE PERSONAS		
	BAJO	MEDIO	ALTO
BAJO	B	B	M
MEDIO	M	M	A
ALTO	M	A	A

Finalmente fue posible categorizar el riesgo en un solo mapa entre bajo, medio y alto donde la descripción de cada categoría se indica en la (Tabla 8)

Tabla 8. *Categorización del riesgo total. Fuente: SIGA I.C 2016.*

ALTO (A)	Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones serias en la población. La implementación de medidas de intervención es prácticamente inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel de riesgo. Las pérdidas por materialización de la amenaza superan en todos los casos los valores económicos de los bienes.
MEDIO (M)	Lesiones moderadas muy frecuentes, con alguna probabilidad de víctimas fatales. Se requiere evitar que el nivel de riesgo aumente, pero las medidas de intervención son en todo caso viables técnica y económicamente.
BAJO (B)	Probabilidad de víctimas fatales prácticamente nula. Es un riesgo aceptable y requiere tan solo medidas de prevención.

12. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA PARA LOS BARRIOS ESFUERZOS DE PAZ, SAN ANTONIO Y PINARES DE ORIENTE MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA

12.1. Amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, polígono Esfuerzos de Paz

A continuación, se muestran los mapas obtenidos por SIGA I.C. para la amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en el polígono Esfuerzos de Paz. En la amenaza por movimientos en masa se observan tres zonas con características de amenaza alta: la primera se localiza al noroeste del polígono, la segunda al sur, la cual abarca gran parte del área de estudio y una tercera muy reducida en la parte este. Hacia el norte se presenta un sector con nivel de amenaza bajo, alternado con niveles medios, esta misma característica se presenta en el oeste del polígono. (Figura 17)

Para el polígono Esfuerzos de Paz, la amenaza por inundación se encuentra asociada a las quebradas La Castro, La Castro 1, La Castro 2, y San Antonio. La Castro, presenta un nivel de amenaza alto a lo largo de su cauce, esta corriente se encuentra en el costado este del polígono. Las Castro 1 y La Castro 2, presentan principalmente nivel de amenaza alto en las partes altas y a lo largo de su cauce, a su vez alternado con niveles medios, la primera se encuentra localizada en la zona centro-este y la segunda en la zona centro-oeste. Finalmente, al noroeste del polígono se encuentra la quebrada San Antonio la cual presenta niveles de amenaza alto y medio. (Figura 18)

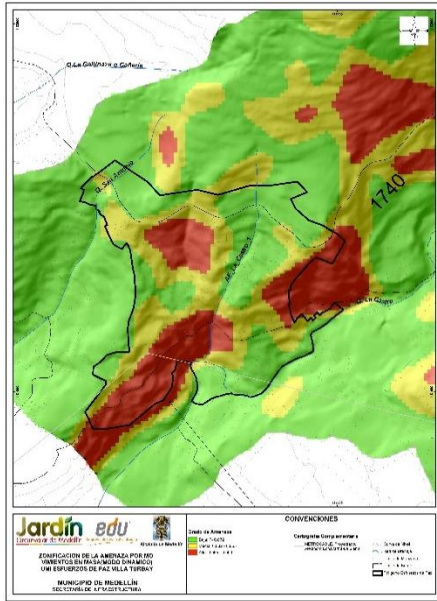


Figura 17. Amenaza por movimientos en masa polígono Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016

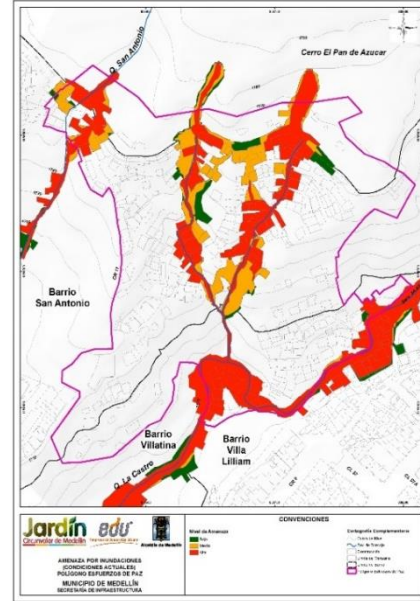


Figura 18. Amenaza por Inundación polígono Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016

La amenaza por avenidas torrenciales se encuentra relacionada a la quebrada La Castro, para la cual se presentan niveles de amenaza alto en todo su cauce sobre el polígono Esfuerzos de Paz. Figura 19

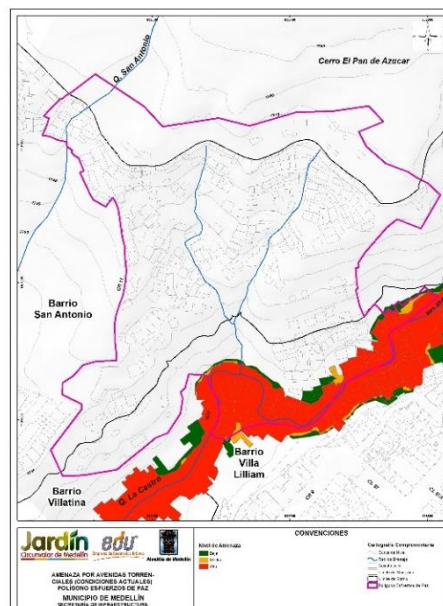


Figura 19. Amenaza por Avenidas Torrenciales polígono Esfuerzos de Paz. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016

12.2. Amenaza por movimientos en masa e inundaciones, polígono San Antonio

A continuación, se muestran los mapas obtenidos por SIGA I.C. para la amenaza por movimientos en masa e inundaciones en el polígono San Antonio.

En la amenaza por movimientos en masa se observan tres zonas con características de amenaza alta, la primera al noreste y abarcando un área muy pequeña, una segunda zona en el centro del polígono y ubicada en la margen derecha de la quebrada la Gallinaza, y un tercer sector localizado en la margen izquierda de la corriente mencionada. El área restante del polígono presenta niveles de amenaza medio y bajo. (Figura 20)

Para el polígono San Antonio, la amenaza por inundación se encuentra asociada a las quebradas La Gallinaza y la Gallinaza 1. La Gallinaza, presenta un nivel de amenaza alto a lo largo de su cauce, esta corriente se encuentra ubicada en el centro del polígono y lo cruza en dirección este-oeste. Para La Gallinaza 1 localizada en el oeste de la zona de estudio, se presenta un nivel de amenaza alto. (Figura 21)

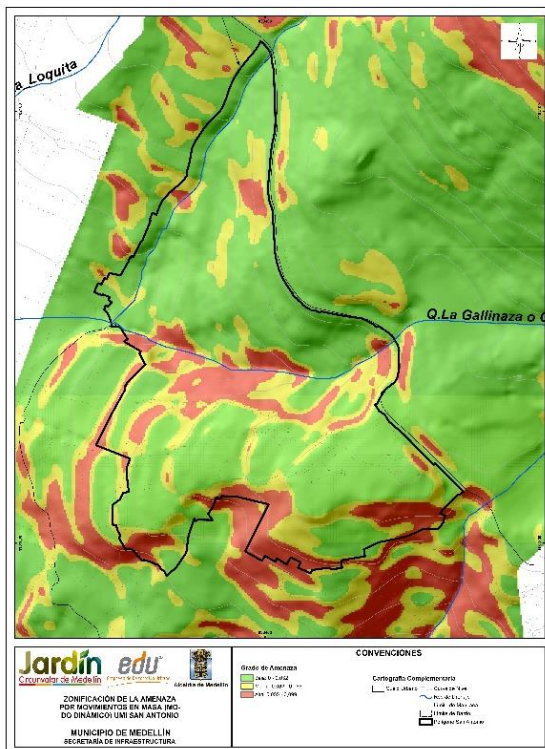


Figura 20. Amenaza por movimientos en masa polígono San Antonio. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016

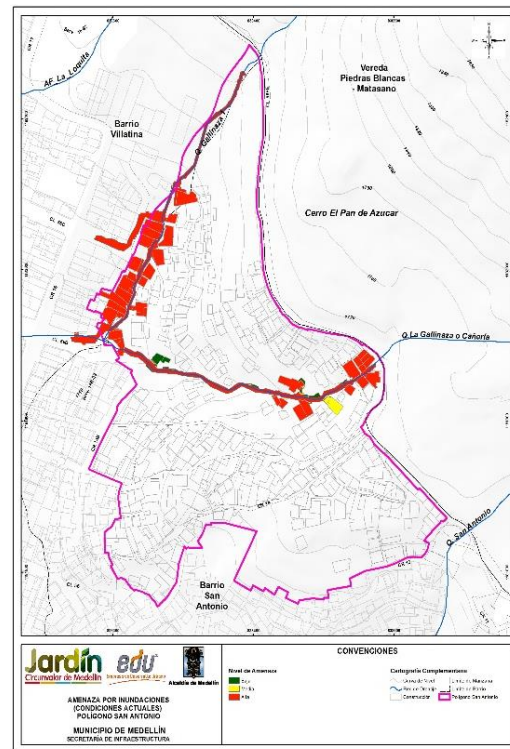


Figura 21. Amenaza por Inundación polígono San Antonio Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016

12.3. Amenaza por movimientos en masa e inundaciones, polígono Pinares de Oriente

A continuación, se muestran los mapas obtenidos por SIGA I.C. para la amenaza por movimientos en masa, inundaciones en el polígono Pinares de Oriente.

En la amenaza por movimientos en masa se observan dos zonas con características de amenaza alta, la primera al norte del polígono y una segunda zona al sureste. Hacia la zona centro y oeste se presentan zonas con nivel de amenaza baja, alternado con niveles medios. (Figura 22)

Para el polígono Pinares de Oriente, la amenaza por inundación se encuentra asociada a Las quebradas La Loquita y La Loquita 1. La Loquita presenta un nivel de amenaza alto a lo largo de su cauce, está corriente se encuentra limitando el polígono en el costado oeste.

La Loquita 1, presentan principalmente nivel de amenaza alto en las cabeceras y a lo largo de su cauce, a su vez alternado con niveles medios, esta corriente se encuentra localizada en la zona centro del área de estudio. (Figura 23)

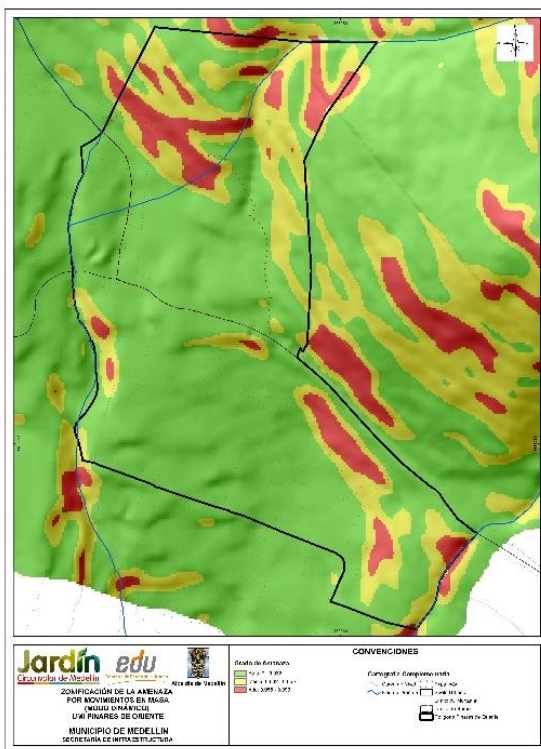


Figura 22. Amenaza por movimientos en masa polígono Pinares de Oriente. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016

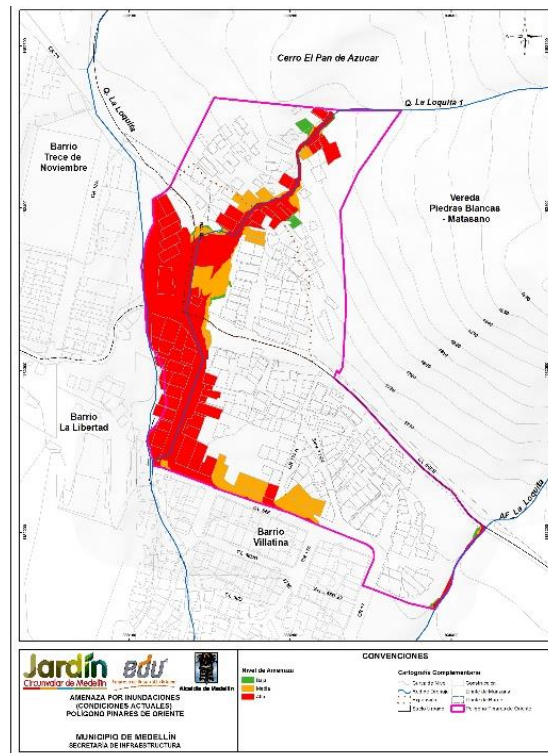


Figura 23. Amenaza por Inundación polígono Pinares de Oriente. Fuente SIGA Ingeniería y Consultoría 2016

13. ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR COSNTRUCCIÓN PARA LOS BARRIOS ESFUERZOS DE PAZ, SAN ANTONIO Y PINARES DE ORIENTE MEDIANTE LA METODOLOGÍA SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA

13.1. Polígono Esfuerzos de Paz, riesgo por movimientos en masa

13.1.1. Riesgo alto no mitigable

En el polígono Esfuerzos de Paz se determinan tres zonas independientes en riesgo alto no mitigable, la primera y más representativa se encuentra en la zona centro del polígono, la segunda zona en la parte sur occidental y la tercera y más reducida en la parte sur del polígono. Se presenta una amenaza alta, factores de seguridad entre 0.5 y 1.2. En total 62 estructuras fueron clasificadas en riesgo alto no mitigable, equivalente al 17% de estructuras de la zona estudio. (Figura 24)

13.1.2. Riesgo alto mitigable

Se presentan dos zonas independientes en riesgo alto mitigable, la primera zona se ubica al noroeste del polígono y se encuentra entre estructuras en riesgo bajo y riesgo alto no mitigable. La segunda zona se encuentra en la parte sureste. Se presenta una amenaza alta, factores de seguridad entre 0.5 y 1.2. En total 97 estructuras fueron clasificadas en riesgo alto mitigable, equivalente al 28% de estructuras de la zona estudio. (Figura 24)

13.1.3. Riesgo medio

Se presentan dos zonas independientes en riesgo medio, la primera zona se ubica al noreste del polígono y se encuentra alrededor de estructuras en riesgo bajo y riesgo alto no mitigable. La segunda zona se encuentra en la parte sureste a su vez rodeado de estructuras en riesgo alto mitigable y no mitigable. Se presenta una amenaza media, factores de seguridad entre 0.5 y 1.2. En total 45 estructuras fueron clasificadas en riesgo medio, equivalente al 13.2% de estructuras de la zona estudio. (Figura 24)

13.1.4. Riesgo bajo

Se presentan dos zonas independientes en riesgo bajo, la primera zona se ubica al oeste y noroeste de la zona de estudio y a su vez coincide con la zona de amenaza baja. La segunda zona se encuentra en la parte noreste del polígono. Se presentan factores de seguridad mayores a 1.2. En total 138 estructuras fueron clasificadas en riesgo bajo, equivalente al 40.4% de estructuras de la zona estudio. (Figura 24)

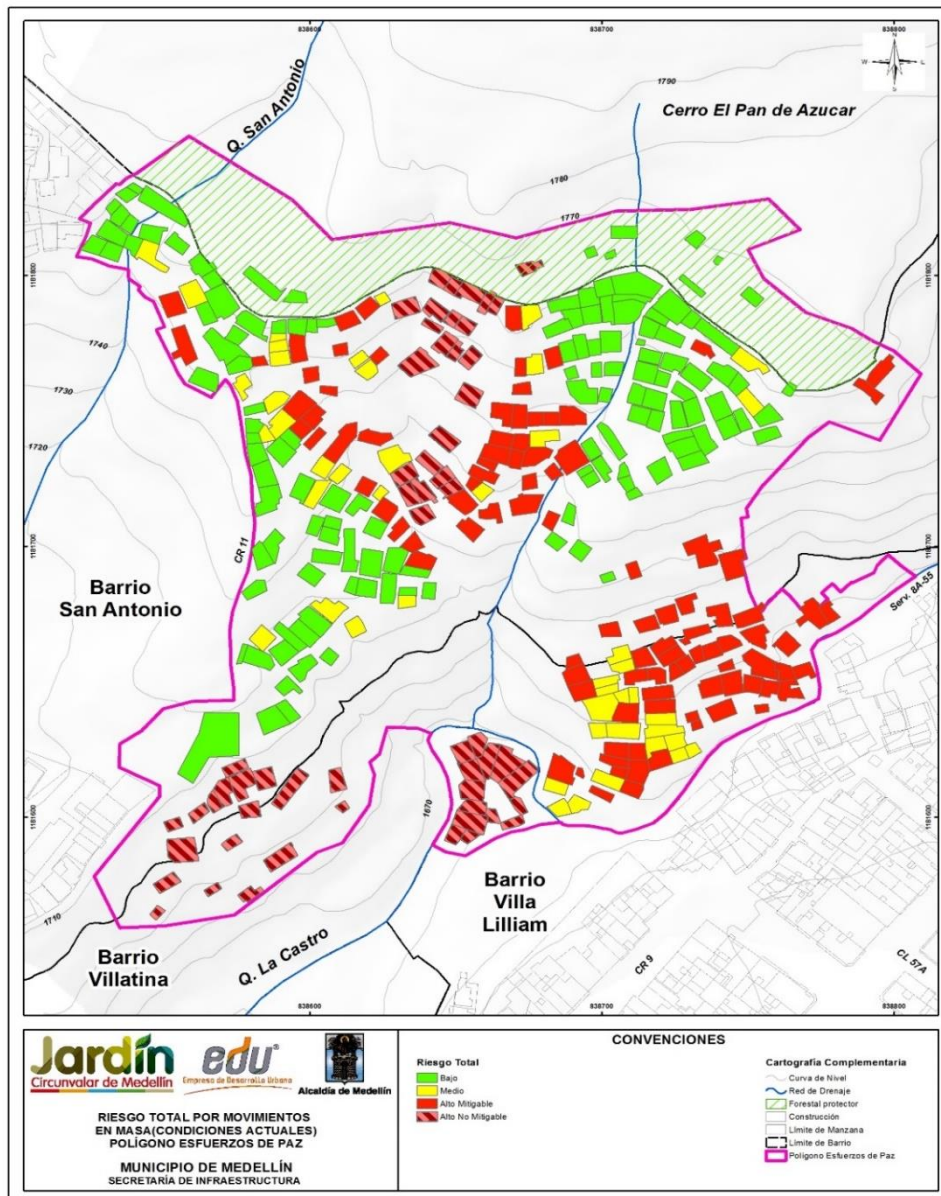


Figura 24. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono Esfuerzos de Paz SIGA I.C 2016

13.2. Polígono Esfuerzos de Paz, riesgo por inundación y avenidas torrenciales

En el área de estudio se identificaron cuatro categorías de riesgo, alto no mitigable, alto mitigable, medio y bajo, los cuales se describen a continuación. En el polígono Esfuerzos de Paz predomina el nivel de riesgo alto no mitigable.

13.2.1. Riesgo alto no mitigable

En alto riesgo no mitigable se localizan tres quebradas, La Castro, que está ubicada al sur este del polígono y en cual afecta las estructuras ubicadas en las márgenes de su cauce. La Castro 1, ubicada al este del polígono, el nivel de riesgo se extiende a lo largo de su cauce. La Castro 2 la cual está localizada al oeste del polígono, el nivel de riesgo se encuentra hacia la parte norte y centro de la zona de estudio. Para La Castro 1 y La Castro 2 se presenta una amenaza alta y los valores de intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia son muy altos. (Figura 25)

Según SIGA I.C. se considera como riesgo alto no mitigable aquellas estructuras que, por su cercanía al cauce, su carácter de riesgo alto no puede ser reducido sin modificar sustancialmente las condiciones del cauce, de la corriente y de la estructura misma, y porque además se encuentran ubicadas parcial o totalmente al interior de la zona de retiro hidrológico.

13.2.2. Riesgo alto mitigable

En alto riesgo mitigable se localizan tres quebradas, San Antonio, que está ubicada al noroeste del polígono afectando las estructuras de esta zona. La Castro 1, ubicada al este del polígono, el nivel de riesgo se localiza en la cabecera y hacia el centro de la zona de influencia. La Castro 2 la cual está localizada al oeste del polígono, el nivel de riesgo se encuentra hacia la parte norte de la zona de estudio. Para La Castro 1 y La Castro 2 se presentan valores de intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia muy altos. Para estos tres afluentes se presentan niveles de amenaza alta y valores de intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia también altos. (Figura 25)

Según SIGA I.C., las estructuras clasificadas como riesgo alto mitigable corresponden a aquellas que bajo condiciones actuales se ven afectadas por insuficiencia hidráulica de obras existentes y cuya condición de riesgo alto puede eliminarse mediante algunas adecuaciones o ampliaciones de la capacidad hidráulica de estas obras. (Figura 25)

13.2.3. Riesgo medio

En nivel de riesgo medio se localizan tres quebradas, San Antonio, que está ubicada al noroeste del polígono, su característica de riesgo afecta su margen derecha. La Castro 1, ubicada al este del polígono, el nivel de riesgo se localiza en la cabecera del cauce. La Castro 2 la cual está localizada al oeste del polígono, el nivel de riesgo medio se encuentra hacia la cabecera y margen derecha del cauce, siendo este nivel de riesgo el que menos predomina. Para La Castro 1 y La Castro 2 se presentan valores de Intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia son muy altos. Para estos tres afluentes se presentan niveles de amenaza entre alta, y media. (Figura 25)

13.2.4. Riesgo bajo

En nivel de riesgo bajo se localiza en la quebrada, La Castro 1, que está ubicada al este del polígono, su característica de riesgo afecta su margen izquierda, cabe resaltar que la afectación por este nivel de riesgo es un muy pequeña y se encuentra alejado del cauce. Se presenta un nivel de amenaza bajo, que se ve reflejado en los valores de intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia (Figura 25)

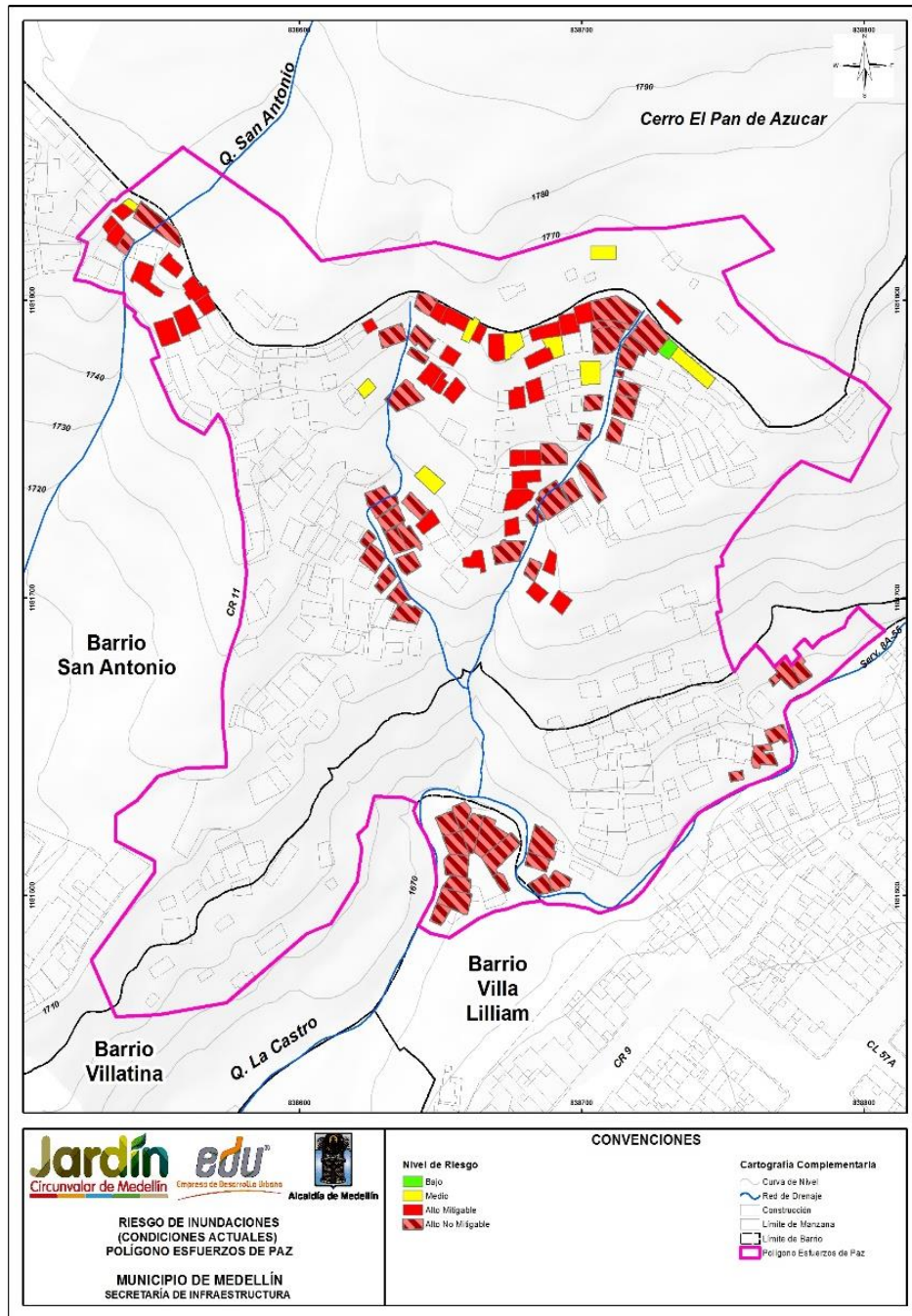


Figura 25. Mapa de riesgo por inundación polígono Esfuerzos de Paz SIGA I.C 2016

13.3. Polígono San Antonio, riesgo por movimientos en masa

13.3.1. Riesgo alto no mitigable

En el polígono San Antonio se determinan tres zonas independientes en riesgo alto no mitigable, la primera y más representativa se encuentra en la zona norte y al margen derecho de la quebrada La Gallinaza, la segunda se localiza en el sureste del área de estudio y la tercera se encuentra ubicada en el suroeste del polígono; cabe anotar que estas dos últimas zonas afectando pocas estructuras. Se presenta una amenaza alta, factores de seguridad entre 0.5 y 1.2. En total 131 estructuras fueron clasificadas en riesgo alto no mitigable, equivalente al 33.9% de estructuras de la zona estudio. (Figura 26)

13.3.2. Riesgo alto mitigable

Se presenta una zona independiente en riesgo alto mitigable, ubicada al sur oeste del polígono y según el mapa generado por SIGA I.C. afecta solo dos estructuras, las cuales equivalen al 0.5% de estructuras de la zona de estudio (Figura 26)

13.3.3. Riesgo medio

Se determinan tres zonas independientes en riesgo medio, la primera en la zona norte y a la margen derecha de la quebrada La Gallinaza, a su vez rodeada de estructuras en riesgo alto no mitigable, la segunda zona en la parte sureste y al sur de la quebrada la Gallinaza y la tercera parte sur oeste de la zona de estudio. Se presenta una amenaza alta, factores de seguridad entre 0.5 y 1.2. En total 145 estructuras fueron clasificadas en riesgo medio, equivalente al 37.6% de estructuras de la zona estudio. (Figura 26)

13.3.4. Riesgo bajo

Se presenta una zona en riesgo bajo, esta se encuentra ubicada al sur de la zona estudio y la abarca de este a oeste, a su vez coincide con la zona de amenaza baja. Se presentan factores de seguridad mayores a 1.5. En total 107 estructuras fueron clasificadas en riesgo bajo, equivalente al 27.8% de estructuras de la zona estudio. (Figura 26)

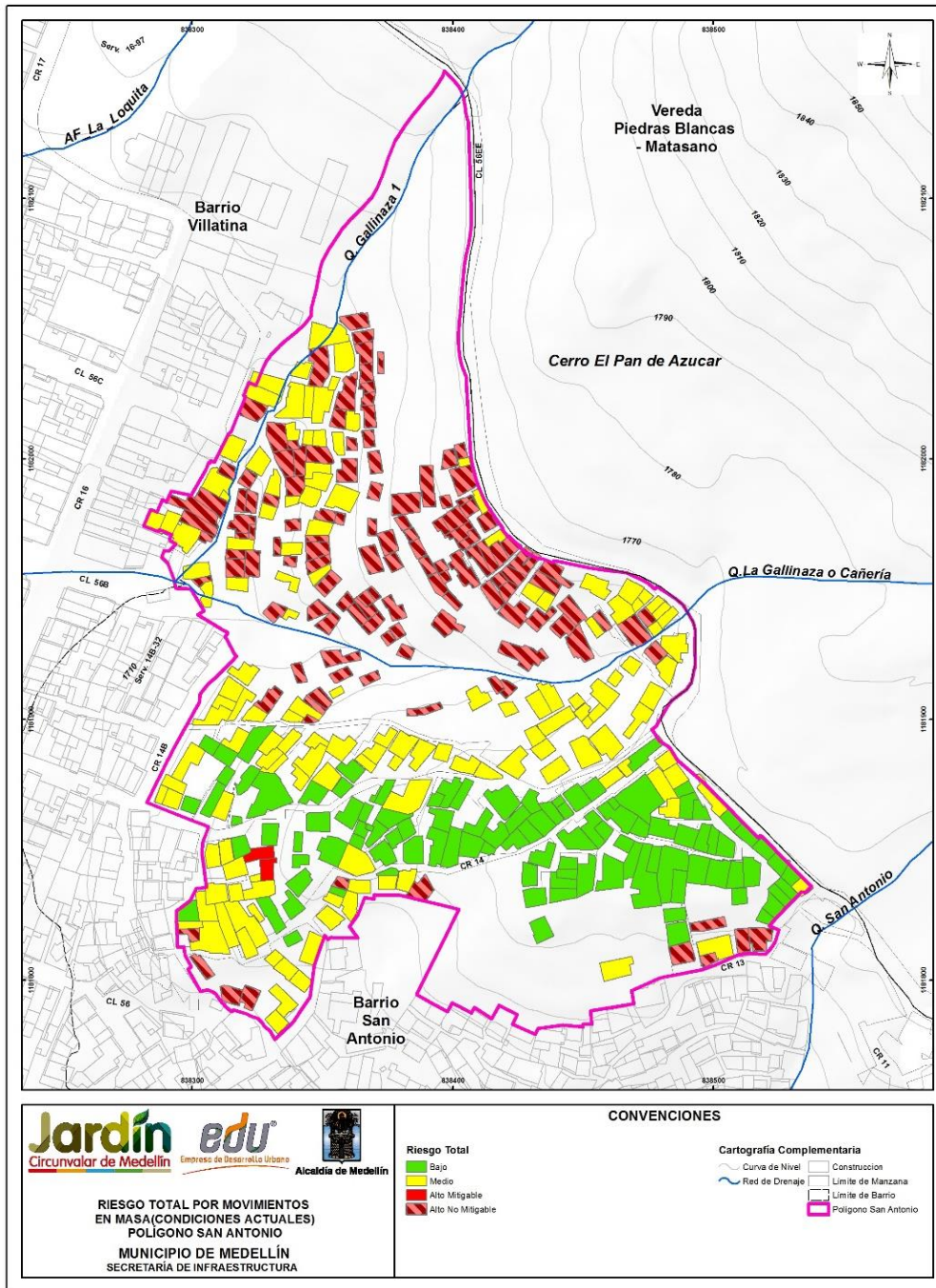


Figura 26. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono San Antonio SIGA I.C 2016.

13.4. Polígono San Antonio, riesgo por inundación

13.4.1. Riesgo alto no mitigable

En alto riesgo no mitigable se localizan dos quebradas, La Gallinaza, que está ubicada en el centro del polígono y lo atraviesa de este a oeste, y la cual afecta las estructuras ubicadas en las márgenes de su cauce, tanto en la parte alta como en la zona oeste del polígono. La Gallinaza 1, ubicada al costado oeste de la zona de estudio, la cual afecta las estructuras localizadas en las márgenes de su cauce. Se presenta un nivel de amenaza alta y los valores de Intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia son altos. (Figura 27)

Según SIGA I.C. se considera como riesgo alto no mitigable aquel bajo el cual se encuentran las estructuras que, por su cercanía al cauce, su carácter de riesgo alto no puede ser reducido sin modificar sustancialmente las condiciones del cauce, de la corriente y de la estructura misma, y porque además se encuentran ubicadas parcial o totalmente al interior de la zona de retiro hidrológico. (Figura 27)

13.4.2. Riesgo alto mitigable

En alto riesgo mitigable se localizan dos quebradas, La Gallinaza, que está ubicada en el centro del polígono y lo atraviesa de este a oeste, y la cual afecta las estructuras ubicadas en la zona oeste del polígono. La Gallinaza 1, ubicada al costado oeste de la zona de estudio y afecta las estructuras localizadas en la parte noroeste. Se presenta un nivel de amenaza alta y valores de intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia son altos. (Figura 27)

Según SIGA I.C., las estructuras clasificadas como riesgo alto mitigable corresponden a aquellas que bajo condiciones actuales se ven afectadas por insuficiencia hidráulica de obras existentes y cuya condición de riesgo alto puede eliminarse mediante algunas adecuaciones o ampliaciones de la capacidad hidráulica de estas obras. (Figura 27)

13.4.3. Riesgo medio

En nivel de riesgo medio se presenta la quebrada La Gallinaza, está se localiza en el centro del polígono, su característica de riesgo afecta su margen derecha, cabe resaltar que la afectación por este nivel de riesgo es un muy pequeña. Se presenta un nivel de

amenaza bajo, que se ve reflejado en los valores de Intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia (Figura 27).

Según SIGA I.C. aquellas zonas no clasificadas, corresponden a las que no están bajo riesgo alguno por inundaciones, específicamente porque en ellas no se presenta amenaza.

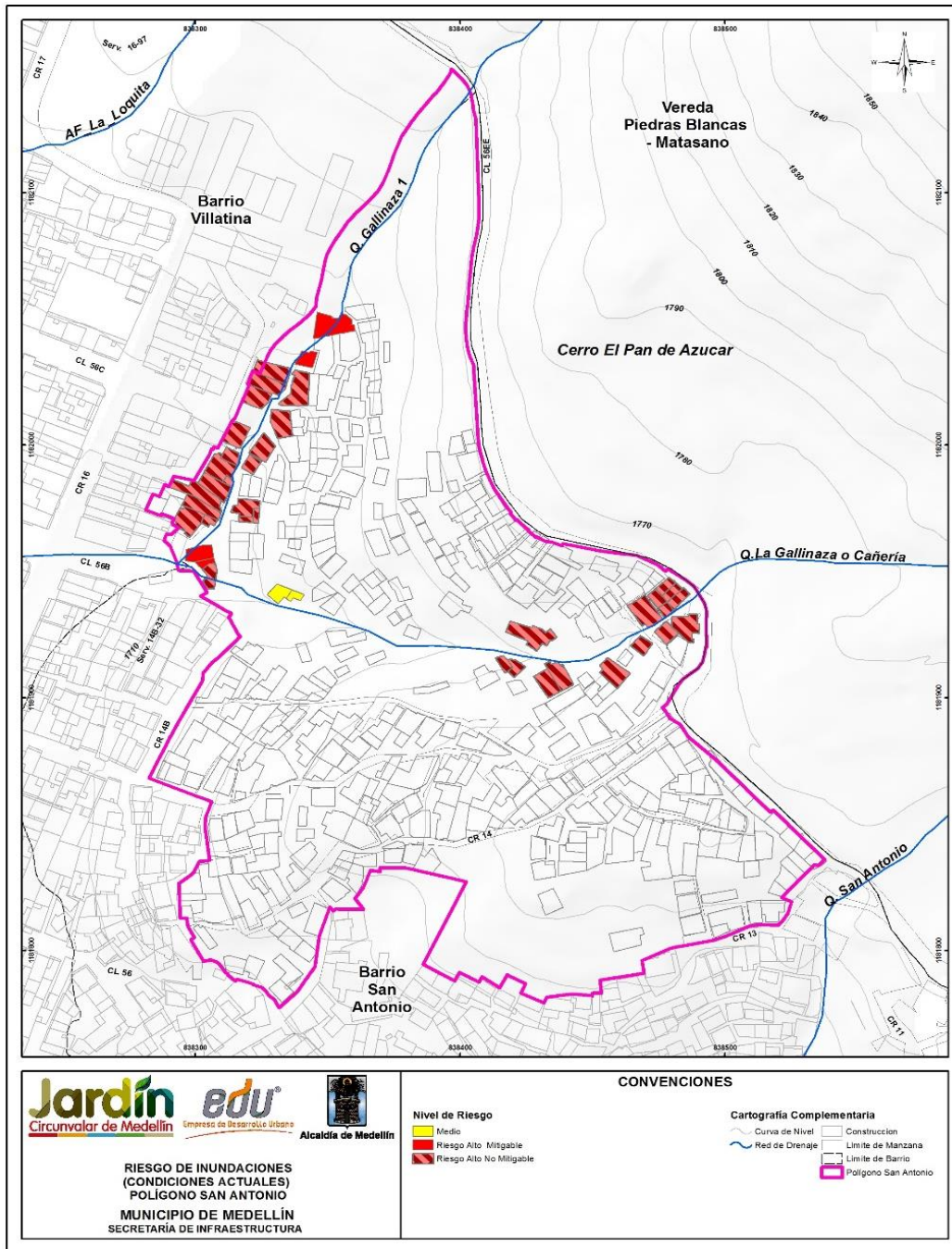


Figura 27. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio SIGA I.C 2016.

13.5. Polígono Pinares de Oriente, riesgo por movimientos en masa

13.5.1. Riesgo alto no mitigable

En el polígono Pinares de Oriente se determinan una zona en riesgo alto no mitigable, esta se localiza al norte y al noroeste de la zona de estudio. Se presenta una amenaza alta, factores de seguridad entre 0.5 y 1.2. En total 39 estructuras fueron clasificadas en riesgo alto no mitigable, equivalente al 12.8% de estructuras de la zona estudio. (Figura 28)

13.5.2. Riesgo alto mitigable

Se presentan dos zonas independientes en riesgo alto mitigable, la primera zona se ubica al centro del polígono y se encuentra alrededor de estructuras en riesgo medio y riesgo alto no mitigable. La segunda zona se encuentra al sur y su vez está embebida entre estructuras con nivel de riesgo bajo. Se presenta una amenaza baja, factores de seguridad mayor a 1.2. En total 123 estructuras fueron clasificadas en riesgo alto mitigable, equivalente al 40.9% de estructuras de la zona estudio. (Figura 28)

13.5.3. Riesgo medio

Se presentan dos zonas independientes en riesgo medio, la primera zona se ubica al centro del polígono y se encuentra alrededor de estructuras en riesgo alto y riesgo alto no mitigable. La segunda zona se encuentra al sur y a su vez está embebida entre estructuras con nivel de riesgo alto. Se presenta una amenaza baja, factores de seguridad mayor a 1.2. En total 91 estructuras fueron clasificadas en riesgo medio, equivalente al 29.8% de estructuras de la zona estudio. (Figura 28)

13.5.4. Riesgo bajo

Se presentan dos zonas independientes en riesgo bajo, la primera zona se ubica al sureste y suroeste del polígono y a su vez coincide con la zona de amenaza baja. La segunda zona se encuentra en la parte centro del polígono, cabe resaltar que a lo largo del polígono se encuentran algunas estructuras dispersas con nivel de riesgo bajo. Se presentan factores de seguridad mayores a 1.2. En total 52 estructuras fueron clasificadas en riesgo bajo, equivalente al 17% de estructuras de la zona estudio. (Figura 28)

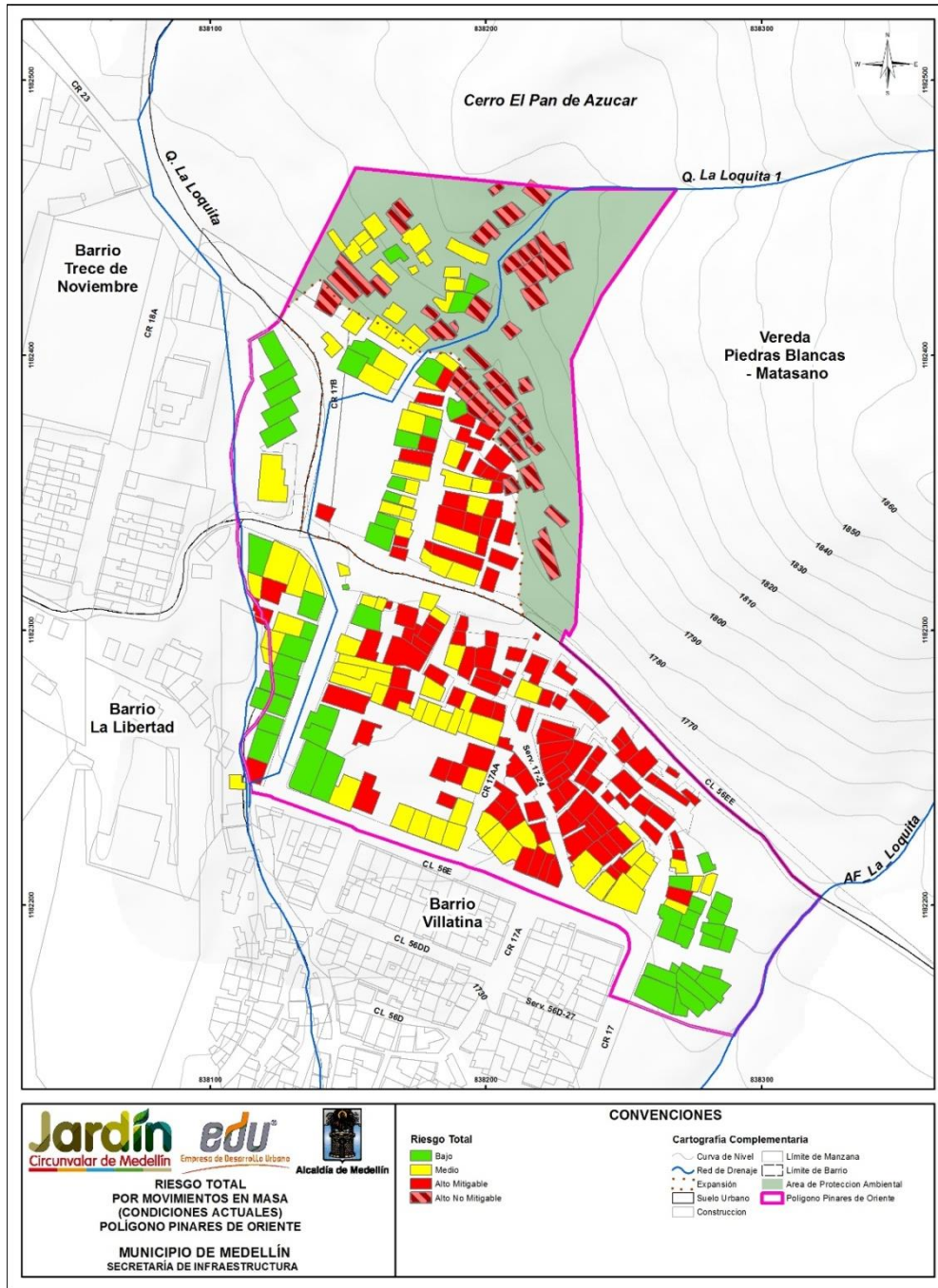


Figura 28. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono Pinares de Oriente SIGA I.C 2016.

13.6. Polígono Pinares de Oriente, riesgo por inundación

13.6.1. Riesgo alto no mitigable

En riesgo alto no mitigable se presenta una quebrada, La Loquita 1, la cual está ubicada en la zona noroeste del polígono y lo atraviesa en dirección norte-sur, de esta manera afecta las estructuras ubicadas en la margen derecha de su cauce, tanto en la parte alta como en la zona oeste del polígono. Se presenta un nivel de amenaza alta y los valores de Intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia a su vez son altos. (Figura 29) Según SIGA I.C. se considera como riesgo alto no mitigable aquel bajo el cual se encuentran las estructuras que, por su cercanía al cauce, su carácter de riesgo alto no puede ser reducido sin modificar sustancialmente las condiciones del cauce, de la corriente y de la estructura misma, y porque además se encuentran ubicadas parcial o totalmente al interior de la zona de retiro hidrológico. (Figura 29)

13.6.2. Riesgo Alto mitigable

En alto riesgo mitigable se presenta en la quebrada, La Loquita, la cual está ubicada en la zona oeste del polígono y lo atraviesa en dirección norte sur, de esta manera afecta las estructuras ubicadas en las márgenes de su cauce, principalmente la zona oeste de la zona de estudio. Se presenta un nivel de amenaza alta y los valores de intensidad (velocidad y profundidad) y frecuencia a su vez son altos. (Figura 29)

Por su parte, y según SIGA I.C., las estructuras clasificadas como riesgo alto mitigable corresponden a aquellas que bajo condiciones actuales se ven afectadas por insuficiencia hidráulica de obras existentes y cuya condición de riesgo alto puede eliminarse mediante algunas adecuaciones o ampliaciones de la capacidad hidráulica de estas obras. (Figura 29)

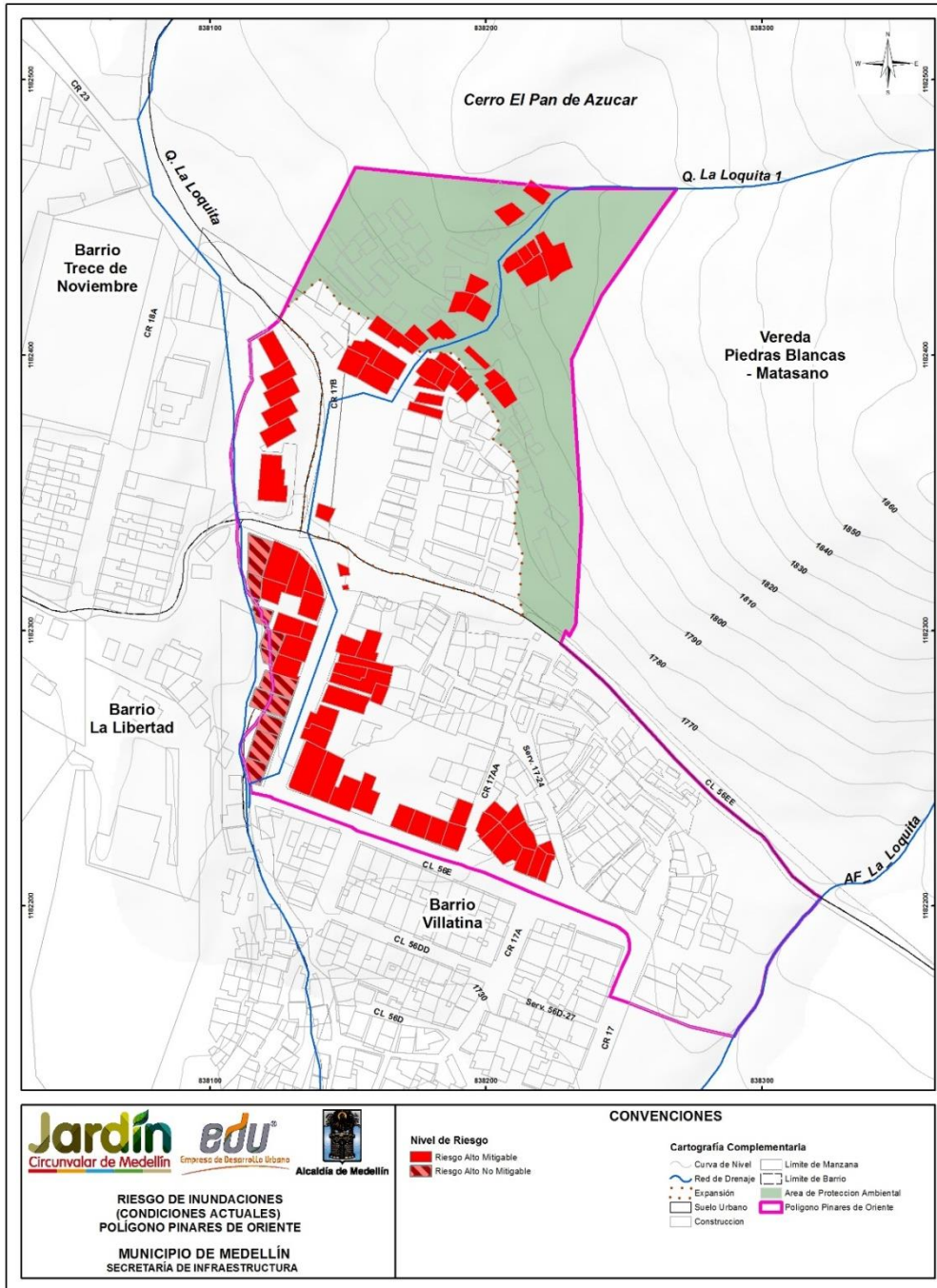


Figura 29. Mapa de riesgo por inundación Pinares de Oriente SIGA I.C 2016.

14. METODOLOGÍA DEARROLLADA POR LA UNIVERSIDAD EAFIT PARA LA ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR POLÍGONO, PARA MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES.

Con base en los estudios realizados por SIGA I.C. de zonificación del riesgo por construcción del proyecto Barrios Sostenibles se aplicará la metodología propuesta por la Universidad EAFIT de zonificación de riesgo por polígono, la cual permite tener un mayor alcance de cara al ordenamiento territorial de la ciudad. Los polígonos objetos de estudio son: Esfuerzos de Paz, Pinares de Oriente, San Antonio.

A continuación, se presentan los principales aspectos de la metodología.

14.1. ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR POLÍGONO PARA MOVIMIENTOS EN MASA

Para realizar la evaluación de riesgo por polígono para movimientos en masa, se revisaron varias metodologías que relacionaban la magnitud de dichos movimientos con las posibles afectaciones a las construcciones, como la de Cardinali et al (2002) y de Fell & Hartford, (1997) A partir de los posibles escenarios y la integración de la magnitud de la amenaza, que depende de la velocidad y la profundidad, con la probabilidad de que se presente el fenómeno, obtenida de la amenaza o del análisis de estabilidad, se elaboró la siguiente regla de decisión (Tabla 9). Es de anotar que la condición de mitigabilidad de una zona está en función no solo de las características de la amenaza y la vulnerabilidad, sino de la relación costo beneficio. (Universidad EAFIT, 2017)

Tabla 9. Regla de decisión para el riesgo por polígono para movimientos en masa.

Factores	Magnitud de la amenaza	Amenaza según factores seguridad	Índice de vulnerabilidad (Edificaciones)	Zona de riesgo por movimientos en masa
Velocidad Alta / Profundidad Alta	Muy Alta	Alta	1.0	Extremadamente alto/No Mitigable/Soluciones Alto Costo
Velocidad Alta / Profundidad Alta	Muy Alta	Media	1.0	Riesgo Alto
Velocidad Alta / Profundidad Alta	Muy Alta	Baja	1.0	Bajo
Velocidad Media - Baja / Profundidad Alta	Alta	Alta	0,6	Riesgo Alto
Velocidad Media - Baja / Profundidad Alta	Alta	Media	0,6	Medio
Velocidad Media - Baja / Profundidad Alta	Alta	Baja	0,6	Bajo
Velocidad Media -Alta/Profundidad Media	Alta	Alta	0.7	Riesgo Alto
Velocidad Media -Alta/Profundidad Media	Alta	Media	0.7	Riesgo Alto
Velocidad Media -Alta/Profundidad Media	Alta	Baja	0.7	Bajo
Velocidad Baja/Profundidad Media	Media	Alta	0,5	Riesgo Alto
Velocidad Baja/Profundidad Media	Media	Media	0,5	Medio
Velocidad Baja/Profundidad Media	Media	Baja	0,5	Bajo
Velocidad Alta/Profundidad Baja	Media	Alta	0.4	Medio
Velocidad Alta/Profundidad Baja	Media	Media	0.4	Medio
Velocidad Alta/Profundidad Baja	Media	Baja	0.4	Bajo
Velocidad Media - Baja / Profundidad Baja	Baja	Alta	0.1	Medio
Velocidad Media - Baja / Profundidad Baja	Baja	Media	0.1	Bajo
Velocidad Media - Baja / Profundidad Baja	Baja	Baja	0.1	Bajo

La metodología de riesgo por polígono se aplica a las zonas de amenaza definidas previamente, determinando para cada una la velocidad y la profundidad media de los movimientos, estos parámetros en conjunto nos definen la magnitud de la amenaza. Para la probabilidad del fenómeno amenazante tomamos los resultados de los análisis de estabilidad. Dicho de otra manera, se determina para cada zona cuál es la profundidad y la velocidad de los movimientos que se pueden presentar y cuál es su probabilidad real de generación. (Universidad EAFIT, 2017)

En el cálculo por polígono no se utilizan los valores de vulnerabilidad obtenidos en el ejercicio por construcción, el índice de vulnerabilidad que se muestra en la tabla anterior, representa los daños probables que sufriría una construcción en caso de que ocurra un evento de determinada magnitud. (Universidad EAFIT, 2017)

La profundidad de los movimientos en masa se obtiene de los análisis de estabilidad, mientras que la velocidad se calcula utilizando la expresión:

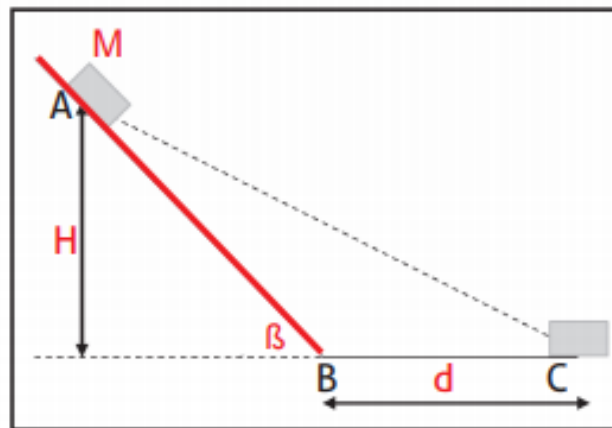


Figura 30. Diagrama de fuerzas bloque deslizante (SGC, 2015).

Donde,

β es la inclinación del territorio

ϕ es el ángulo de fricción interna en el talud (A-B)

g es la aceleración de la gravedad.

De esta manera, la velocidad desarrollada por la masa deslizada mientras baja por el tramo A-B (Figura 30) está definida por la siguiente ecuación (SGC, 2015):

$$V_{AB} = \sqrt{2Hg \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta}\right)}$$

Estos dos parámetros, magnitud y probabilidad de la amenaza, se combinan en la regla de decisión generando un criterio para determinar la zona de riesgo. Ahora bien, el nivel de mitigabilidad está en función de la relación de los elementos expuestos, específicamente de su cantidad y calidad, con los costos de las obras de mitigación, por lo tanto, la definición de mitigabilidad debe hacerse de manera particular para cada polígono estudiado y no obedece a una regla de decisión fija. (Universidad EAFIT, 2017)

Un parámetro adicional que se tiene en cuenta al realizar la zonificación de riesgo, son los polígonos de riesgo no mitigable planteados por el POT de Medellín, ya que estos son suelos de protección y no pueden ser eliminados, pueden precisarse sus límites a partir de estudios de detalle, pero realmente los estudios de detalle aplican para zonas con condición de riesgo o amenaza. (Universidad EAFIT, 2017)

La *Regla de decisión para el riesgo por polígono para movimientos en masa desarrollada por EAFIT*, utiliza la magnitud y la probabilidad (factor de seguridad), para el cálculo del riesgo, esto genera como resultado el índice de vulnerabilidad que tiene incorporada la intensidad de los fenómenos

De acuerdo a la vulnerabilidad se presume nivel de daños, si se presenta un movimiento rápido y profundo la vulnerabilidad se acerca a 1 y el nivel de riesgo es alto, si por el contrario el valor de vulnerabilidad es cercano a cero, el nivel de riesgo es bajo y la construcción no sufriría daños

De acuerdo con los parámetros necesarios para aplicar la metodología planteada anteriormente se determinó que los estudios de SIGA I.C se pueden clasificar en tres tipos de acuerdo con su información:

- **Tipo I:** Son los estudios que presentan información suficiente, es decir, que presentan los parámetros necesarios para hallar la velocidad y poder aplicar la metodología de zonificación de riesgo por polígono. Dichos parámetros son:
 - Factor de Seguridad (F.S).
 - Ángulo de fricción interna (ϕ) y pendiente (β).
 - Ubicación y escala de los perfiles.
 - Profundidad media de los movimientos en masa.
 - Obras de mitigación y su viabilidad.El polígono que fue clasificados como estudios tipo I es: Esfuerzos de Paz,
- **Tipo II:** Son los estudios que presentan información parcial, es decir, que presentan deficiencia en los siguientes parámetros:
 - Ubicación de los perfiles y pendiente (β).
 - Escala de los perfiles.
 - Profundidad media de los movimientos en masa.El polígono que fue clasificados como estudios tipo II es: San Antonio.
- **Tipo III:** Son los estudios que presentan información insuficiente. Solo cuentan con los parámetros de:
 - Factor de Seguridad (F.S).

Ángulo de fricción interna (ϕ).

Obras de mitigación y su viabilidad.

El polígono que fue clasificados como estudios tipo III es: Pinares de Oriente

14.2. Metodología para estudios de Tipo I:

Debido a que los polígonos estudiados cuentan con la información suficiente, hace posible la aplicación del modelo de zonificación por polígono propuesto por EAFIT, con el cual se procede a la obtención de parámetros para las diferentes zonas de amenaza, estos parámetros son la pendiente y la velocidad.

Adicionalmente, se realizan perfiles para obtener información de las zonas en las cuales no hay perfiles de estabilidad, obteniendo información para el cálculo de velocidad y así, lograr una mejor zonificación de riesgos en los estudios de este tipo.

14.3. Metodología para estudios de Tipo II:

Los polígonos que hacen parte de este tipo solo presentan un perfil sin escala, por lo cual es imposible determinar la profundidad media de los movimientos, encontrar la velocidad de los mismos y zonificar el riesgo en el polígono, por lo tanto, se construyen nuevos perfiles tratando de verificar las zonas donde se presentan amenaza media y alta.

Para determinar los valores de velocidad, se asume una profundidad media de 10 metros la cual se determinó en el estudio de SIGA I.C. Además, un ángulo de fricción interna (ϕ) asociado a la geología presente en el perfil de estabilidad.

La pendiente (β) y la diferencia de altura (H) se hallaron directamente de los perfiles realizados en SIG y exportados a Excel y por último el factor de seguridad (FS) asociados a los mapas suministrados por SIGA I.C

14.4. Metodología para estudios de Tipo III:

Estos polígonos carecen de perfiles y de los parámetros necesarios para zonificar el riesgo.

Para hallar estos parámetros se realizan nuevos perfiles de los cuales se obtienen la mayoría de los insumos menos el factor de seguridad (FS) que es asociado a los mapas suministrados por SIGA I.C y el ángulo de fricción interna (ϕ) que se obtiene de estudios geotécnicos de la zona de estudio y de la relación con la geología presente en los perfiles de estabilidad.

14.5. Zonificación de riesgo para inundaciones:

Para la inundación, el riesgo por polígono se definirá en función de la velocidad del flujo y la altura de la lámina de agua, tomando como base la metodología para la formulación de Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de Cuencas (Universidad Nacional de Colombia, Corantioquia, & Instituto Mi Río, 2003) (Figura 31).

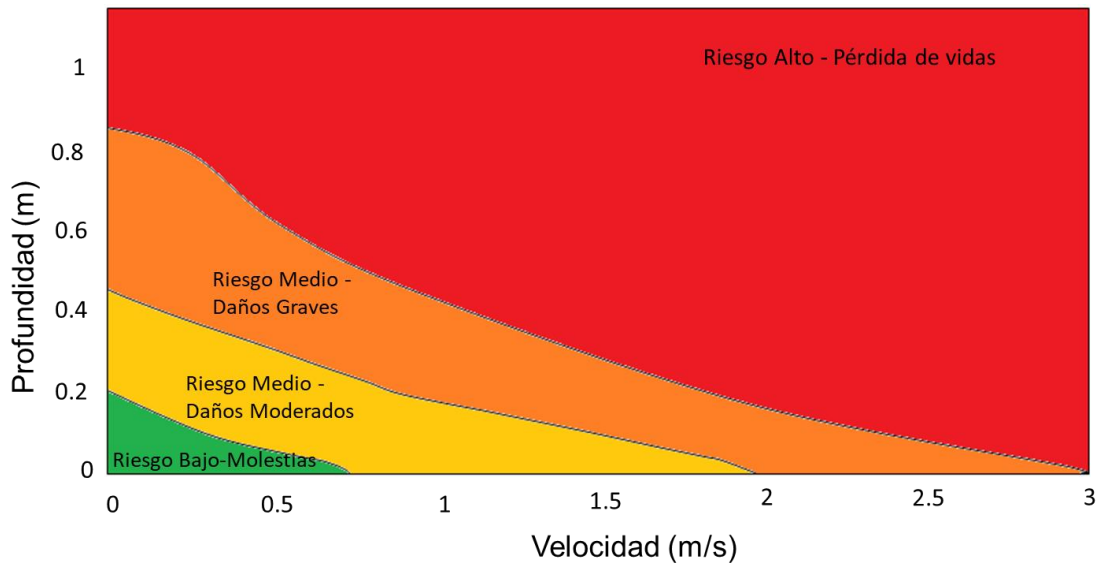


Figura 31. Tipo de daños de acuerdo con valores de velocidad y profundidad del flujo. (Universidad Nacional de Colombia et al., 2003).

El grado de mitigabilidad estará en función de la relación costo beneficio de los elementos expuestos respecto a las obras de reducción del riesgo. Es de anotar que, si las zonas de amenaza por inundación o torrencialidad se localizan en los retiros de quebrada, las viviendas localizadas en estos sectores no podrán ser legalizadas, por lo tanto, no se podrán realizar obras en este sentido.

Para aplicar esta metodología todos los polígonos cuentan con los parámetros necesarios para realizarla: Velocidad (m/s), Profundidad (m), obras y la decisión de mitigabilidad por construcción.

14.6. Perfiles y calculos de velocidades

A continuación se muestran los perfiles más representativos de cada zona estudio, realizados para determinar la pendiente y la diferencia de altura. Así mismo se muestran los cálculos de para obtener las velocidades de los movimientos.

14.6.1. Polígono Esfuerzos de Paz

Para el polígono Esfuerzos de Paz y de acuerdo al perfil obtenido por SIGA I.C. se presentan factores de seguridad de 0.99, un probabilidad de fallas de 5.33% y una profundidad de 12m. En la Figura 33, por otra parte se muestra el perfil más representativo realizado con base en la Metodología EAFIT para obtener la pendiente y la diferencia de altura. (Figuras 32 y 33)

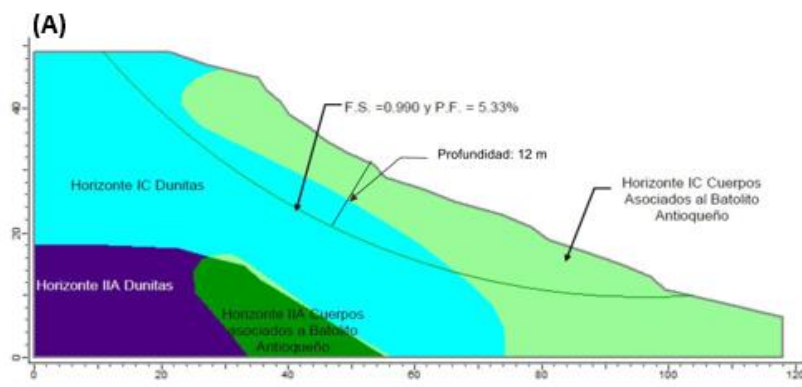


Figura 32. Perfil realizado por SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A (2016)

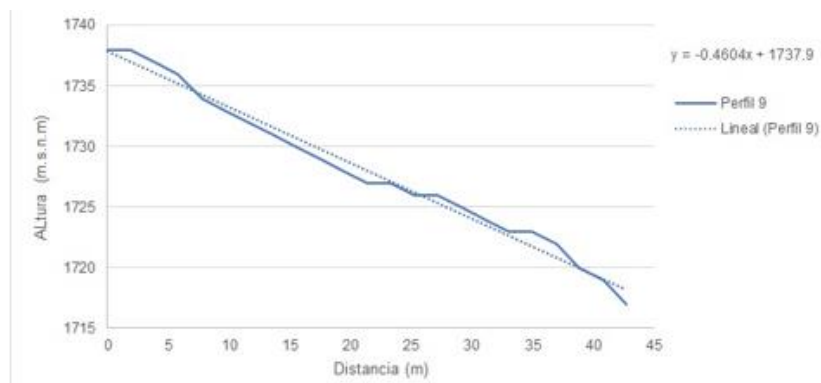


Figura 33. Perfil realizado con base en la metodología EAFIT

En la siguiente tabla se puede observar los resultados de la velocidad obtenida y los factores que se tuvieron en cuenta para determinar las zonas por movimientos en masa con base en la Metodología EAFIT. Tabla 10

Tabla 10. *Calculo de velocidades para determinar riesgo con base en Metodología Eafit.*

Esfuerzos De Paz									
Perfil	Factores					Magnitud de la amenaza	Factor de seguridad	Amenaza según factores de seguridad	Zona de riesgo por movimientos en masa
	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)	Velocidad (Magnitud)	Profundidad (m)	Profundidad (Magnitud)				
1	11,40091011	41,0432764	Alta	12	Alta	Muy Alta	0,99	Alto	Riesgo Alto No mitigable
2	4,038162174	14,53738383	Media	12,5	Alta	Alta	0,819	Alto	Riesgo Alto
3	4,79022576	17,24481274	Media	11,53	Alta	Alta	1,038	Alto	Riesgo Alto
4	20,18956721	72,68244196	Alta	12,63	Alta	Muy Alta	0,77	Alta	Riesgo Alto No mitigable
5	14,72135766	52,99688756	Alta	10,81	Alta	Muy Alta	0,77	Alta	Riesgo Alto No mitigable
6	12,65783244	34,67892349	N.A	10	Alta	N.A	0,99	Alta	Riesgo Alto
7	9,47876498	30,78995634	N.A	10	Alta	N.A	2,5	Bajo	Riesgo Bajo
8	16,10866882	57,99120775	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,7	Bajo	Riesgo Bajo
9	12,27348901	33,56789225	N.A	10	Alta	N.A	1,5	Bajo	Riesgo Bajo
10	23,29378994	83,85764377	Alta	10	Alta	Muy Alta	0,9	Alta	Riesgo Alto No mitigable
11	22,49666487	80,98799353	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,3	Medio	Riesgo Alto

14.6.2. Poligono San Antonio

Para el poligono San Antonio y de acuerdo al perfil obtenido por SIGA I.C., se presentan factores de seguridad de 1.1 un probabilidad de fallas de 3.5% y un profundidad de 12 m. En la Figura 35, por otra parte se muestra el perfil mas representativo realizado con base en la Metodologia EAFIT para obtener la pendiente y la diferencia de altura. (Figuras 34 y 35)

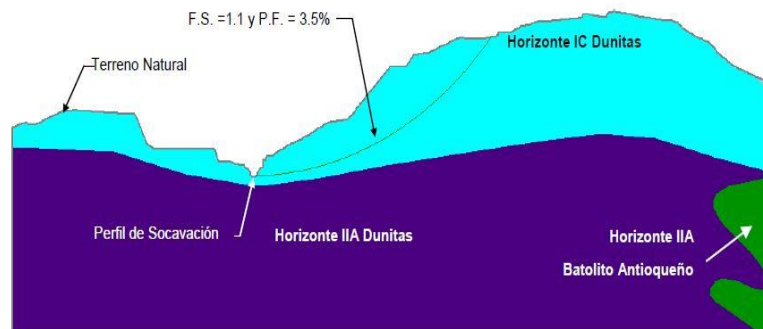


Figura 34. Perfil realizado por SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A (2016)

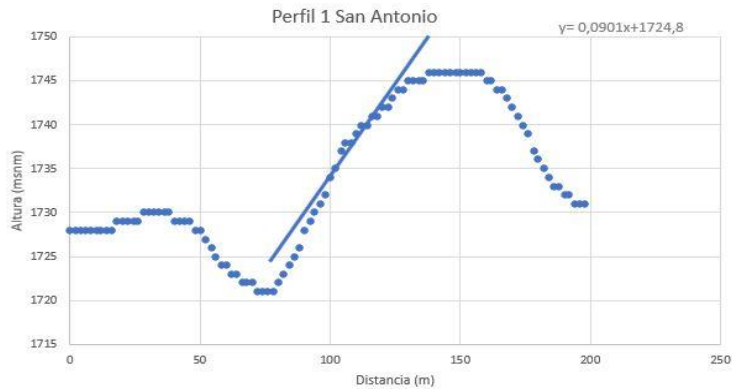


Figura 35. Perfil realizado con base en la metodología EAFIT

En la siguiente tabla se puede observar los resultados de velocidad obtenida y los factores que se tuvieron en cuenta para determinar las zonas por movimientos en masa con base en la Metodología EAFIT. Tabla 11

Tabla 11. *Calculo de velocidades para determinar riesgo con base en Metodología EAFIT*

San Antonio									
Perfil	Factores					Magnitud de la amenaza	Factor de Seguridad	Amenza según factores de seguridad	Zona de Riesgo por movimientos en masa
	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)	Velocidad (Magnitud)	Profundidad (m)	Profundidad (Magnitud)				
1	21,58893503	94,34578325	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.1	Alta	Riesgo Alto
2	31,56937704	113,6497573	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.4	Media	Riesgo Alto
3	27,3398825	98,42357699	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.2	Alto	Riesgo alto No mitigable
4	23,7963133	85,66672787	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.3	Media	Riesgo Alto
5	21,28406966	76,62265077	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.2	Alto	Riesgo alto No mitigable
6	27,3398825	98,42357699	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.1	Alto	Riesgo alto No mitigable
7	18,43254502	66,35716207	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.2	Alto	Riesgo alto No mitigable
8	22,82462189	82,1686388	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.4	Media	Riesgo Alto
9	15,05010999	54,18039595	Muy Alta	5,2	Alta	Muy alta	1.4	Media	Riesgo Alto

14.6.3. Poligono Pinares de Oriente

Para el poligono Pinares de Oriente se muestra el perfil mas representativo, realizado con base en la Metodología EAFIT para obtener la pendiente y la diferencia de altura. (Figura 36)

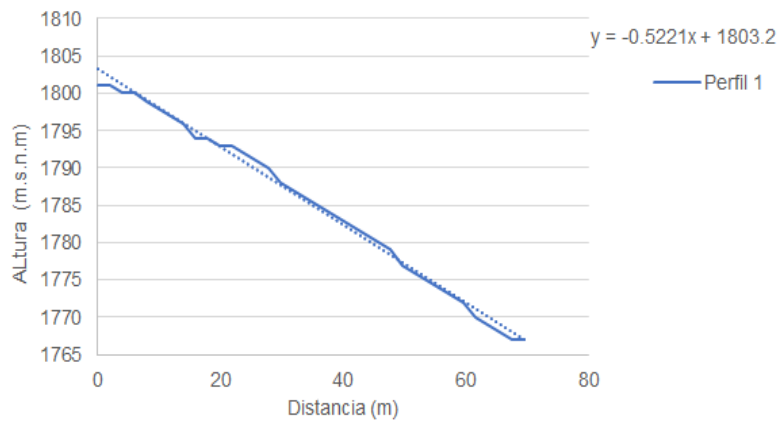


Figura 36. Perfil realizado con base en la metodología EAFIT

En la siguiente tabla se puede observar los resultados de velocidad obtenida y los factores que se tuvieron en cuenta para determinar las zonas por movimientos en masa con base en la Metodología EAFIT. Tabla 12

Tabla 12. *Calculo de velocidades para determinar riesgo con base en Metodología EAFIT*

Pinares de Oriente									
Perfil	Factores					Magnitud de la amenaza	Factor de seguridad	Amenaza según factores de seguridad	Zona de riesgo por movimientos en masa
	Velocidad (m/s)	Velocidad (Km/h)	Velocidad (Magnitud)	Profundidad (m)	Profundidad (Magnitud)				
1	10,07405382	36,26659374	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,3	Medio	Riesgo Alto
2	9,102514864	32,76905351	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,3	Medio	Riesgo Alto
3	6,524653073	23,48875106	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,2	Medio	Riesgo Alto
4	12,22739597	44,0186255	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,5	Bajo	Riesgo Bajo
5	8,735286771	31,44703238	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,2	Medio	Riesgo Alto
6	8,703918159	31,33410537	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,2	Medio	Riesgo Alto
7	8,836535126	31,81152645	Alta	10	Alta	Muy Alta	1,2	Medio	Riesgo Alto

15. ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR POLÍGONO, PARA LOS BARRIOS ESFUERZOS DE PAZ, SAN ANTONIO Y PINARES DE ORIENTE, MEDIANTE LA METODOLOGÍA EAFIT

15.1.POLÍGONO ESFUERZOS DE PAZ, RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

15.1.1. Riesgo alto no mitigable

En el análisis de riesgo por polígono que parte del análisis de la amenaza y la comparación con los resultados de factor de seguridad estático, probabilidad de falla, pendiente (β) y ángulo de fricción interna (Φ), se determina que para el riesgo alto no mitigable se ubica en 3 zonas independientes:

La primera zona se localiza al sur-oeste del polígono, sus límites al norte se denotan por la servidumbre 54-136 y los afluentes La Castro 1 y 2; al sur el límite del polígono es el encargado de cerrar la zona de riesgo. La Segunda Zona se localiza al este del polígono, limita al norte por las servidumbres 55-366 y 58 A - 09, se encuentra en este sector el centro comunitario; al sur limita con la servidumbre 57 A - 41. La tercera zona se localiza al centro del polígono, limita al norte por el nacimiento de la quebrada La Castro 2; al este por la servidumbre 55-38; al oeste por la servidumbre 54-218; al sur, la zona se cierra aproximadamente en la mitad de la quebrada La Castro 2. Se presentan valores de factor de seguridad menores a 1.2, la, pendientes mayores a 30° , esto da como resultado una amenaza muy alta. Posee un área de 1,34 ha que representa el 27,47% de la zona de estudio (Figura 37).

15.1.2. Riesgo alto mitigable

En el polígono se definen 2 zonas independientes para la característica de alto riesgo mitigable; la Primera Zona se ubica al noroeste del polígono, el límite al sur lo denota la carrera 11, siendo esta una vía principal del sector; al norte está limitado por la quebrada San Antonio. La Segunda Zona está embebiendo las zonas 1, 2 y 3 de riesgo no mitigable anteriormente descritas, su ubicación es a lo largo del polígono y no posee límites que se puedan determinar mediante la malla vial o los drenajes existentes. Se presentan valores de factor de seguridad menores a 1.2, la magnitud de la amenaza es

muy alta, pendientes altas entre 15 a 30°. Posee un área de 1,45 ha que representa el 29,73% de la zona de estudio (Figura 37).

15.1.3. Riesgo medio

En el polígono se definen 3 zonas independientes para la característica de riesgo medio. La Primera Zona se ubica al sur-oeste del polígono, sus límites al sur-estos están denotados por la servidumbre 54-136 y la quebrada San Antonio; al oeste la carrera 11 cumple la función de límite; al norte limita con la zona 2 del riesgo alto mitigable. La Segunda Zona se ubica al noroeste del polígono, su límite al sur-este está denotado por la quebrada San Antonio; al noroeste la carrera 13 cumple la función de límite de la zona. La Tercera Zona está ubicada en el centro del polígono, su límite al sur esta denotado por la servidumbre 55-300; y al norte por la calle 11. Se presentan valores de factor de seguridad entre 1.2 -1.5, la magnitud de la amenaza es media, pendientes altas entre 15° a 30°. Posee un área de 0,43 ha que representa el 8,99% de la zona de estudio (Figura 37).

15.1.4. Riesgo bajo

En el polígono se definen 3 zonas independientes para la característica de riesgo bajo: La Primera Zona está ubicada al norte del polígono, en esta se encuentra el centro educativo y el parque ecológico, al norte está limitado por el borde de la zona de estudio; al sur limita con la zona 2 de alto riesgo mitigable y con la zona 1 y 3 de riesgo medio anteriormente descritas. La Segunda Zona está ubicada al sur-este del polígono, en este sector se encuentra un centro comunitario; su límite al norte esta denotado por la zona 2 de alto riesgo mitigable; al sur el límite del polígono con el barrio Villatina cumple la función de cerrar la zona. La Tercera Zona está ubicada el sur-oeste del polígono, en este sector se encuentra una estación de metro cable; su límite al este lo denota la zona 2 de alto riesgo mitigable; se presentan valores de factor de seguridad mayores a 1.5, la magnitud de la amenaza es baja, pendientes moderadas entre 5° a 15°. Posee un área de 1,64 ha que representa el 33,64% de la zona de estudio (Figura 37).

RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA - ESFUERZOS DE PAZ

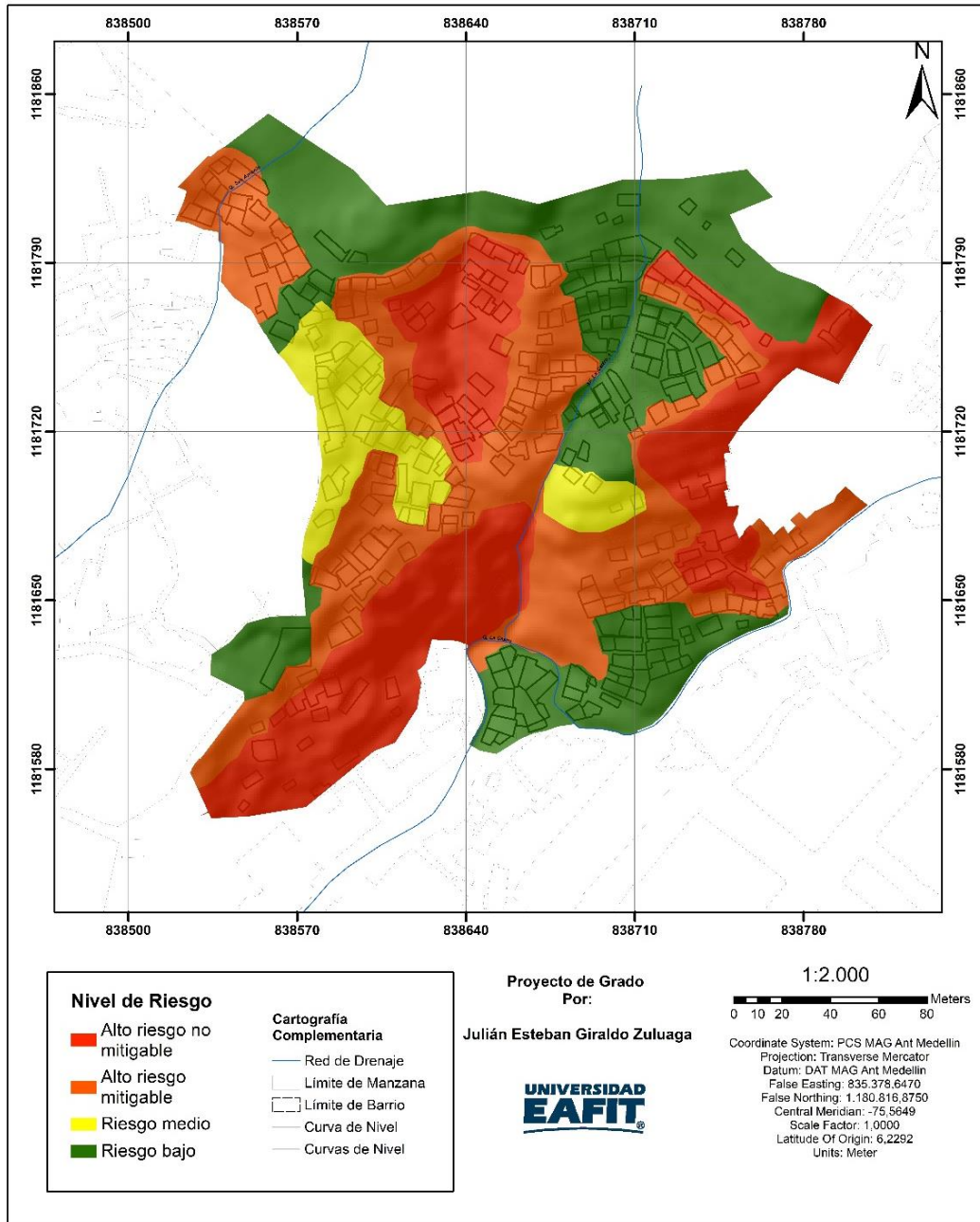


Figura 37. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono Esfuerzos de Paz M. EAFIT

15.2.POLÍGONO ESFUERZOS DE PAZ, RIESGO POR INUNDACIÓN

En el área de estudio se identificaron cuatro categorías de riesgo: alto no mitigable, alto mitigable, medio y bajo, los cuales se describen a continuación.

En el polígono esfuerzo de paz predomina el nivel de riesgo alto no mitigable.

15.2.1. Riesgo alto no mitigable

En esta categoría se localizan tres quebradas (La Castro, La Castro 1 y La Castro 2). La quebrada La Castro está ubicada al sur-este del polígono, sus márgenes tienen la característica de alto no mitigable por inundación, se encuentran ubicadas viviendas y un centro comunitario a lo largo del cauce. La quebrada La Castro 1 está ubicada al este del polígono, este nivel de riesgo se extiende a lo largo del cauce, siendo esta paralela a la carrera 10, generando una mancha en sus márgenes que afecta a algunas viviendas. La quebrada La Castro 2 está ubicada al oeste del polígono, la característica de alto riesgo no mitigable se encuentra hacia el centro y sur del afluente donde ya esta se une con la quebrada La Castro 1. Se presentan valores de velocidad diferentes para cada una de las quebradas, donde La Castro 1 y 2 poseen valores promedio de 4 m/s y La Castro de 9 m/s, estos valores son de niveles muy altos y difieren entre los afluentes dado que La Castro posee una característica de torrencialidad que hace que la lámina de agua se comporte con valores de velocidad más altos; respecto a las profundidades se observa la misma situación donde La Castro 1 y 2 poseen valores promedio de 1.2 m y La Castro de 2.5 m, dando así profundidades de rango alto en el polígono. El área que abarca esta característica es de 0,57 ha que representa el 11,79% de la zona de estudio. (Figura 38).

15.2.2. Riesgo alto mitigable

En esta categoría se clasifica una zona de amenaza alta, donde se localizan tres quebradas (San Antonio, La Castro 1 y La Castro 2). La quebrada San Antonio está ubicada al noroeste del polígono, afectando directamente el parque ecológico, este nivel de riesgo ocupa la mayoría de su cauce dentro del polígono. La quebrada La Castro 1 está ubicada al este del polígono, esta categoría de riesgo se localiza hacia la cabecera y centro del afluente. La quebrada La Castro 2 está ubicada al oeste del polígono, la característica de alto riesgo mitigable se encuentra en la cabecera de esta. Se presentan

valores de velocidad promedio altas de 2.6 m/s en las 3 quebradas. Respecto a la profundidad se observa un promedio de 0,5 m categorizada como un valor medio presente en la lámina de agua. El área que abarca esta característica es de 0,14 ha que representa el 2,88% de la zona de estudio. (Figura 38).

15.2.3. Riesgo medio

En esta categoría se localizan las cuatro quebradas presentes en la zona (La Castro, La Castro 1, La Castro 2 y San Antonio). La quebrada La Castro está ubicada al sur-este del polígono, la característica de riesgo medio se encuentra ubicada en el centro del cauce paralelo al límite del polígono, la mancha es de un tamaño muy inferior respecto a la mancha de no mitigable. La quebrada La Castro 1 está ubicada al este del polígono, el nivel de riesgo medio se presenta en todo el cauce, predominando hacia el sur de este, donde la mancha se ve de un tamaño más grande respecto a las otras existentes de la misma característica. La quebrada La Castro 2 está ubicada al oeste del polígono, la característica de riesgo medio está ubicada a lo largo del cauce, siendo esta la que más predomina en este afluente. La quebrada San Antonio está ubicada al noroeste del polígono, el nivel de riesgo medio ocupa los 2 márgenes de la quebrada, se ve afectado el parque ecológico. Se presentan valores de velocidad promedio medias de 1.1 m/s en las 4 quebradas. Respecto a la profundidad se observa un promedio de 0,2 m, dando así un rango medio-bajo en la lámina de agua. El área que abarca esta característica es de 0,32 ha que representa el 6,71% de la zona de estudio. (Figura 38).

15.2.4. Riesgo bajo

En esta categoría se localizan las cuatro quebradas presentes en la zona (La Castro, La Castro 1, La Castro 2 y San Antonio), cabe resaltar que se presenta en pequeñas manchas, alejadas de cada afluente. La quebrada La Castro está ubicada al sur-este del polígono, este nivel de riesgo se encuentra en el límite sur-este de la zona de estudio. La quebrada La Castro 1 está localizada al este del polígono, la característica de riesgo bajo se puede observar hacia la cabecera y el sur del afluente. La quebrada La Castro 2 está al oeste del polígono, la característica de riesgo bajo está ubicada en la cabecera y el centro del afluente. La quebrada San Antonio está ubicada al noroeste del polígono, el nivel de riesgo se presenta en pequeñas manchas hacia los 2 márgenes del afluente. Existen valores de velocidad promedio bajas de 0,1 m/s en las 4 quebradas. Respecto a

la profundidad se observa un promedio de 0,15 m, dando así un valor bajo en la lámina de agua. El área que abarca esta característica es de 0,10 ha que representa el 2,12% de la zona de estudio (Figura 38).

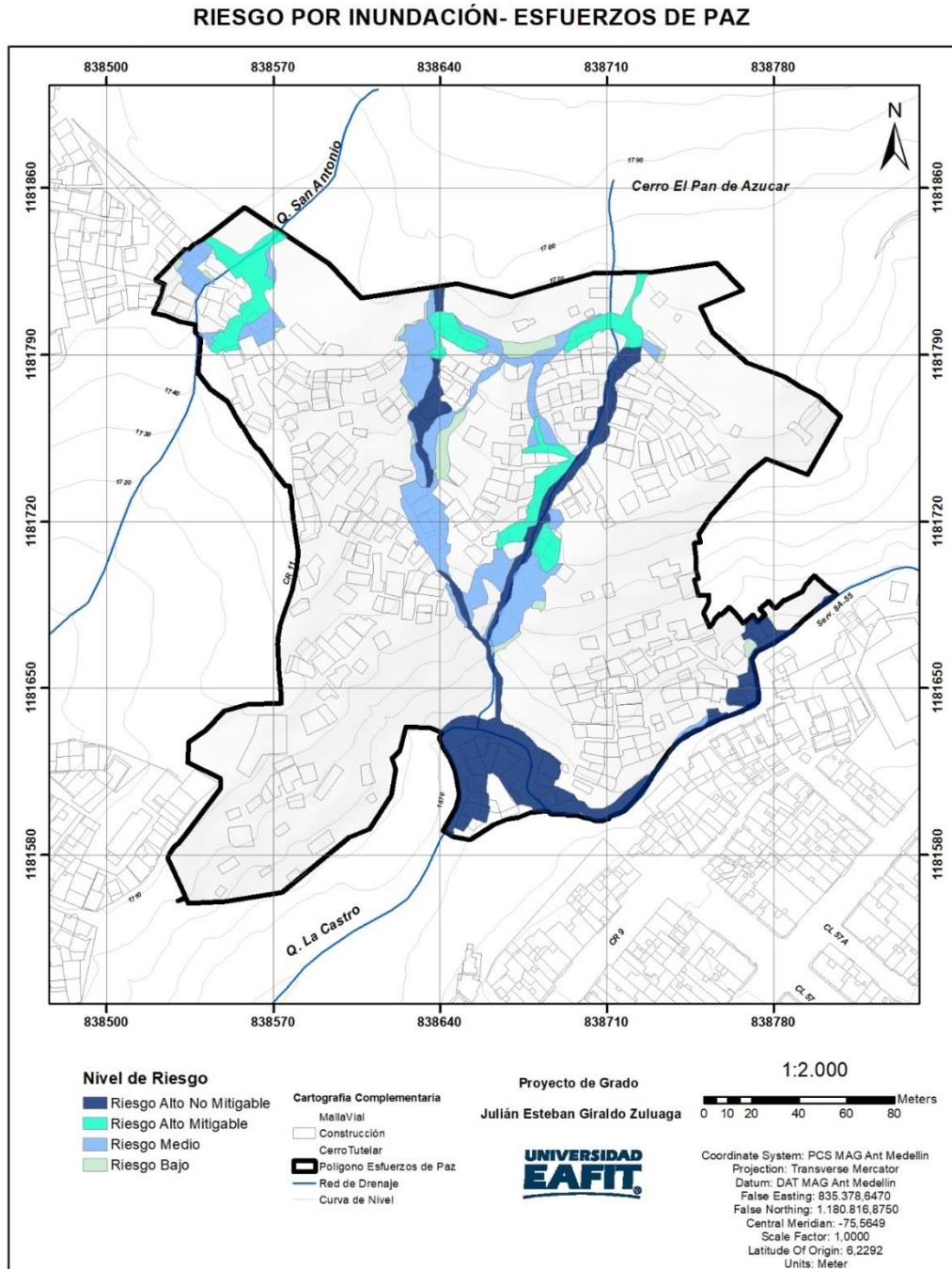


Figura 38. Mapa de riesgo por inundación polígono Esfuerzos de Paz M. EAFIT

15.3. POLÍGONO ESFUERZOS DE PAZ, RIESGO AVENIAS TORRENCIALES

15.3.1. Riesgo alto no mitigable:

La quebrada La Castro Se encuentra ubicada al sur-este del polígono, sus márgenes tienen la característica de alto no mitigable por el fenómeno de avenidas torrenciales que corresponde a la mancha del periodo de retorno de 100 años. Se encuentra dentro de la mancha de torrencialidad algunas viviendas y un centro comunitario a lo largo del cauce que necesitan ser reubicadas. Se presentan valores de velocidad promedio muy altas de 9 m/s. Respecto a la profundidad se observa un promedio de 2,5 m, dando así una característica alta de este tipo en la lámina de agua. El área que abarca esta característica es de 0,41 Ha que representa el 8.42% de la zona de estudio (Figura 39).

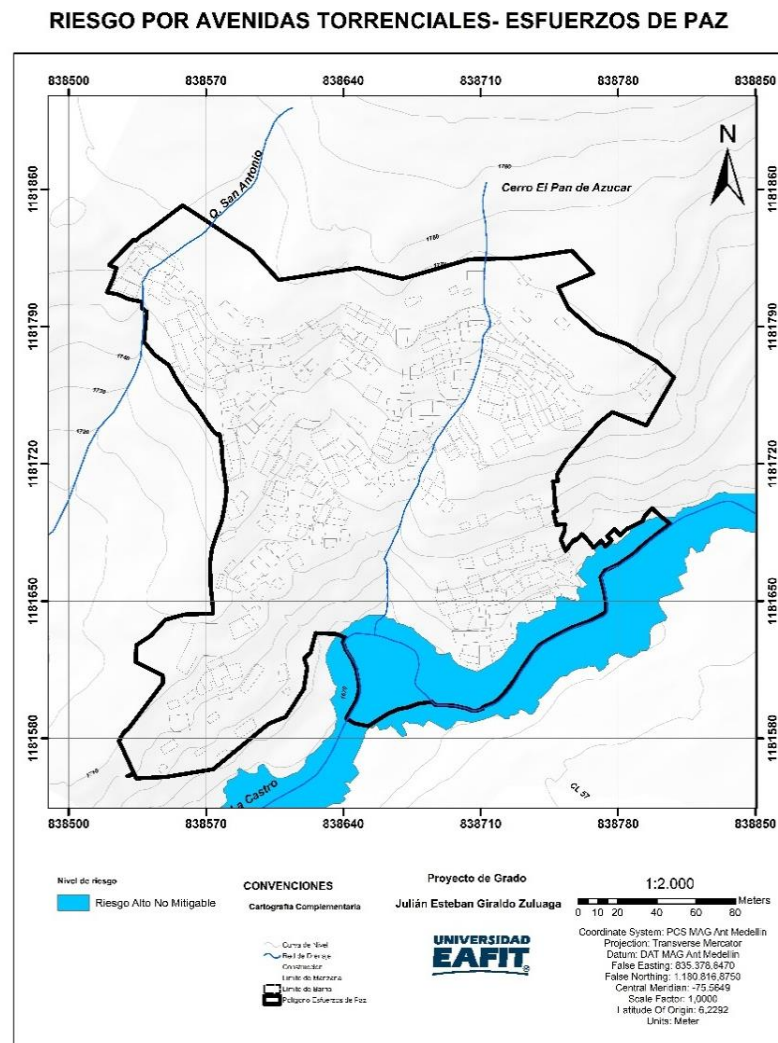


Figura 39. Mapa de riesgo por avenidas torrenciales polígono Esfuerzos de Paz

15.4. POLÍGONO SAN ANTONIO, RIESGO POR MOVIMIENTO EN MASA

Como se mencionó anteriormente el polígono San Antonio hace parte del denominado tipo II, el cual tiene información parcial para obtener los parámetros de profundidad de los movimientos, velocidad y magnitud de la amenaza por medio de la realización de 9 perfiles, para finalmente obtener la zonificación del riesgo por polígono.

En el área de estudio se identificaron tres categorías de riesgo: alto no mitigable, alto mitigable y bajo, los cuales se describen a continuación.

En el polígono San Antonio predomina el nivel de riesgo alto no mitigable.

15.4.1. Riesgo alto no mitigable

En el análisis de riesgo por polígono que parte del análisis de la amenaza y la comparación con los resultados de factor de seguridad estático, probabilidad de falla y ángulo de fricción interna (Φ), se determina que la zona de riesgo alto por estabilidad correspondiente al sector comprendido entre el costado norte de la quebrada La Gallinaza, al oriente el polígono está limitado por la Calle 56 EE y a su vez por el Cerro Pan de Azúcar, la zona occidental se limita por el Campo Santo y el Barrio Villatina. Se presentan factores de seguridad es menores a 1,2, la magnitud de la amenaza alta, pendientes con valores mayores a 30° , presenta un área de 1,90 ha que representa un porcentaje del 41.90 % de la zona de estudio. Se clasifica como de alto riesgo no mitigable, asociando probabilidades de ocurrencia de movimientos en masa por altas velocidades, profundidades, magnitudes de la amenaza y valores de factores de seguridad. (Figura 40)

15.4.2. Riesgo alto mitigable

El riesgo alto mitigable corresponde a dos zonas, la primera se encuentra en la parte media del polígono San Antonio está limitado al oriente por la calle 56 EE al sur por la Calle 56 AA al occidente por la Carrera 14 B y al norte por la quebrada La Gallinaza, la segunda zona se localiza al sur del polígono, limita al oriente con la Calle 56 EE al sur con la carrera 13, al occidente con el barrio San Antonio y al norte con la carrera 14. Se presentan factores de seguridad menores a 1,2, la magnitud de la amenaza alta, pendientes con valores de 15° a 30° y un área que abarca 1.52 ha que representa el 33.68% de la zona de estudio. (Figura 40)

15.4.3. Riesgo bajo

Las zonas de riesgo bajo, coinciden con las identificadas como de amenaza baja y ocupadas con viviendas, esta zona se encuentra localizada en la parte sur del polígono San Antonio que está limitado al oriente por la calle 56 EE, al sur por la carrera 14, al occidente por la Carrera 14 B y al norte por la calle 56 AA. Se presentan factores de seguridad mayores a 1.5, la magnitud de la amenaza es baja, pendientes con valores entre 0 y 5° y un área que abarca 1.10 ha que representa el 24.41% de la zona de estudio. (Figura 40)

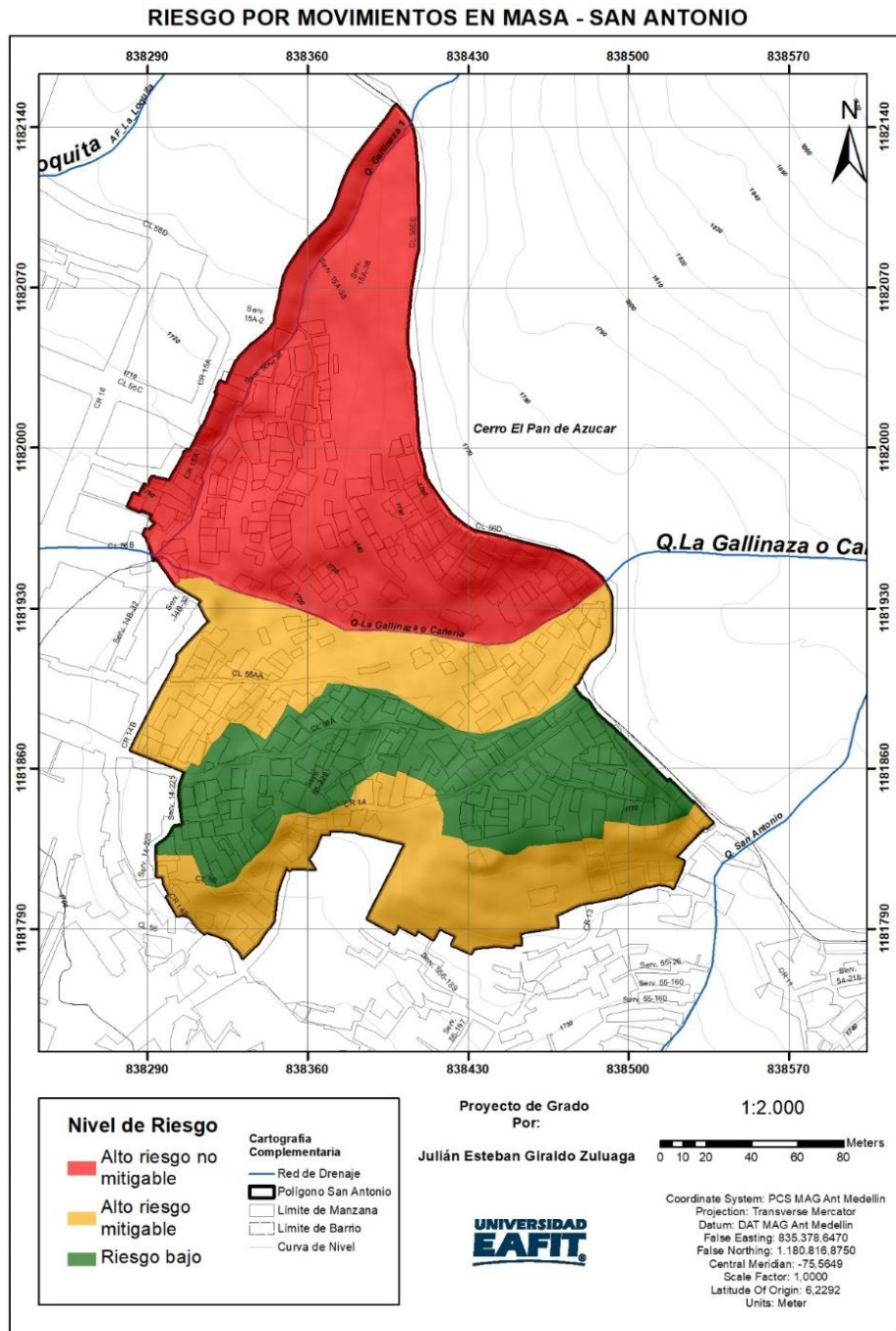


Figura 40. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono San Antonio M. EAFIT

15.5.POLÍGONO SAN ANTONIO, RIESGO POR INUNDACIÓN

15.5.1. Riesgo alto mitigable

En esta categoría se localizan todas las zonas alrededor del cauce de la quebrada La Gallinaza y La Gallinaza 1, las cuales se encuentran en la zona centro y zona noroccidental del polígono San Antonio, afectando todas las viviendas que se encuentran entre las calles 56EE 56 B. Se presentan valores de velocidad promedio muy altas de 6 (m/s), profundidad de la lámina de agua promedio de 0.7 metros. Posee un área de 0.2 ha y representa 5.4% de la zona de estudio (Figura 41).

15.5.2. Riesgo bajo

Son aquellas áreas localizadas sobre las zonas más alejadas a la inundación producto de la mancha de retorno de 100 años. Se presenta de este a oeste sobre la quebrada Gallinaza 1. Además, valores de velocidad promedio de 0.6 (m/s) y profundidad promedio de 0.3 metros. Posee un área de 0.01 ha y representa el 0.41% de la zona de estudio (Figura 41).

RIESGO POR INUNDACIÓN- SAN ANTONIO

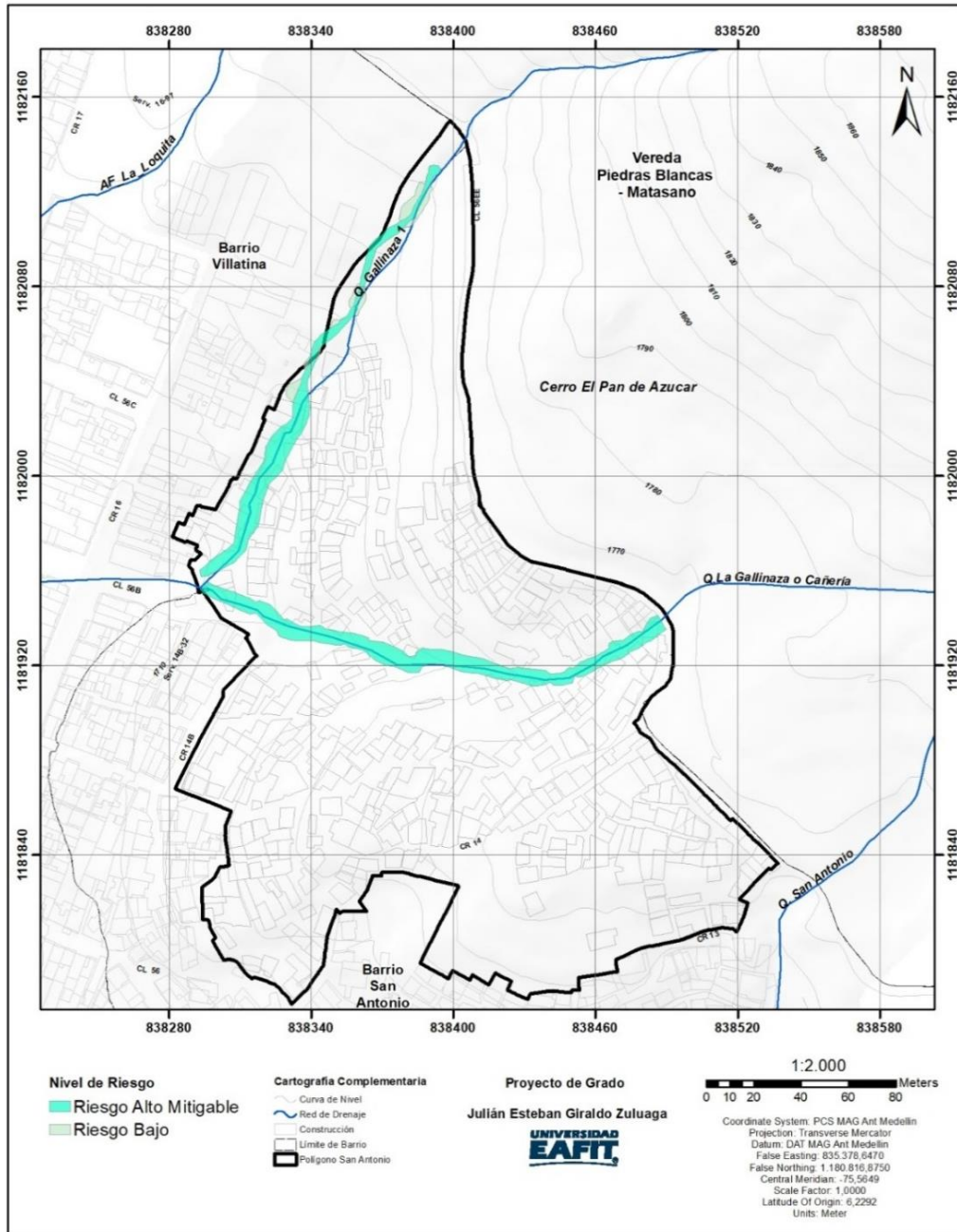


Figura 41. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio M.EAFIT

15.6.POLÍGONO PINARES DE ORIENTE, RIESGO POR MOVIMIENTO EN MASA

Como se mencionó anteriormente el polígono Pinares De Oriente hace parte del denominado tipo III, el cual tiene información insuficiente para obtener los parámetros de profundidad de los movimientos, velocidad y magnitud de la amenaza, por medio de la realización de 7 perfiles para adquirir los insumos necesarios para finalmente obtener la zonificación del riesgo por polígono.

En el área de estudio se identificaron cuatro categorías de riesgo, alto no mitigable, alto mitigable, medio y bajo, los cuales se describen a continuación. En el polígono Pinares De Oriente predomina el nivel de riesgo bajo.

15.6.1. Riesgo alto no mitigable

En el análisis de riesgo por polígono que parte del análisis de la amenaza y la comparación con los resultados de factor de seguridad estático, probabilidad de falla, pendiente (β) y ángulo de fricción interna (Φ), se determina que la zona de riesgo alto por estabilidad corresponde al sector comprendido entre la Calle 56EE al norte con prolongación al oeste, la servidumbre 16-97 al sur, la Carrera 17 al oeste. Posee un área de 0.36 ha que representa el 10.28 % de la zona de estudio.

Se clasifica como de alto riesgo no mitigable, porque esta zona fue afectada por el movimiento en masa de 1987 en la ladera nororiental del cerro pan de azúcar en el barrio Villatina, que generó grandes pérdidas materiales y de vidas. (Figura 42)

15.6.2. Riesgo alto mitigable

En el sector definido como de riesgo alto mitigable, se determina dos zonas principales: La Primera Zona se localiza al norte del polígono y corresponde al sector comprendido entre la Carrera 17B al oeste y la quebrada La Loquita 1 con prolongación al norte. La Segunda Zona se localiza en la parte central y corresponde al sector comprendido entre la Calle 56EE al norte y las servidumbres 56D-27 y 56E-62. Se presentan valores de factor de seguridad menores a 1.2, la magnitud de la amenaza alta y pendientes mayores de 30°. Posee un área de 1.09 ha que representa el 31.14 % de la zona de estudio. (Figura 42)

15.6.3. Riesgo medio

Como zona de riesgo medio se determinan dos zonas principales, la primera zona se localiza al noreste del polígono y corresponde al sector comprendido entre la Calle 56EE al sur y el costado este de la quebrada La Loquita 1 y la segunda zona se localiza en la parte central y corresponde al sector comprendido entre la Carrera 17B al este y la quebrada La Loquita al oeste. Se presentan valores de factor de seguridad entre 1.2 y 1.5, la magnitud de la amenaza es media y las pendientes muy altas mayores de 30° en la primera zona y para la segunda pendientes moderadas entre 5° y 15°. Posee un área de 0.44 ha que representa el 12.61% de la zona de estudio. (Figura 42)

15.6.4. Riesgo bajo

Las zonas de riesgo bajo coinciden con las identificadas como de amenaza baja y ocupadas con viviendas, extendiéndose en gran parte al centro del polígono, en el sector comprendido entre la Carrera 17B al oeste, la Calle 56EE al sur y la Carrera 17, Carrera 17AA al este, comprende los lugares del centro educativo, de salud, recreación y deportes y la terminal de transportes ubicados en el noroeste del polígono. Se presentan valores de factores de seguridad mayor a 1.5, la magnitud de la amenaza es baja y las pendientes moderadas entre 5° y 15°. Posee un área de 1.59 ha que representa el 45.62% de la zona de estudio. (Figura 42)

RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA - PINARES DE ORIENTE

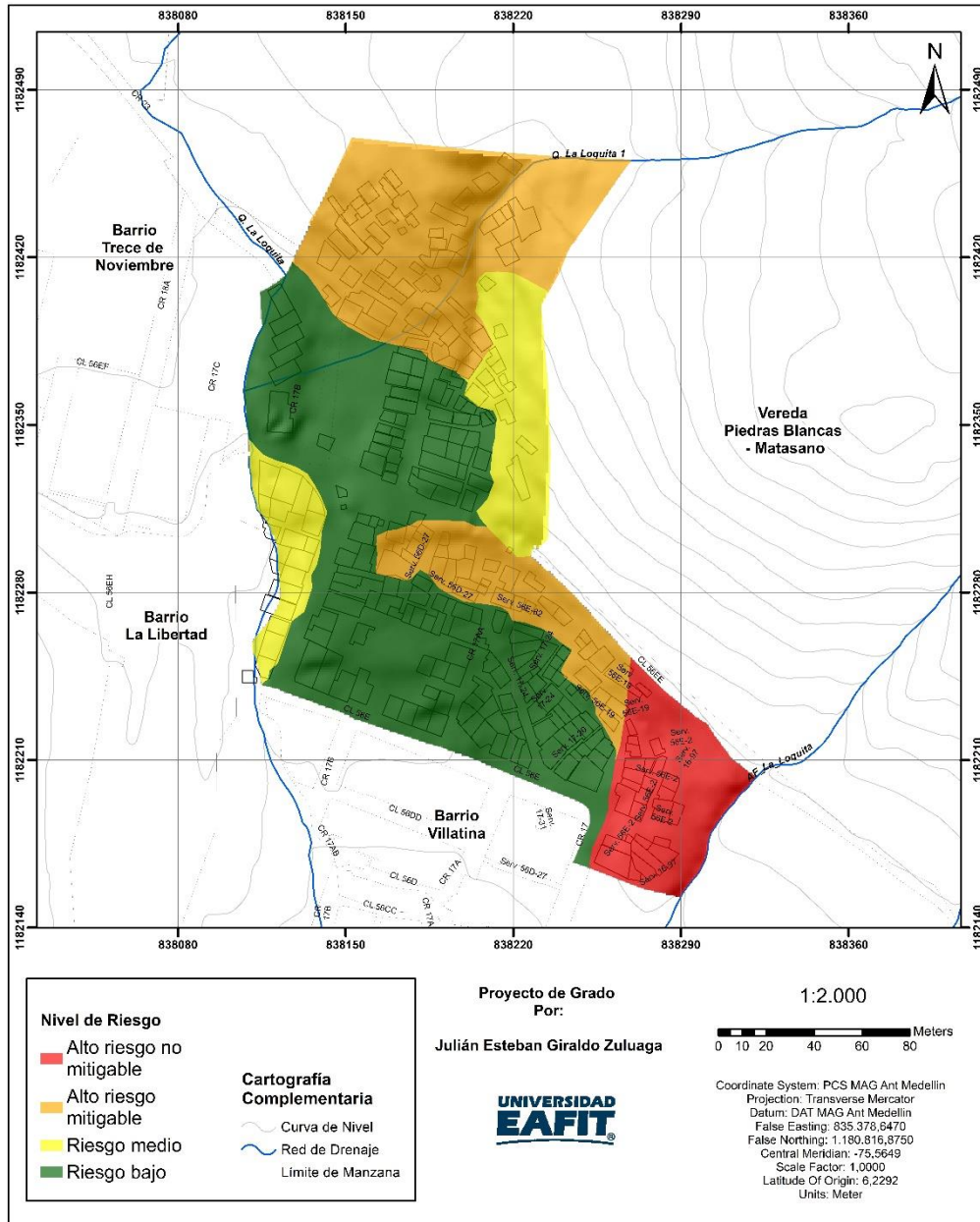


Figura 42. Mapa de riesgo por movimientos en masa polígono Pinares de Oriente M. EAFIT

15.7.POLÍGONO PINARES DE ORIENTE, RIESGO POR INUNDACIÓN

15.7.1. Riesgo alto no mitigable

En esta categoría se localizan todas las zonas alrededor del cauce de la quebrada La Loquita 1, esta encuentra sobre el sector norte con prolongación hacia el sur del polígono extendiéndose sobre la Carrera 17B. Se presentan valores de velocidad promedio de 5 (m/s) y profundidad promedio de la lámina de agua 0.6 metros. Posee un área de 0.23 ha que representa el 6.61% de la zona de estudio. (Figura 43)

15.7.2. Riesgo alto mitigable

En esta categoría se localizan las zonas alrededor del cauce de la quebrada La Loquita, esta categoría se encuentra sobre el sector oeste del polígono. Se presentan valores de velocidad promedio de 5 (m/s) y profundidad promedio de la lámina de agua 0.9 metros. Posee un área de 0.11 ha que representa el 3.35% de la zona de estudio. (Figura 43)

15.7.3. Riesgo medio

Se zonifico un sector en la quebrada La Loquita, esta categoría se localiza en el noroeste del polígono hacia la parte alta de la quebrada. Se presentan valores de velocidad promedio de 0.4 (m/s) y profundidad promedio de la lámina de agua de 0.3 metros. Posee un área de 0.06 ha que representa el 1.73% de la zona de estudio. (Figura 43)

15.7.4. Riesgo bajo

Son aquellas áreas localizadas sobre las zonas más alejadas a la inundación producto de la mancha de retorno de 100 años. Se presentan dos sectores, el primero sobre la parte central del polígono que comprende la Carrera 17B en la quebrada La Loquita 1 y un segundo sector en el sur del polígono que se extiende a lo largo de la Calle 56E con prolongación al este. Se presentan valores de velocidad promedio de 0.6 (m/s) y profundidad promedio de la lámina de agua de 0.05 metros. Posee un área de 0.12 ha que representa el 3.58% de la zona de estudio. (Figura 43)

RIESGO POR INUNDACIÓN - PINARES DE ORIENTE

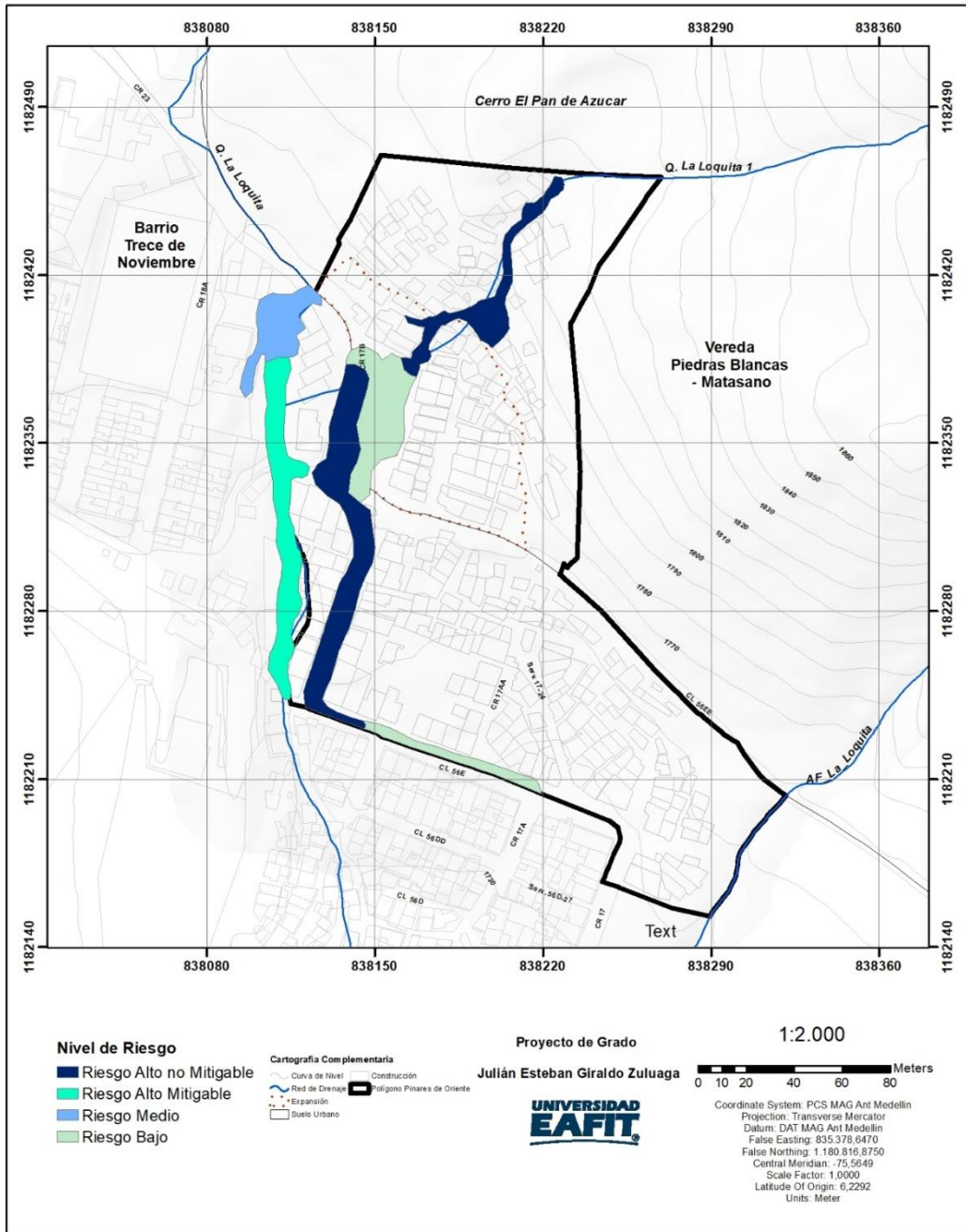


Figura 43. Mapa de riesgo por inundación polígono Pinares de Oriente M. EAFIT

16. COMPARACIÓN Y RESULTADO DE ZONIFICACIÓN DEL RIESGO POR POLÍGONO ENTRE LA METODOLOGÍA EMPLEADA POR SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA Y LA METODOLOGÍA EAFIT

16.1. Polígono Esfuerzos de Paz, riesgo por movimientos en masa

De acuerdo con capítulo anterior, en el cual se mostraron las metodologías desarrolladas tanto por SIGA I.C como por la Universidad EAFIT para la obtención del riesgo, en este se pretende comparar dichas zonificaciones, corroborando en que zonas de afectación coinciden y en cuales presentan una contradicción. Es importante mencionar que el nivel de riesgo de acuerdo a SIGA I.C está dado sobre las estructuras, mientras que de acuerdo a EAFIT está dado sobre el polígono. (Figura 44)

Para el polígono Esfuerzos de Paz se puede evidenciar que el riesgo alto no mitigable, mediante la metodología empleada por SIGA I.C. con respecto a la metodología EAFIT, se ajusta en la zona norte del polígono de estudio, por su parte en la zona suroeste presenta algunas estructuras por fuera de la mancha de riesgo alto no mitigable y ubicadas sobre el riesgo alto mitigable. En la zona sureste se observa que las estructuras en riesgo alto no mitigable se encuentran en una zona donde el polígono presenta un riesgo bajo. (Figura 44)

Para el riesgo alto mitigable, ubicado en la zona este, se puede observar que presenta algunas variaciones y no se ajusta completamente, ya que algunas estructuras con dicha característica, se encuentran sobre zonas de alto riesgo no mitigable y riesgo bajo. Por su parte en la zona norte y noroeste se ajusta en gran medida a excepción de algunas estructuras situadas sobre riesgo medio. (Figura 44)

En el riesgo medio se presentan algunas diferencias, se puede observar en la zona sureste, como estructuras con estas características se ubican en zonas de riesgo alto mitigable y riesgo bajo. (Figura 44). También se presentan estructuras correspondientes a este nivel de riesgo en la zona noroeste y dispersas a lo largo del área de estudio, ubicándose en polígonos de riesgo alto y alto no mitigable. (Figura 44)

Por su parte para el riesgo bajo en la zona noreste se observa congruencia entre estructuras y nivel de riesgo, a excepción de algunas estructuras sobre nivel de riesgo alto mitigable y alto no mitigable. Para la zona oeste y noroeste se observa gran diferencia, ya que las estructuras en

riesgo bajo en su mayoría se ubican en zonas de riesgo alto mitigable y de riesgo medio. (Figura 44)

Comparación de Metodología EAFIT con Metodología SIGA I.C

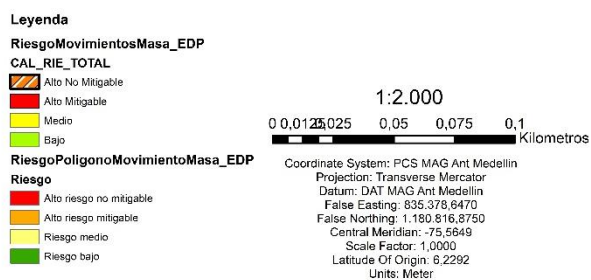
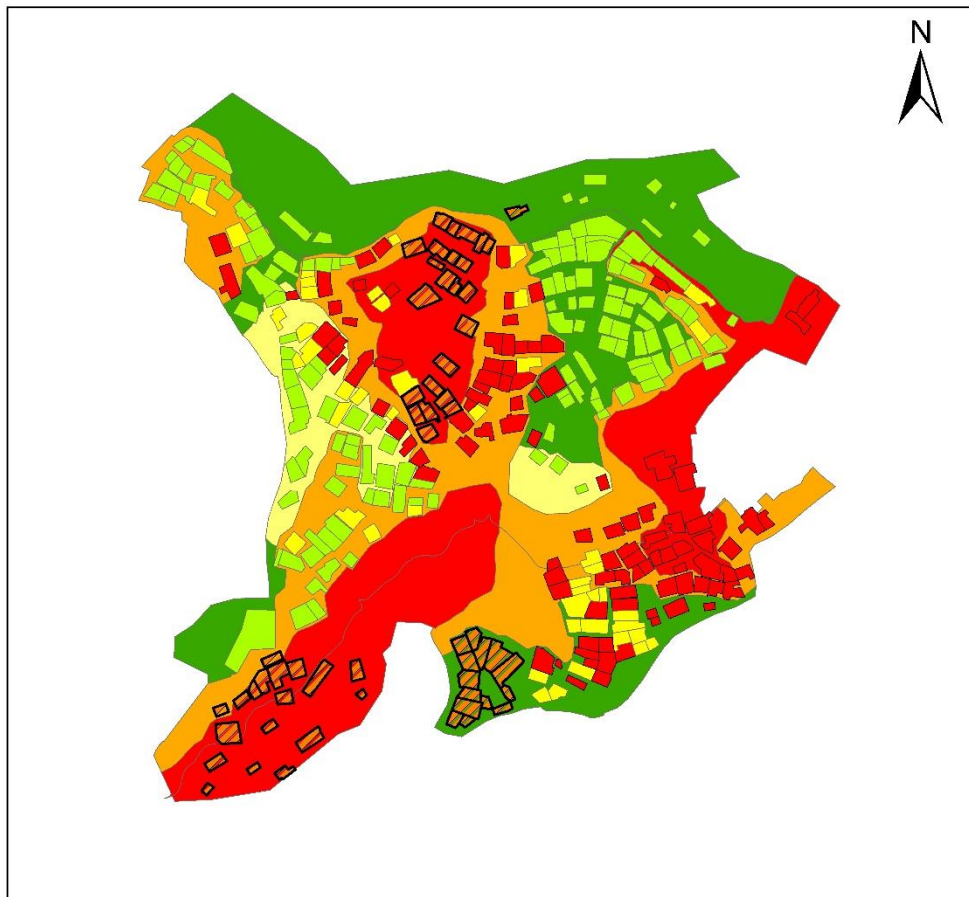


Figura 44. Comparación de Metodología EAFIT con Metodología SIGA, polígono Esfuerzos de Paz

16.2. Comparación Esfuerzos de Paz, riesgo por inundación

Para el Polígono Esfuerzos de Paz se puede evidenciar que el riesgo alto no mitigable por inundación mediante la metodología empleada por SIGA I.C. con respecto a la metodología EAFIT, se ajusta en la parte alta de la quebrada La Castro 1, y alrededor de su cauce, dicha quebrada está ubicada en la zona este del polígono; para La Castro 2 se presentan algunas diferencias, mientras las estructuras presentan un nivel de riesgo algo no mitigable, la mancha de inundación presenta un nivel alto mitigable tanto en su parte alta como alrededor de su cauce, está quebrada se encuentra localizada en la zona oeste del área de estudio. Por su parte en la quebrada San Antonio ubicada al noroeste de la zona de estudio las estructuras presentan un nivel de riesgo alto no mitigable mientras la mancha presenta alto mitigable. Finalmente, la quebrada La Castro, ubicada al este presenta estructuras en riesgo alto no mitigable, las cuales se ajustan al nivel de riesgo de la mancha del polígono de estudio (Figuras 45 y 46)

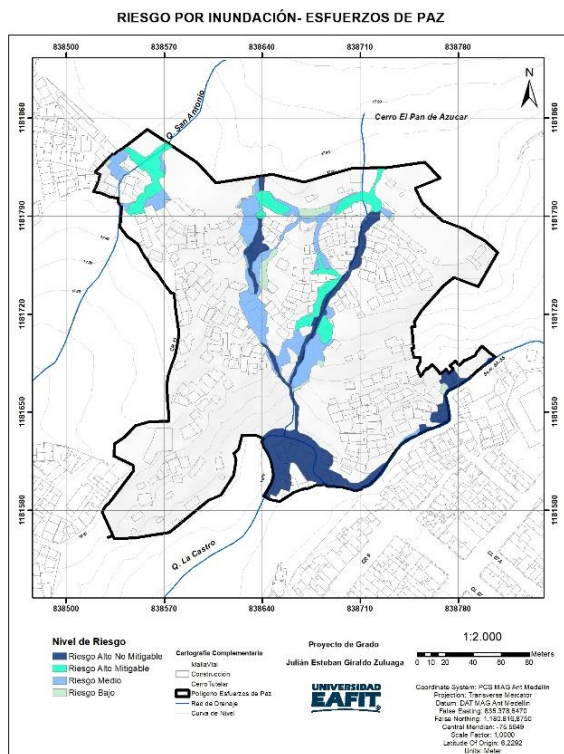


Figura 45. Mapa de riesgo por inundación polígono Esfuerzos de Paz M.EAFIT

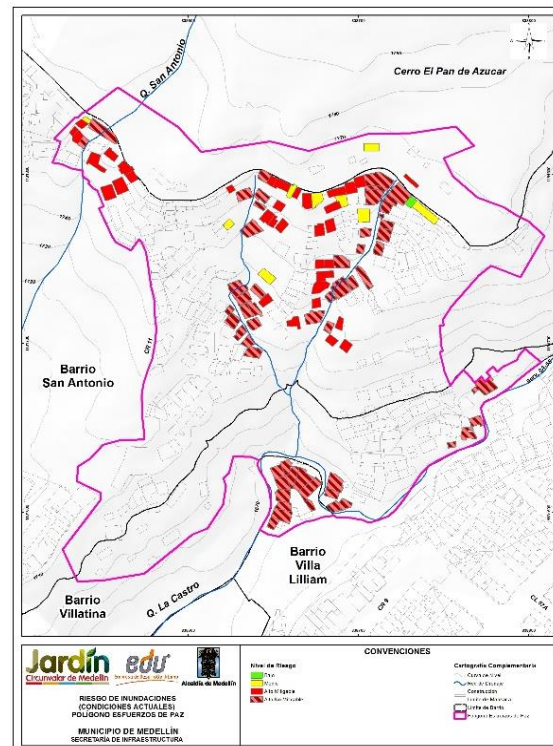


Figura 46. Mapa de riesgo por inundación polígono Esfuerzos de Paz SIGA I.C. 2016.

16.3. Comparación San Antonio, riesgo por movimientos en masa

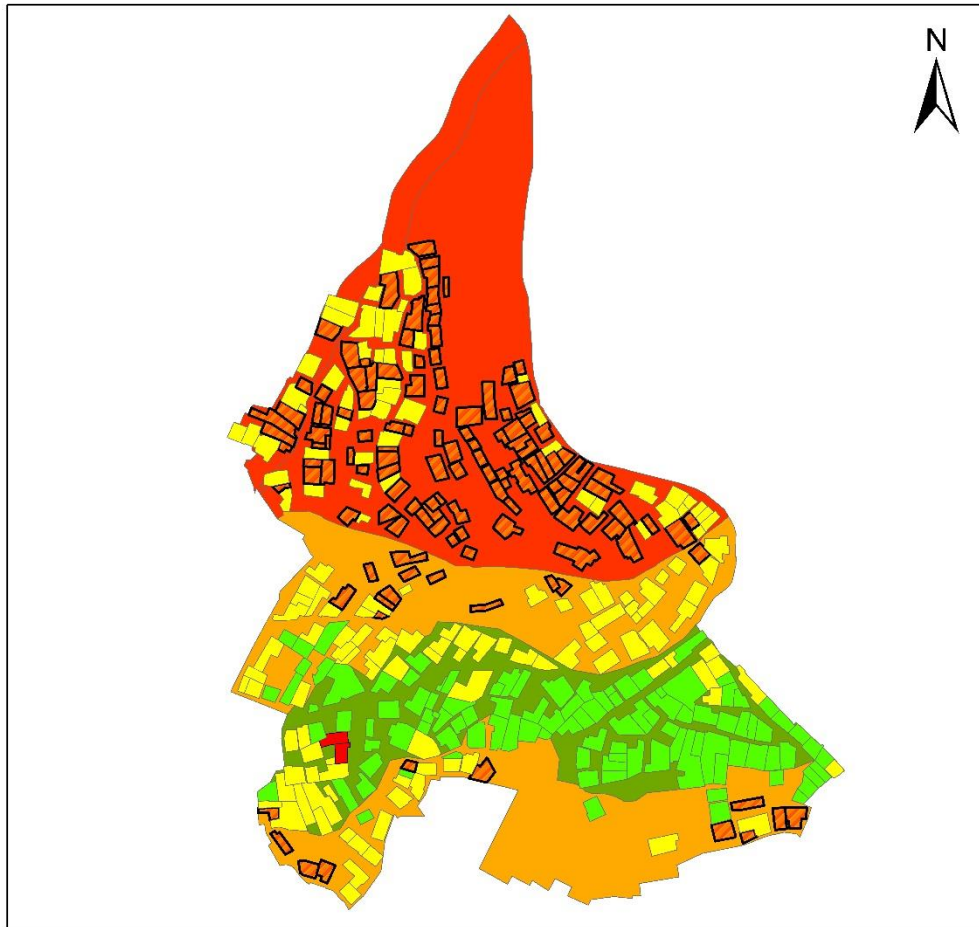
Para el polígono San Antonio se puede evidenciar que el riesgo alto no mitigable, mediante la metodología empleada por SIGA I.C. con respecto a la metodología EAFIT, se ajusta en la zona norte del polígono de estudio. Por su parte en la zona suroeste y centro presenta algunas estructuras con dichas características de riesgo por fuera de la mancha de riesgo alto no mitigable y ubicadas sobre el riesgo alto mitigable. (Figura 47)

Para el riesgo alto mitigable, ubicado en la zona suroeste, se puede observar que se presentan solo dos estructuras con esta característica y las cuales están ubicadas sobre zonas de riesgo bajo. (Figura 47)

En el riesgo medio se presentan algunas diferencias, se puede observar en la zona norte y centro como estructuras con estas características se ubican en zonas de riesgo alto no mitigable y riesgo alto mitigable. En la zona suroeste del polígono se presentan estructuras de riesgo medio sobre zonas de riesgo bajo y alto mitigable, sin embargo, algunas estructuras con este nivel de riesgo se encuentran dispersas a lo largo de la zona de estudio, ubicándose en zonas de riesgo alto y alto no mitigable. (Figura 47)

Por su parte para el riesgo bajo, en la zona sur del polígono se observa un ajuste entre estructuras y nivel de riesgo, a excepción de algunas estructuras sobre nivel de riesgo alto mitigable. (Figura 47)

Comparacion de Metodología EAFIT con Metodología SIGA I.C






Leyenda

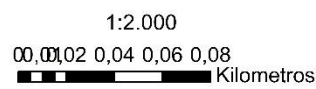
RiesgoMovimientosMasa_SAT

CAL_RIE_TOTAL

-  Alto No Mitigable
-  Alto Mitigable
-  Medio
-  Bajo

RiesgosPoligonoMovimientoMasa_SAT

-  Alto riesgo no mitigable
-  Alto riesgo mitigable
-  Riesgo bajo



Coordinate System: PCS MAG Ant Medellin
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: DAT MAG Ant Medellin
 False Easting: 835.378,6470
 False Northing: 1.180.816,8750
 Central Meridian: -75,5649
 Scale Factor: 1,0000
 Latitude Of Origin: 6,2282
 Units: Meter

Figura 47. Comparación de Metodología EAFIT con Metodología SIGA I.C., polígono San Antonio

16.4. Comparación San Antonio, riesgo por inundación

Para el Polígono San Antonio se puede evidenciar que el riesgo alto no mitigable por inundación, mediante la Metodología empleada por SIGA I.C. con respecto a la metodología EAFIT; para la quebrada La Gallinaza, no se ajusta en la parte alta ni a lo largo de su cauce, ya que la mancha presenta un nivel de riesgo alto mitigable, dicha quebrada está ubicada en el centro del polígono. Por su parte para la quebrada La Gallinaza 1, las estructuras presentan un nivel de riesgo alto no mitigable mientras la mancha de inundación un nivel de riesgo alto mitigable, dicha quebrada está localizada en la zona oeste del área de estudio. (Figuras 48 y 49)

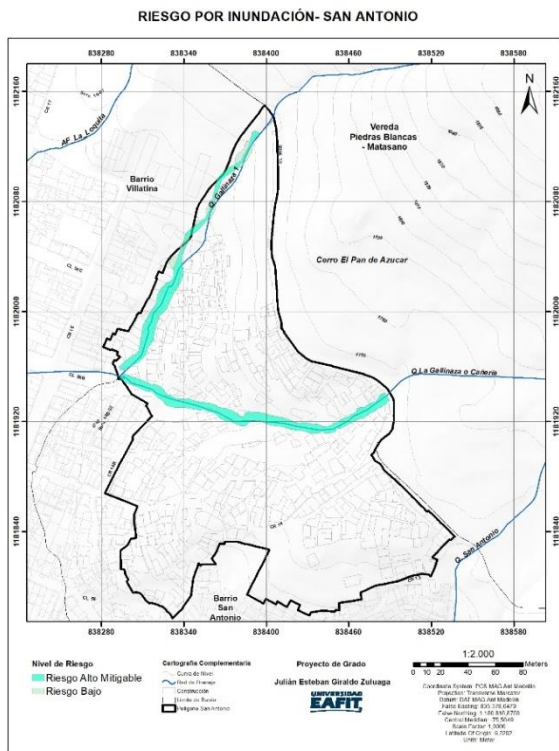


Figura 48. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio M. EAFIT

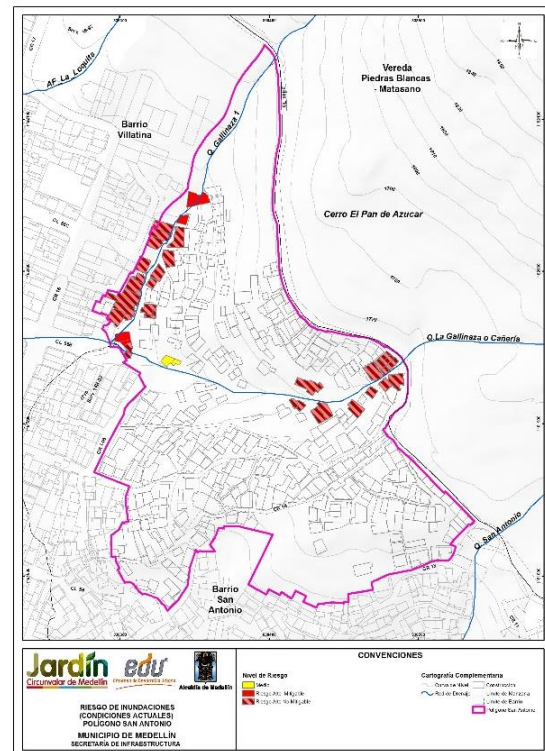


Figura 49. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio SIGA I.C. 2016

16.5.Comparación Pinares de Oriente, riesgo por movimientos en masa

Para el polígono Pinares de Oriente se puede evidenciar que el riesgo alto no mitigable, mediante la Metodología empleada por SIGA I.C. con respecto a la metodología EAFIT, presenta diferencias en la zona norte del polígono de estudio, ya que se encuentra sobre zonas de riesgo mitigable y riesgo medio. (Figura 50)

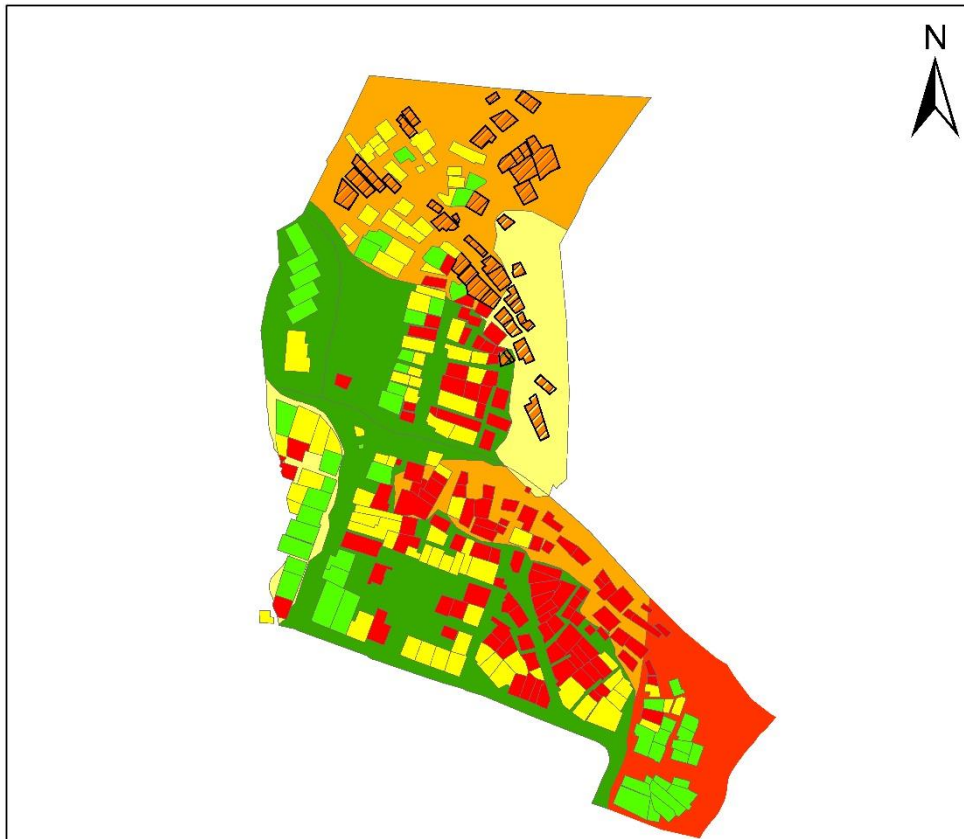
Para el riesgo alto mitigable, ubicado en la zona norte, se puede observar que presenta algunas variaciones y no se ajusta, ya que algunas estructuras con dicha característica, se encuentran sobre zonas de alto riesgo medio y riesgo bajo. Por su parte en la zona sur y se presenta la misma situación y la mayoría de las estructuras se encuentran sobre riesgo bajo. (Figura 50)

En el riesgo medio se presentan algunas diferencias, se puede observar en la zona norte, como estructuras con estas características se ubican en zonas de riesgo alto mitigable y riesgo bajo. Por su parte en la zona sur del polígono se presentan estructuras sobre nivel del riesgo bajo, y unas pocas que coinciden con este nivel de riesgo en la zona suroeste. (Figura 50)

Por su parte para el riesgo bajo, en la zona norte se observa una gran diferencia entre estructuras y nivel de riesgo, ya que estas se encuentran sobre nivel de riesgo alto mitigable. (Figura 50).

Para la zona sureste también se observa cambios, ya que las estructuras en riesgo bajo en su mayoría se ubican en zonas de riesgo alto no mitigable. (Figura 50)

Comparación de Metodología EAFIT con Metodología SIGA I.C



Leyenda

RiesgoMovimientosMasa_PDO

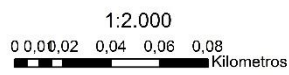
CAL_RIE_TOTAL

-  Alto No Mitigable
-  Alto Mitigable
-  Medio
-  Bajo

RiesgoPoligonoMovimientoMasa_PDO

Riesgo

-  Alto riesgo no mitigable
-  Alto riesgo mitigable
-  Riesgo medio
-  Riesgo bajo



Coordinate System: PCS MAG Ant Medellin
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: DAT MAG Ant Medellin
 False Easting: 835 378,6470
 False Northing: 1 180.816,8750
 Central Meridian: -75,5649
 Scale Factor: 1,0000
 Latitude Of Origin: 6,2292
 Units: Meter

Figura 50. Comparación de Metodología EAFIT con Metodología SIGA, polígono Pinares de Oriente

16.6. Comparación Pinares de Oriente, riesgo por inundación

Para el Polígono Pinares de Oriente se puede evidenciar que el riesgo alto no mitigable por inundación mediante la metodología empleada por SIGA I.C. con respecto a la metodología EAFIT, se ajusta en la parte alta de la quebrada La Loquita y alrededor de su cauce, dicha quebrada está ubicada es la zona oeste del polígono; para La Loquita 1 se presentan algunas diferencias, mientras las estructuras presentan un nivel de riesgo alto mitigable, la mancha de inundación presenta un nivel alto no mitigable tanto en la parte alta y a lo largo de su cauce. Está quebrada se encuentra localizada en la zona noroeste y atraviesa completamente el área de estudio en dirección NE-SW. (Figuras 51 y 52)

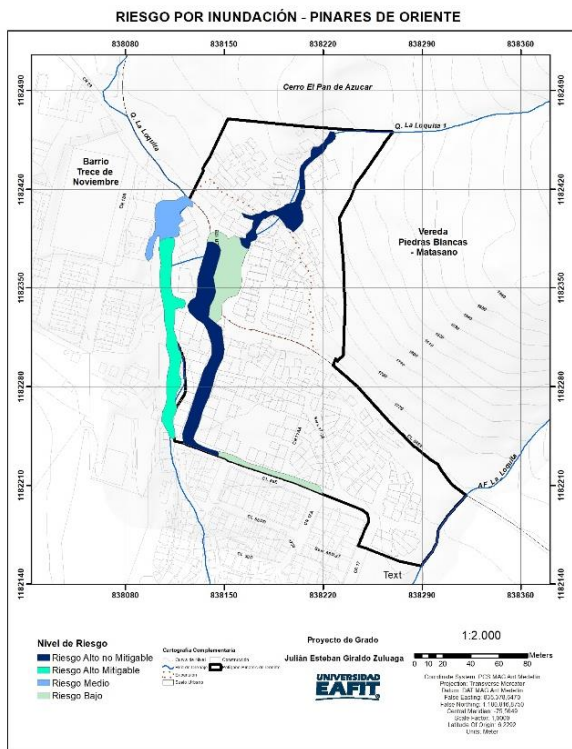


Figura 51. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio M. EAFIT

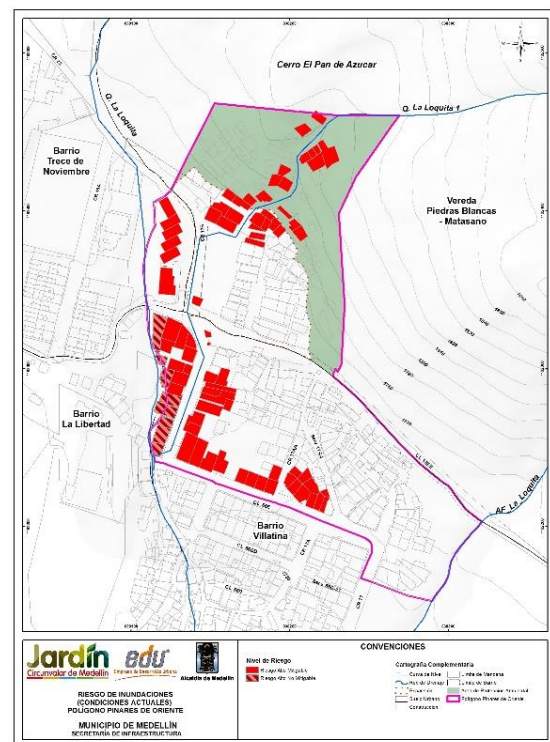


Figura 52. Mapa de riesgo por inundación polígono San Antonio SIGA I.C. 2016.

16.7. Comparación de la zonificación del riesgo por polígono con la Metodología EAFIT y la zonificación de riesgo individual y el nivel de amenaza obtenido por SIGA I.C

16.7.1. Esfuerzos de Paz

A continuación, se realiza una comparación entre los niveles de riesgo obtenidos mediante la metodología EAFIT y los resultados de nivel de riesgo y nivel de amenaza obtenidos por SIGA I.C. Se relaciona el riesgo por polígono contra el riesgo por construcción y nivel de amenaza para cada zona. Cabe destacar que en las zonas de riesgo EAFIT se presentan construcciones con niveles de riesgo diferentes, sin embargo, solo se realiza la comparación de niveles iguales.

Tabla 13. Comparación nivel Riesgo Alto Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto Mitigable y amenaza SIGA Ingeniería y Consultoría Polígono Esfuerzos de Paz

Zonas	Polígono Esfuerzos de Paz		
	Nivel de amenaza	Riesgo Alto Mitigable SIGA	Riesgo Alto Mitigable EAFIT
1	Amenaza baja	Riesgo bajo(16)	Riesgo alto mitigable
2	Amenaza baja	Riesgo Alto no mitigable (25)	Riesgo alto mitigable

Tabla 14. Comparación nivel Riesgo Medio EAFIT contra nivel de Riesgo Medio y amenaza SIGA Ingeniería y Consultoría Polígono Esfuerzos de Paz

Zonas	Polígono Esfuerzos de Paz		
	Nivel de amenaza	Riesgo Medio SIGA	Riesgo Medio EAFIT
1	Amenaza baja	Riesgo medio(7)	Riesgo medio
2	Amenaza baja	Riesgo bajo (3)	Riesgo medio

Tabla 15. Comparación nivel Riesgo Bajo EAFIT contra nivel de Riesgo Bajo y amenaza SIGA Ingeniería y Consultoría Polígono Esfuerzos de Paz

Zonas	Polígono Esfuerzos de Paz		
	Nivel de amenaza	Riesgo Bajo SIGA	Riesgo Bajo EAFIT
1	Amenaza baja	Riesgo bajo(9)	Riesgo bajo
2	Amenaza baja	Alto no mitigable (14)	Riesgo bajo
3	Amenaza alta	N/A	Riesgo bajo

Tabla 16. Comparación nivel Riesgo Alto No Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto No Mitigable y amenaza SIGA Ingeniería y Consultoría Polígono Esfuerzos de Paz

Zonas	Polígono Esfuerzos de Paz		
	Nivel de amenaza	Riesgo Alto No Mitigable SIGA	Riesgo Alto No Mitigable EAFIT
1	Amenaza alta	Riesgo alto no mitigable (18)	Riesgo alto no mitigable
2	Amenaza media	Riesgo Alto mitigable (14)	Riesgo alto no mitigable
3	Amenaza alta	Riesgo Alto no mitigable (23)	Riesgo alto no mitigable

16.7.2. San Antonio

Tabla 17. Comparación nivel Riesgo Alto No Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto No Mitigable y amenaza SIGA I.C. Polígono San Antonio

Zonas	Polígono San Antonio		
	Nivel de amenaza	Riesgo Alto No Mitigable SIGA	Riesgo Alto No Mitigable EAFIT
1	Amenaza baja	Riesgo alto no mitigable(110)	Riesgo alto no mitigable

Tabla 18. Comparación nivel Riesgo Alto Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto Mitigable y amenaza SIGA I.C. Polígono San Antonio

Zonas	Polígono San Antonio			
	Nivel de amenaza		Riesgo Alto Mitigable SIGA	Riesgo Alto Mitigable EAFIT
1	Amenaza media	Amenaza alta	Riesgo alto mitigable (0)	Riesgo alto mitigable
2	Amenaza baja		Alto mitigable (0)	Riesgo alto mitigable

Tabla 19. Comparación nivel Riesgo Bajo EAFIT contra nivel de Riesgo Bajo y amenaza SIGA I.C. Polígono San Antonio

Zonas	Polígono San Antonio		
	Nivel de amenaza	Riesgo Bajo SIGA	Riesgo Bajo EAFIT
1	Amenaza baja	Riesgo bajo(82)	Riesgo bajo

16.7.3. Pinares de Oriente

Tabla 20. Comparación nivel Riesgo Alto No Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto No Mitigable y amenaza SIGA I.C. Polígono Pinares de Oriente

Zonas	Polígono Pinares de Oriente		
	Nivel de Amenaza	Riesgo Alto No Mitigable SIGA	Riesgo Alto No Mitigable EAFIT
1	Amenaza baja	Riesgo alto no mitigable (0)	Riesgo alto no mitigable

Tabla 21. Comparación nivel Riesgo Alto Mitigable EAFIT contra nivel de Riesgo Alto Mitigable y amenaza SIGA I.C. Polígono Pinares de Oriente

Zonas	Polígono Pinares de Oriente		
	Nivel de Amenaza	Riesgo Alto Mitigable SIGA	Riesgo Alto Mitigable EAFIT
1	Amenaza media	Amenaza alta	Riesgo alto mitigable (4)
2	Amenaza media	Alto mitigable (31)	Riesgo alto mitigable

Tabla 22. Comparación nivel Riesgo Medio EAFIT contra nivel de Riesgo Medio y amenaza SIGA I.C. Polígono Pinares de Oriente

Zonas	Polígono Pinares de Oriente		
	Nivel de Amenaza	Riesgo Medio SIGA	Riesgo Medio EAFIT
1	Amenaza media	Riesgo medio (0)	Riesgo medio
2	Amenaza baja	Alto medio (5)	Riesgo medio

Tabla 23. Comparación nivel Riesgo Bajo EAFIT contra nivel de Riesgo Bajo y amenaza SIGA I.C. Polígono Pinares de Oriente

Zonas	Polígono Pinares De Oriente		
	Nivel de Amenaza	Riesgo Bajo SIGA	Riesgo Bajo EAFIT
1	Amenaza baja	Riesgo bajo (16)	Riesgo bajo

17. DISCUSIÓN

Basados en la comparación realizada entre los niveles de amenaza y de riesgo por construcción presentados por la metodología SIGA I.C., y contrastados los niveles de riesgo por polígono obtenidos por la metodología EAFIT, es posible evidenciar que no existe correspondencia en cuanto al grado de amenaza frente a los niveles de riesgo en algunas zonas evaluadas.

De forma particular, para el polígono Esfuerzos de Paz se presentan áreas con amenaza baja y media, en los cuales su nivel de riesgo es alto no mitigable y alto mitigable, siendo un resultado incongruente. (Tabla 13) (Tabla 16).

Por otra parte, para el polígono San Antonio se clasifican áreas extensas con amenaza baja y nivel de riesgo alto no mitigable, (Tabla 17), mientras que los sectores que presentan amenaza baja y media no corresponden con su nivel de riesgo, el cual es alto mitigable (Tabla 18).

Con respecto al polígono Pinares de Oriente se repite el patrón presentado por los polígonos anteriores, y se evidencian amplios sectores en los cuales su amenaza es baja y su respectivo nivel de riesgo es alto no mitigable (Tabla 20). A su vez, dicho polígono posee zonas con amenaza media y niveles de riesgo alto mitigable (Tabla 21).

Lo anterior, obedece a que en la metodología SIGA I.C se le otorgó el mismo peso a la amenaza y a la vulnerabilidad.

Para evaluar el riesgo mediante la metodología SIGA I.C, se debe tener en cuenta las siguientes variables: la probabilidad de la amenaza, la probabilidad de que la amenaza afecte una propiedad, la vulnerabilidad física y el valor de la propiedad, sin embargo, no se tiene en cuenta la intensidad del fenómeno. Por su parte, la metodología aplicada por la Universidad EAFIT integra la magnitud de la amenaza, que depende de la velocidad y la profundidad, con la probabilidad de que se presente el fenómeno que obedece a el análisis de estabilidad.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, al no tener en cuenta la intensidad del fenómeno en la metodología SIGA I.C, el modelo correría el riesgo de no tener los resultados esperados, independientemente del tipo de vivienda o estructura que se encuentre, si el movimiento presenta tanto profundidades altas como velocidades considerables, dichas estructuras se verán afectadas.

Según la fórmula aplicada por SIGA I.C para la evaluación del riesgo, se puede determinar que en el modelo se le da igual importancia a la magnitud de la amenaza y a la vulnerabilidad, además se debe tener en cuenta que solo evaluaron la fragilidad, por lo tanto, si la vulnerabilidad es baja, siempre se obtendrá como resultado un riesgo bajo, independientemente de la magnitud de la amenaza, motivo por el cual se le debe dar más peso a la amenaza, dado que integra la velocidad y la profundidad con la probabilidad que se presente el fenómeno.

La fórmula aplicada por medio de la Metodología EAFIT para la evaluación del riesgo da mayor importancia y relevancia a la magnitud de la amenaza para la evaluación de los diferentes niveles de riesgo; la finalidad de este, se debe a que al darle mayor importancia a la vulnerabilidad afecta directamente, en que, en los diferentes polígonos se encuentren estructuras con un nivel de riesgo diferente al que corresponde, también se presenta la posibilidad de encontrar estructuras con diferentes niveles de riesgo de manera aleatoria a lo largo de la zona de estudio.

Para la obtención del riesgo por polígono con base en la Metodología EAFIT, es determinante el cálculo de las velocidades, debido a que de estas depende la magnitud de la amenaza, la amenaza según los factores de seguridad y el índice de vulnerabilidad en edificaciones. Por otra parte, es muy importante la realización de los perfiles de estabilidad, ya que estos perfiles permitieron hallar las pendientes en los diferentes polígonos de estudio, insumo necesario para la aplicación de la metodología.

Para el polígono Esfuerzos de Paz, en cual se presentan unas estructuras en riesgo alto no mitigable al margen derecho de la quebrada La Castro, es importante aclarar que a pesar de que en esta zona la amenaza es baja, el riesgo se obtuvo por torrencialidad, arrojando como resultado dicho nivel de riesgo (Figura 44)

Con respecto al polígono San Antonio, se presenta en su zona norte estructuras con nivel riesgo medio, sobre una zona de riesgo alto no mitigable, esta condición se da, debido a que este sector del polígono hace parte del suelo de protección y pertenece al Campo Santo de Villatina. (Figura 47)

En el polígono Pinares de Oriente en la zona suroeste, las estructuras presentan un nivel de riesgo bajo, pero se ubican sobre riesgo alto no mitigable, esto ocurre debido a los valores del factor seguridad para esta zona, los cuales oscilan entre 0.5 y 1.2. Por otra parte, en la zona media se presentan estructuras de riesgo medio, sobre nivel de riesgo bajo, esto se da ya que la amenaza en esta zona del polígono es baja. (Figura 50)

Para el riesgo por inundaciones, los diferentes niveles de riesgo fueron similares en la mayoría de las zonas de acuerdo a las metodologías comparadas, este resultado se presenta debido a que las metodologías para la obtención de este riesgo son similares, en este caso y según la comparación hecha, presentaría variación en el alcance de las manchas.

18. CONCLUSIONES

La comparación entre las metodologías SIGA I.C y EAFIT, de acuerdo a los resultados demuestra que realizar la zonificación por elementos expuestos es importante, sin embargo, la zonificación por polígono es más eficiente de cara a la planeación del ordenamiento del territorio.

Basado en el estudio realizado por SIGA I.C., se logró obtener cierta cantidad de insumos (factores de seguridad, ángulo de fricción interna, perfiles, profundidad de movimientos) para aplicar la metodología de zonificación de riesgo EAFIT.

De esta manera se obtuvo la zonificación de riesgo por polígono, con base en los estudios mencionados, y los diferentes niveles de riesgo (riesgo alto no mitigable, riesgo alto mitigable, riesgo medio, riesgo bajo) para los polígonos Esfuerzos de Paz, San Antonio y Pinares de Oriente.

Como se planteó en la hipótesis de este trabajo y de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede demostrar que la metodología implementada por la Universidad EAFIT (por polígono) es más eficiente y genera un menor grado de incertidumbre a la hora de determinar el riesgo, con respecto a la desarrollada por SIGA I.C (por construcción); ya que tiene en cuenta la intensidad de los fenómenos en la evaluación de la vulnerabilidad y no solo la fragilidad, así mismo la magnitud de la amenaza, además al realizar la zonificación por polígono se pueden generar obras de mitigación de manera integral para una zona.

Para la realización de zonificación de riesgo, el método por polígono resulta ser más eficiente que el método por estructuras, debido a que con el primero se logra planificar el ordenamiento de la ciudad, generar una intervención integral en las áreas afectadas, y relacionar de manera más práctica el costo beneficio de las obras de mitigación.

En la evaluación del riesgo por polígono, es de suma importancia analizar siempre la amenaza y los factores de seguridad, ya que estos ayudan a zonificar el riesgo de forma más precisa.

Es determinante en la evaluación del riesgo por polígono, no darle la misma importancia a la amenaza y a la vulnerabilidad, dado que independiente de la amenaza, si se presentan valores bajos de vulnerabilidad se obtendrá como resultado, niveles de riesgo bajo.

Dado que en la Metodología SIGA I.C las áreas de los niveles de riesgo están en función de las estructuras y la Metodología EAFIT en función de los polígonos, no es posible comparar las variaciones de los niveles de riesgo con base en esta característica.

Es importante a la hora de realizar estudios de zonificación de riesgo tener en cuenta la intensidad de los fenómenos, debido a que, si se presenta un movimiento profundo, independiente del tipo de construcción está se verá afectada.

De acuerdo a la comparación realizada en el capítulo 17.6, se puede evidenciar que en la metodología SIGA I.C no se muestra concordancia en algunas zonas donde el nivel de amenaza es alto y las construcciones presentan un nivel de riesgo bajo, así mismo zonas con nivel de amenaza bajo, presentan construcciones en riesgo al no mitigable riesgo alto.

19. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Medellín. (2014). *Revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín, Acuerdo 28 de 2014*. Medellín.
- AMVA. (2006). Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. *Informe Final para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.*, 745.
- AMVA. (2012). Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera, en el Valle de Aburrá. *Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá*.
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6(4), 189-236.
- Bernal, A., & Jaramillo, M. (1985). Estudio Geológico Geotécnico del área Medellín Aeropuerto José María Córdoba. En *Tesis de grado, Univ. Nacional, Fac. Minas*, (págs. pp 1-317). Medellín.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., & Salvati, P. (2002). A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural hazards and earth system science*, 2(1/2), 57-72.
- Case, J., Duran, L., López, A., & Moore, W. (1971). Tectonic investigations in western Colombia and Eastern Panamá. *Geological Society of America Bulletin* 82.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. . En *Landslide investigation and mitigation, TRB Special Report 247* (págs. pp. 36–75). Washington, DC: National Academy Press.
- DEACIVIL. (2014). Estudios de Microzonificación Geológico – Geotecnia, de Suelos, E Hidrológicos y Análisis de Estabilidad de Laderas para la Recuperación de Zonas de Riesgo en Sectores del Cerro Pan De Azúcar .
- Decreto 1626 de 2015. (s.f.). Procedimiento para las correcciones y precisiones de la cartografía oficial del Plan de Ordenamiento Territorial –POT-, la incorporación cartográfica de los resultados de los estudios de detalle y se asigna una función. Medellín, Colombia: Gaceta Oficial.
- Deere, D., & Patton, F. (1971). Slope stability in residual soils. In *Proc. 4th Pan-American Conf* (págs. Vol. 1, p. 92). SMFE.
- Fell, R., & Hartford, D. (1997). Landslide risk management, in *Landslide Risk Assessment. Cruden and Fell (eds.) Balkema*, Rotterdam: 51- 109.
- Gonzalez , H. (1980). Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). En *Boletín Geológico Volumen 23* (pág. Volumen 23). No 1. Ingeominas.
- Grosse, E. (1926). *Mapa geológico de la parte occidental de la cordillera central entre el río Arma y Sacaoyal. Escala 1:50000*. Berlin: El Terciario Carbonífero de Antioquia.
- IDEAM. (2014). *Modelación Hidrológica. Amenaza por inundaciones*. Recuperado el 31 de 10 de 2018, de INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES- IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>.
- INGEOMINAS. (2005). Mapa Geológico Plancha 147 Medellín Oriental, escala 1:50.000, Memoria explicativa. *Ingeominas* , 314p.
- Ley 1523 de 2012. (2012). Política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Bogota, Colombia: Ley 1523

- de 2012 , Política nacional de gestión del riesgo de desastres y se Diario Oficial 48411 de abril 24 de 2012.
- Li, Z., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, M., & Lacasse, S. (2010). Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. *Landslides*, 7(2), 125-134.
- Lopez, J. L., & Courtel, F. (2008). An integrated approach for debris-flow risk mitigation in the north coastal range of Venezuela. *Lopez, J. L., & Courtel, F. (2008, September). An integrated approach for debris-flow risk mitigation in the In Proc. of the 13th IWRA World Water Congress* , (págs. 1-4).
- (PMA:GCA), P. M. (2007). Movimientos en masa en la Región Andina: una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería. (pág. 432p). Publicación Geológica Multinacional.
- Posada , P. (2000). Sensores remotos y SIG en la cartografía de cenizas volcánicas. Tesis de Maestría. . *Universidad EAFIT*.
- POT . (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín. Acuerdo 48 de 2014*. Medellín.
- Ragozin, A., & Tikhvinsky, I. (2000). Landslide hazard, vulnerability and risk assessment. In: Bromhead, E., Dixon, N., Ibsen, M.-L. (Eds.), *Landslides. In: Research, Theory and Practice. . Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff, 26–30 June 2000* (págs. pp. 1257–1262). Bromhead, E., Dixon, N., Ibsen, M.-L. (Eds.).
- Restrepo, J. (2008). Obducción Metamorfismo de Ofiolitas triásicas en el flanco occidental del terreno Tahami, cordillera central de Colombia. *Bol. Cienc. Tierra*, Número 22.
- Restrepo, J. J., & Toussaint, J. (1984). Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. *I Conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Áburra* (págs. Vol. 1, pp. 1-26). pp 1 -26.
- Restrepo, J. J., & Toussaint, J. F. (1974). *Obducción Cretácea en el occidente colombiano*. Medellín: Publicación Especial de Geología, Universidad Nacional de Colombia.
- SGC. (2016). Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por movimientos en masa, escala detallada. Colección Guías y Manuales. En *SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO* (pág. 179p).
- SIGA I.C. (2016). *SIGA INGENIERIA Y CONSULTORÍA S.A. Medellín - Antioquia: INFORME DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES*.
- Silva, M. (2015). Avaliação quantitativa da vulnerabilidade física associada a processos de deslizamentos de encostas. Brasília, Brasil: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Suárez, D. (2011). Control de erosión en zonas tropicales, Colombia. *Universidad Industrial de Santander*, 168.
- Takahashi, T. (2007). Debris flow mechanism, prediction and countermeasures.
- Taylor, D. (1948). *Fundamentals of soil mechanics*. New York: Chapman And Hall, Limited.
- Tecnisuelos LTDA. (2013). *Estudio para la construcción del parque ecoturístico y recreativo Trece de Noviembre, ubicado en el cerro Pan de Azúcar*.
- Universidad EAFIT. (2017). Anexo metodológico Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de detalle para los circuitos Los Mangos, El Corazón y Santo Domingo, en el municipio de Medellín. Medellín: Contrato AP 396 de 2017.
- Universidad Nacional de Colombia, Corantioquia, & Instituto Mi Río. (2003). *Metodología para la formulación de Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de Cuencas (PIOM)*.

Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., & Kaynia, A. (2008). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. . *Engineering Geology*, 102(3-4), 251-256.