

VI.GESTIÓN DEL RIESGO



VI.GESTIÓN DEL RIESGO

ABRIL 2017

FORMULACIÓN PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO RISARALDA
FASE DE DIAGNÓSTICO

CONSORCIO ORDENAMIENTO CUENCA RIO RISARALDA

Carrera 18 E Nro. 42 B 352, Local 5

(6) 314 17 28 Pereira (Risaralda)

pomcasrisaralda@gmail.com

@POMCASRisaraldayOtún

#POMCASRisaralda



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.	23
1.1	Resumen.	23
1.2	Generalidades del Área	24
2	GEOLOGÍA	28
2.1.	Geología Básica con fines de Ordenación de Cuencas	29
2.1.1.	Introducción	29
2.1.2.	Resumen	29
2.1.3.	Metodología	30
2.1.3.1.	Evaluación de la información Disponible (Información secundaria)	31
2.1.3.2.	Interpretación de Sensores Remotos	33
2.1.3.3.	Control de Campo.	38
2.1.3.4.	Geología básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas a escala 1:25000.	39
2.1.3.5.	Elaboración del Informe	39
2.1.4.	Marco geológico regional	41
2.1.5.	Litoestratigrafía	43
2.1.6.	Unidades litoestratigráficas de la cuenca del río Risaralda	47
2.1.6.1.	Rocas Ultramáficas y Máficas:	49
2.1.6.2.	Rocas Volcánicas, Plutónicas e Hipoabisales	51
2.1.6.3.	Rocas Sedimentarias	54
2.1.7.	Conclusiones y Dominio Geológico	67
2.2.	Geología estructural	68
2.3.	Densidad de fracturamiento de unidades litológicas	70
2.3.1.	Densidad De Fracturamiento asociado a Elementos Estructurales (Fallas y Pliegues)	71
2.4.	Evolución geológica	74
2.5.	Mapa geología básica para ingeniería (UGS)	75
2.5.1.	Elaboración del mapa de geología para Ingeniería (UGS-Cualitativo)	78
2.5.2.	Consolidación del Mapa preliminar de UGS y selección de sitios de muestreo para control de campo	80
2.5.3.	Actividades de Campo	83
2.5.4.	Análisis de laboratorio	86
2.5.4.1.	Suelos (UGS)	86
2.5.4.2.	Rocas (UGS)	91
2.5.4.3.	Parámetros geomecánicas del material	93
2.5.4.4.	Determinación de módulo de deformación de roca "Rock Mass deformación Modulus"	93
2.6	Mapa de geología para ingeniería (UGS cuantitativo).	97
2.6.1.	Transportadas (st)	98
2.6.1.1.	Fluvial (stf)	98
2.6.1.1.1.	Llanura de inundación (stf2):	98

2.6.1.1.2. Terrazas aluviales (stf3):	99
2.6.1.1.3. Depósitos de abanicos (stf4):	99
2.6.1.2. Volcánico (stv):	99
2.6.1.2.1. Depósitos de ceniza (stv1):	99
2.6.2. Translocados (str):	100
2.6.2.1. Coluviones (strc1):	100
2.6.3. Residual (sr):	101
2.6.3.1. Suelo residual sedimentario (Srs):	101
2.6.3.2. Suelo residual de roca volcánica Formación Barroso (sriv):	101
2.6.3.3. Suelo residual de roca volcánica Formación Combia (sriv2):	102
2.6.3.4. Suelo residual de roca ígnea intrusiva Gabro de anserma (srii):	102
2.6.3.5. Suelo residual de roca ígnea intrusiva gabro uralítico de Belén de Umbría (srii):	102
2.6.3.6. Suelo residual de roca ígnea intrusiva ultamafita de Puente Umbría (srii):	103
2.6.3.7. Suelo residual de roca ígnea intrusiva del Plutón de Mistrató (srii):	103
2.7. Análisis comparativo de UGS con base a los resultados de laboratorio	104
2.8. Rocas.	105
2.9. Conclusiones y dominio.	109
3. GEOMORFOLOGÍA	111
3.1. Introducción.	111
3.2. Metodología.	111
3.3. Interpretación de Sensores Remotos.	113
3.4. Análisis de pendientes	118
3.4.1. Conclusiones sobre Pendientes en la cuenca	122
3.5. Clasificación Geomorfológica según Zinck (2012)	122
3.5.1. Definición de Ambientes Morfogenéticos.	122
3.5.2. Tipos de relieve (por foto interpretación).	126
3.5.3. Sistemas del terreno	128
3.5.4. Unidades del terreno (Sensores remotos)	130
3.6. Control de campo	134
3.7. Procesos morfodinámicos.	135
3.7.1. Cicatrices de antiguos deslizamientos.	137
3.7.2. Deslizamientos activos	138
3.7.3. Erosión superficial en surcos	140
3.7.4. Taludes verticales antrópicos y desprendimientos de materiales.	141
3.7.5. Erosión en Terracetas.	143
3.7.6. Reptamientos.	144
3.8. Jerarquización geomorfológica según Carvajal	146
3.8.1. Geomorfoestructura	146
3.8.2. Provincia Geomorfológica	147

3.8.3.	Región Geomorfológica	147
3.8.4.	Unidad Geomorfológica	148
3.8.5.	Subunidad Geomorfológica	149
3.9.	Conclusiones y Dominio Geomorfológico.	153
4.	GESTIÓN DEL RIESGO	154
4.1.	Introducción	154
4.1.1.	Resumen.	155
4.1.2.	Generalidades	157
4.2.	Variables temáticas.	160
4.3.	Caracterización histórica de eventos amenazantes	164
4.3.1.	Densidad de eventos espacio – temporal.	173
4.4.	Análisis de la susceptibilidad.	179
4.4.1.	Introducción	179
4.4.1.1.	Resumen general.	179
4.4.2.	Inundaciones.	180
4.4.2.1.	Resumen.	182
4.4.2.2.	Geomorfología	182
4.4.2.3.	Hidrografía.	185
4.4.2.4.	Perfil de equilibrio de los ríos.	185
4.4.2.5.	Ordenamiento del sistema de drenaje.	187
4.4.2.6.	Condiciones morfodinámicos.	191
4.4.2.7.	Inundaciones fluviales lentas	197
4.4.2.8.	Unidades inundables	198
4.4.3.	Avenidas torrenciales	199
4.4.3.1.	Resumen.	202
4.4.3.2.	Análisis histórico de eventos	203
4.4.3.3.	Validación de eventos históricos	203
4.4.3.4.	Trabajo de Campo con Comunidades de la Zona	204
4.4.3.5.	Jerarquización de la Magnitud de Eventos Validados	204
4.4.3.6.	Sistematización de los Eventos Validados	204
4.4.3.7.	Análisis geomorfológico	204
4.4.3.7.1.	Plano geomorfológico	204
4.4.3.7.2.	Plano de pendientes	204
4.4.3.7.3.	Estudio evolutivo del medio fluvial	204
4.4.3.8.	Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)	205
4.4.3.9.	Zonas susceptibles a avenidas torrenciales.	212
4.4.3.10.	Validación de resultados de susceptibilidad ante avenidas torrenciales según eventos históricos	217
4.4.4.	Incendios	219
4.4.4.1.	Resumen	219
4.4.4.2.	Duración del Tipo de Combustible Dominante	219
4.4.4.3.	Tipo de Combustible Vegetal Predominante por Bioma y Ecosistema.	222
4.4.4.4.	Carga Total de Combustible	226

4.4.4.5.	Susceptibilidad de la Vegetación Frente a los Incendios de la Cobertura Vegetal	229
4.4.4.6.	Validación de resultados de susceptibilidad ante incendios según eventos históricos	231
4.4.5.	Movimientos en masa	233
4.4.5.1.	Resumen.	233
4.4.5.2.	Eventos históricos por movimientos en masa	234
4.4.5.3.	Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por movimientos en masa.	239
4.4.5.3.1.	Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a movimientos en masa	240
4.4.5.3.2.	Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa	241
4.4.5.3.2.1.	Selección de la muestra de análisis (mm_lm_movt)	241
4.4.5.3.2.2.	Factores condicionantes	244
4.4.5.3.2.2.1.	Modelo digital de elevación (dem)	244
4.4.5.3.2.2.2.	Características geométricas de la ladera (cgl)	245
4.4.5.3.2.2.2.1.	Pendiente de la ladera (pend)	247
4.4.5.3.2.2.2.2.	Pendiente senoidal de la ladera (pends)	249
4.4.5.3.2.2.2.3.	Rugosidad o variación de la pendiente del terreno (rugos)	251
4.4.5.3.2.2.2.4.	Curvatura del terreno (curvar)	252
4.4.5.3.2.2.2.5.	Curvatura con respecto al perfil (perfil)	253
4.4.5.3.2.2.2.6.	Curvatura con respecto al plano horizontal (planta)	255
4.4.5.3.2.2.2.7.	Insolación (insol)	257
4.4.5.3.2.2.2.8.	Orientación de la ladera (orient)	258
4.4.5.3.2.2.2.9.	Acumulación de la cuenca (cuenca)	261
4.4.5.3.2.2.2.10.	Longitud de cuenca acumulada (long)	263
4.4.5.3.2.2.3.	Variables con relación de proximidad (vrp)	265
4.4.5.3.2.2.3.1.	Densidad de drenaje y distancia a drenajes (distdren)	265
4.4.5.3.2.2.3.2.	Distancia a vías (distvias)	268
4.4.5.3.2.2.3.3.	Densidad de fracturamiento asociado a Fallas y lineamientos. Distancia a fallas (distfallin)	270
4.4.5.3.2.2.4.	Variables categóricas	272
4.4.5.3.2.2.4.1.	Unidades geológicas básicas (glg)	272
4.4.5.3.2.2.4.2.	Subunidades geomorfológicas (gmf)	273
4.4.5.3.2.2.4.3.	Tipo de cobertura (cobert)	274
4.4.5.3.2.2.4.4.	Unidad Geológica Superficial (UGS)	276
4.4.5.3.3.	Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa	278
4.4.5.3.3.1.	Análisis estadístico de la función discriminante para obtener susceptibilidad a movimientos en masa	278
4.4.5.3.3.2.	Análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa	289
4.4.5.3.3.3.	Validación de los resultados del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa	293
4.5.	Análisis la amenaza.	296
4.5.1.	Introducción	296
4.5.1.1.	Resumen general.	296

4.5.2.	Inundaciones.	297
4.5.2.1.	Resumen	297
4.5.2.2.	Modelación hidrológica-hidráulica	299
4.5.2.2.1.	Modelación hidrológica (Caudales extremos)	299
4.5.2.2.2.	Análisis de frecuencias.	302
4.5.2.2.3.	Modelación hidráulica	307
4.5.2.3.	Procesos dominantes en áreas críticas	313
4.5.2.3.1.	Interpretación en campo	313
4.5.2.3.2.	Cronología de Eventos	313
4.5.2.3.3.	Definición de categorías de amenaza	316
4.5.2.4.	Identificación de la amenaza	316
4.5.2.4.1.	Identificación de alturas máximas	316
4.5.2.4.2.	Definición de perfiles	317
4.5.2.4.3.	Calculo de puntos de máxima inundación	318
4.5.2.4.4.	Delimitación de zonas de amenaza por inundación	319
4.5.2.4.5.	Mapa de amenazas por inundación	320
4.5.2.4.6.	Validación de los resultados del mapa de amenazas por inundación según eventos históricos.	323
4.5.3.	Incendios.	323
4.5.3.1.	Resumen.	323
4.5.3.2.	Integración de factores	323
4.5.3.2.1.	Susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios	324
4.5.3.2.2.	Factores climáticos	324
4.5.3.2.3.	Factor del relieve	325
4.5.3.2.4.	Factor histórico	326
4.5.3.2.5.	Accesibilidad	326
4.5.3.3.	Información requerida	327
4.5.4.	Movimientos en masa.	332
4.5.4.1.	Resumen	332
4.5.4.2.	Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa	332
4.5.4.3.	Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa	341
4.5.4.3.1.	Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: nivel freático - Precipitación	341
4.5.4.3.2.	Análisis de eventos VS precipitación ocurrida	351
4.5.4.3.3.	Aceleración Sísmica	358
4.5.4.3.4.	Parámetros geomecánicos para unidades de roca y unidades de suelo	360
4.5.4.4.	Controles de campo y validación del mapa de amenaza.	362
4.5.4.5.	Análisis de la zonificación de la amenaza a movimientos en masa	363
4.5.5.	Sísmica.	365
4.5.5.1.	Evaluación de la amenaza Sísmica.	365
4.5.5.2.	Sismicidad histórica	367
4.5.5.3.	Mapa de fallas activas	373
4.5.5.3.1.	Falla Quebradanueva	373
4.5.5.3.2.	Falla Apía.	376
4.5.5.4.	Amenaza sísmica y fuentes sismogénicas	376
4.5.5.4.1.	Falla Toro-La Isla	382

4.5.5.4.2. Falla Santa Rosa Rio Mapa.	382
4.5.6. Volcánica.	383
4.5.7. Indicadores de niveles de amenaza media y alta.	389
4.6. Análisis de la vulnerabilidad.	391
4.6.1. Introducción	391
4.6.1.1. Generalidades	392
4.6.2. Metodología.	393
4.6.2.1. Análisis de la Exposición.	394
4.6.2.1.1. Índice de pérdida o daño IP	395
4.6.2.2. Análisis Fragilidad (IF).	396
4.6.2.2.1. Fragilidad Física (Ff)	396
4.6.2.2.2. Fragilidad Sociocultural (Fsc)	396
4.6.2.2.3. Fragilidad Ecosistémica (Fe)	398
4.6.2.3. Resiliencia (IR).	399
4.6.2.4. Análisis de la vulnerabilidad (IV).	400
4.6.3. Sísmica.	401
4.6.3.1. Vulnerabilidad de viviendas	401
4.6.4. Volcánica.	427
4.6.4.1. Impactos por caída de cenizas volcánicas:	427
4.6.5. Incendios.	429
4.6.5.1. Análisis comparativo de daños.	429
4.6.6. Inundaciones.	434
4.6.6.1. Análisis comparativo de daños.	434
4.6.7. Movimientos en masa.	440
4.6.7.1. Análisis comparativo de daños.	441
4.7. Análisis de Riesgo.	453
4.7.1. Introducción.	453
4.7.2. Metodología	454
4.7.3. Sísmico	455
4.7.4. Volcánico	456
4.7.5. Incendios.	460
4.7.5.1. Escenarios de priorización de zonas.	461
4.7.6. Inundaciones.	463
4.7.6.1. Escenarios de priorización de zonas.	465
4.7.7. Movimientos en masa.	466
4.7.7.1. Escenarios de priorización de zonas.	469
4.7.8. Análisis y priorización general de riesgos para los eventos amenazantes evaluados.	471
4.7.9. Evaluación de Resultados.	476
4.7.9.1. Inundaciones.	476
4.7.9.2. Incendios.	476
4.7.9.3. Movimientos en masa.	476
4.8. Recomendaciones generales sobre los resultados de susceptibilidad, amenaza y riesgo	477

4.8.1.	Recomendaciones generales prescriptivas y prospectivas sobre los resultados de susceptibilidad, amenaza y riesgo	477
4.8.2.	Recomendaciones generales sobre los resultados de amenaza y riesgo por sismos.	481
4.8.3.	Recomendaciones generales sobre los resultados de amenaza y riesgo volcánico	482
4.9.	Necesidades de información e investigación para el avance en el conocimiento de tipología de evento	483
4.9.1.	Movimientos en masa.	483
4.9.2.	Incendios Forestales	485
4.9.3.	Inundaciones.	487
4.10.	Intervenciones prospectivas, correctivas y prescriptivas por categoría de riesgo.	490
4.10.1.	Movimientos en masa.	491
4.10.2.	Incendios forestales.	492
4.10.3.	Inundaciones.	493
5.	CONCLUSIONES.	494
6.	BIBLIOGRAFÍA.	500

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Identificación de sitios de interés prioritarios con base a la Fotogeología para geología básica.....	35
Figura 2. Análisis de fotografías aéreas detallando las Unidades Geológicas presentes. Obsérvese los puntos en color verde que representan los puntos de control de campo planteados.	37
Figura 3. Punto de control Geológico. Vía Balboa	39
Figura 4. Esquema de las actividades desarrolladas para Geología	40
Figura 5. Relación de unidades litoestratigráficas en el contexto del POMCA del río Risaralda	42
Figura 6. Reconocimiento de unidades cronoestratigráficas de la cuenca del Río Risaralda (SGC).	45
Figura 7. Esquema del mapa Geología Regional de la Cuenca del Río Risaralda Escala 1:100.000 con disposiciones estructurales (Rumbo/Buzamiento)	46
Figura 8. Mapa de unidades litológicas de la cuenca del Río Risaralda, con fines de ordenamiento. Escala 1:25.000.	48
Figura 9. Afloramiento Gabros de Anserma, vía sector Puente Lázaro-Anserma. Explotación de agregados pétreos.....	50
Figura 10. Afloramiento de suelos residuales lateríticos de la Formación Barroso, vía San José- Risaralda.....	52
Figura 11. Afloramiento de lodolitas silíceas de la Formación Penderisco, vía La Virginia- Apía.....	56
Figura 12. Afloramiento de la Formación Combia hacia la parte alta de la cuenca; sector Río Oro – Rubí.....	60
Figura 13. Porcentaje de unidades geológicas en la cuenca.....	67
Figura 14. Grado de Actividad de Fallas.	72
Figura 15. Mapa estadístico para densidad de fracturamiento.	73
Figura 16. Diagrama del proceso para la obtención del producto mapa de geología para Ingeniería (UGS cualitativa).....	77
Figura 17. Mapa Cualitativo de unidades superficiales UGS. Escala 1:100.000.	79
Figura 18. Análisis de sensores remotos y ubicación de puntos de control para UGS (puntos verdes). Escala 1:100.000.....	82
Figura 19. Exploraciones del subsuelo mediante trincheras para obtención de muestras	87
Figura 20. Porcentaje de muestreos en suelos.	89
Figura 21. Suelo residual de rocas ígneas básicas como materiales superficiales.....	90
Figura 22. Rocas sedimentarias como unidades superficiales existentes. Sector Oeste del área ...	91
Figura 23. Medición de la resistencia de la matriz rocosa con el martillo Schmidt.....	92
Figura 24. Gráficos arrojados por el software RocLab.	96
Figura 25 Porcentaje de las UGS en la cuenca.....	107
Figura 26 Esquema de las actividades desarrolladas para Unidades superficiales UGS.....	108
Figura 27. Transporte de muestras.....	109
Figura 28. Diagrama del proceso para la obtención del producto de Geomorfología requerido para los POMCA.....	113
Figura 29. Identificación de sitios de interés prioritarios con base a la Fotointerpretación para geomorfología básica a nivel de Relieve.....	115

Figura 30. Análisis de fotografías aéreas detallando geoformas a nivel de relieve presentes. Obsérvese los puntos en color verde que representan los puntos de control geomorfológicos planteados.....	117
Figura 31 Pendientes en porcentaje Cuenca del Río Risaralda.....	120
Figura 32 Pendientes en grados Cuenca del Río Risaralda	121
Figura 33 Mapa de sombras del área donde se detallan los ambientes morfogenéticos existentes. Flecha azul ambiente deposicional y flecha roja ambiente denudaciones.	124
Figura 34 Ambientes morfogenéticos definidos sobre la cuenca	125
Figura 35 Relieves o modelados similares según fotointerpretación.	127
Figura 36 Sistemas del terreno.	129
Figura 37 Unidades del terreno (Tipos de relieve). (Zinck 2012).	131
Figura 38 Mapa geomorfológico con criterios edafológicos según Zink	133
Figura 39 Controles de Campo para geomorfología. Nótese la socavación lateral del cauce y un sistema de deposición fluvial originado por acción del río mapa.....	134
Figura 40 Controles de Campo para geomorfología. Nótese la presencia de valles en V, con laderas morfométricamente cortas y rectas, hacia la parte central del área	135
Figura 41 Mapa de procesos morfodinámicos en relación con los sistemas del terreno según Zinck	136
Figura 42 Movimiento antiguo registrado en zona rural del municipio de San José. Nótese La superficie cóncava de su corona.....	137
Figura 43 Movimiento en masa antiguo registrado en la vereda Buenos Aires perteneciente al municipio de Belalcázar, Caldas. Nótese la superficie cóncava de la corona y su estado revegetalizado.....	138
Figura 44 Movimiento en masa afectando vía secundaria (Belén de umbría – Mistrató), entre las veredas providencia – La Llorona	139
Figura 45 Movimiento en masa de tipo combinado, en el sector de la cuchilla de San Juan, vereda Dosquebradas.....	139
Figura 46 Vía san José – Risaralda, sector Quebra de varillas. Proceso activo con erosión concentrada en surcos hacia la parte baja.	140
Figura 47 Vía Mateguadua - vereda Al Abejero (Vía Belén-Mistrato), movimiento rotacional con presencia de erosión laminar por acción de escorrentía superficial, se observa fuerte carcavamiento.....	141
Figura 48 Taludes verticalizados que ha sufrido desprendimientos de materiales en el tramo vial Santuario – Apía	142
Figura 49 Desprendimiento de roca en macizo rocoso, hacia el sector de Belén de Umbría – La Isla.....	142
Figura 50 Cantera ubicada sobre la vía San José – Risaralda. Nótese el flujo de detritos que forma depósitos tipo talus.	143
Figura 51 Presencia de terracetos sobre la Vía Asia – San José, Vereda El Contento.....	144
Figura 52 Reptamiento y erosión pluvial registrada en el sector la isla – vereda Taparcal	145
Figura 53 Jerarquización Geomorfológica propuesto para Ingeominas	146
Figura 54 Mapa Geomorfológico con criterios morfogenéticos (Carvajal, 2012)	152
Figura 55 Metodología de geolocalización preliminar de eventos históricos del POMCA del Río Risaralda.....	167

Figura 56 Distribución de tipo de eventos con afectación urbana y rural para el POMCA del Río Risaralda.....	169
Figura 57 Eventos históricos asociados a Movimientos en masa para la cuenca del Río Risaralda.	170
Figura 58 Eventos históricos asociados a inundaciones para la cuenca del Río Risaralda.	171
Figura 59 Eventos históricos asociados a incendios forestales para la cuenca del Río Risaralda.	172
Figura 60 Densidad de eventos deslizamiento por unidad de área (km ²) para la cuenca del Río Risaralda.....	176
Figura 61 Densidad de eventos de inundación por unidad de área (km ²) para la cuenca del Río Risaralda.....	177
Figura 62 Densidad de eventos de incendios por unidad de área (km ²) para la cuenca del Río Risaralda.....	178
Figura 63. Aspectos Generales de la Cuenca.....	181
Figura 64 Tendencia del número de orden de los ríos.....	188
Figura 65 Numero de orden y longitud promedio de los drenajes.....	189
Figura 66 Gráfico de Strahler para la pendiente de los ríos en el sistema de drenaje.....	189
Figura 67 Gráfico de Strahler para el área de la cuenca de los ríos en el sistema de drenaje.....	190
Figura 68 Perfiles teórico, (negro) y de equilibrio, (rojo), en la cuenca del Río Risaralda.	191
Figura 69 Cauce del Río Risaralda aguas arriba de Mistrató, cauce torrencial, sin contaminación.	193
Figura 70 Característica Torrencial del Río Mapa, afluente principal del Río Risaralda.....	193
Figura 71 Cauce del río Risaralda arriba del Puente de La Isla, nótese la cobertura vegetal de la cuenca alta.	194
Figura 72 Cauce del río Risaralda abajo del Puente de La Isla, nótese la característica torrencial del sector.	194
Figura 73 Perfil del Río Risaralda.....	195
Figura 74 Diagrama para la definición de zonas críticas para evaluación de amenaza.....	197
Figura 75 Diagrama de Flujo para la Evaluación de la Susceptibilidad por Inundaciones.....	198
Figura 76 Clasificación de movimientos en masa (Fuente: Adaptado de Brea y otros, 2005).....	200
Figura 77 Clasificación de flujos hiperconcentrados desde la hidráulica (Adaptado de Brea 2006).....	201
Figura 78 Clasificación de flujos densos o hiperconcentrados desde la hidráulica.....	202
Figura 79 IVET Risaralda.....	211
Figura 80 Análisis multitemporal en fotografías aéreas del cauce del río Risaralda. Cauce actual (AZUL) Y LÍNEA DEL Cauce en cartografía IGAC año 1.978.	212
Figura 81 Análisis multitemporal en fotografías aéreas donde en líneas negras se visualizan las direcciones de cauce desde el año 1.961 hasta el año 1.994 y en azules el cauce actual y puentado el cauce de la cartografía IGAC año 1978.....	213
Figura 82 Eventos evaluados en la cuenca con respecto a la geomorfología del sector. En color verde los eventos torrenciales y en rojo los eventos de inundaciones.	214
Figura 83 Análisis de susceptibilidad ante inundaciones por eventos torrenciales.	215
Figura 84 mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales.....	216
Figura 85 Validación de los resultados de susceptibilidad ante avenidas torrenciales.....	218
Figura 86 Duración Del Tipo De Combustible Dominante.....	221

Figura 87 Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema	225
Figura 88 carga total de combustible.....	228
Figura 89 Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal.	230
Figura 90 Validación de los resultados de susceptibilidad ante Incendios.....	232
Figura 91 Eventos de movimientos en masa recopilados e identificados para la cuenca hidrográfica del río Risaralda.....	235
Figura 92 Distribución de eventos por movimientos en masa por tipo de fuente	236
Figura 93 Recurrencia de eventos por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del Río Risaralda.....	238
Figura 94 Recurrencia de eventos de movimientos en masa identificados.....	239
Figura 95 Localización de eventos de remoción en masa en función a la susceptibilidad a movimientos en masa	244
Figura 96 Modelo Digital de Elevación (DEM).....	245
Figura 97 Características geométricas de la ladera en función a la susceptibilidad a movimientos en masa	246
Figura 98 Pendiente de ladera	248
Figura 99 Pendiente senoidal de ladera.....	250
Figura 100 Rugosidad.....	251
Figura 101 Curvatura del Terreno.....	253
Figura 102 Curvatura del terreno con respecto al perfil	254
Figura 103 Curvatura del terreno con respecto al plano horizontal.....	256
Figura 104 Insolación	258
Figura 105 Orientación de la ladera.....	260
Figura 106 Acumulación de la cuenca	262
Figura 107 Longitud de cuenca acumulada	264
Figura 108 Variables con relación de proximidad en función a la susceptibilidad a movimientos en masa.	265
Figura 109 Relación de proximidad de la distancia a un drenaje en función a la susceptibilidad a movimientos en masa	267
Figura 110 Relación de proximidad de la distancia a una vía en función a la susceptibilidad a movimientos en masa	269
Figura 111 Relación de proximidad de la distancia a fallas y lineamientos geológicos en función a la susceptibilidad a movimientos en masa.....	271
Figura 112 Variables categóricas en función a la susceptibilidad a movimientos en masa.....	272
Figura 113 Histogramas de distribución de los factores de propensividad	281
Figura 114 Prueba Kolmogorov-Sminorv	282
Figura 115 Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa cuenca hidrográfica del río Risaralda.....	290
Figura 116 graficas de susceptibilidad ante movimientos en masa.	291
Figura 117 Validación de los resultados de susceptibilidad ante Movimientos en masa	295
Figura 118 Diagrama de flujo para evaluación de la amenaza por inundaciones lentas	298
Figura 119 Resultados análisis de homogeneidad regional. Nótese que la estación Santa Rosita cae por fuera del límite superior en color magenta, y es descartada del análisis regional de frecuencias.	303

Figura 120 Curva de Área contra Q2,33 para la región homogénea.	305
Figura 121 Curva regional de frecuencias de caudales extremos.	306
Figura 122 Inestabilidad superficial en fenómenos de flujo casi-crítico. (Ordóñez, 2010). Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.	308
Figura 123 Inestabilidad superficial Q. Guática, (Derecha).	309
Figura 124 Tipos de daños potenciales por características de la inundación.	312
Figura 125 Indicadores de cronología de flujos densos por procesos torrenciales	315
Figura 126 perfiles definidos para el análisis.	317
Figura 127 perfil de puntos máximos ante inundaciones.	318
Figura 128 delimitación y marcación de zonas inundables.	319
Figura 129 Delimitación de zonas inundables en el municipio de Mistrató	320
Figura 130 localización de eventos inundables.	320
Figura 131 mapa definitivo de amenaza ante inundaciones.	322
Figura 132 Amenaza de incendios forestales durante época Normal.	331
Figura 133 Estructura metodológica para la evaluación de amenaza por movimientos en masa.	332
Figura 134 Esquema del modelo de talud infinito	335
Figura 135 Valores CN de cada Unidad.	342
Figura 136 Representación gráfica para determinar el nivel Freático.	344
Figura 137 Retención Potencial dentro de la cuenca hidrográfica del río Risaralda	349
Figura 138 Interpretación grafica de la Tabla 92	352
Figura 139 Interpretación grafica de la Tabla 93.	353
Figura 140 Interpretación grafica de la Tabla 94.	354
Figura 141 Interpretación grafica de la Tabla 95.	355
Figura 142 Interpretación grafica de la Tabla 96.	356
Figura 143 Interpretación grafica de la Tabla 97.	357
Figura 144 Coeficiente de Aceleración Sísmica para la cuenca hidrográfica del río Risaralda	359
Figura 145 Zonificación geológico-geotécnica.	361
Figura 146 Amenaza por Movimientos en Masa	364
Figura 147 grafica de amenaza representada en la cuenca	365
Figura 148 Distribución esquemática de intensidades sísmicas a partir de información histórica, y que sirven de referencia para el contexto de la Cuenca del Río Risaralda	368
Figura 149 Delimitación de la Intensidad Sísmica Esperada para el sector de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda	369
Figura 150 Eventos sísmicos instrumentales registrados por la RSNC en un radio de 100 km a partir del centroide de la Cuenca del Río Risaralda, para el período de 1993 – 2016 con 5889 registros registrados y procesados, discriminados por magnitud (Mw) y profundidad	371
Figura 151 Mapa de fallas activas del área de la cuenca del Río Risaralda.	375
Figura 152 Mapa de Amenaza Sísmica expresado como valores de Aa para el área de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda con valores de 0.25 y 0.30, conforme a la NSR-10.	377
Figura 153 Mapa de Amenaza Sísmica expresado en rangos de isoaceleraciones en roca para un período de recurrencia de 475 años, incluyéndose el área de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda, conforme a la NSR-10	377
Figura 154 Esquemización de los tipos de fuentes sísmicas asociables al sector de la cuenca hidrográfica del río Risaralda.	379

Figura 155 Delimitación de fuentes sísmicas superficiales para el sector centro occidental colombiano. Obsérvese el nivel de simplificación derivado del nivel de información sísmológica y paleosísmica disponible.....	380
Figura 156 Delimitación de fuentes sísmicas corticales, fosa de subducción y plano de Benioff, de influencia para el área de interés.....	380
Figura 157 Contornos de isoprofundidad de eventos en el plano de Wadati-Benioff.....	381
Figura 158 Dispersión de ceniza para el evento cel 9 de junio de 2012, procedente del Volcán Nevado del Ruiz e involucrando la zona norte de la cuenca del Río Risaralda.....	384
Figura 159 Distribución de cenizas volcánica observada en eventos eruptivos del Volcán Nevado del Ruiz, que se asociaron con la Cuenca Hidrográfica del Río Risaralda, entre el año 2013 y 2016.....	385
Figura 160 Zonificación de Amenaza Volcánica del volcán Nevado del Ruiz, que incluye Interpretaciones recientes sobre dispersión de cenizas volcánicas para una columna eruptiva de 20 km. de altura, y en evento de VEI=4, que han permitido ajustar las versiones ant.	387
Figura 161 Mapa de Amenaza Volcánica para la cuenca del Río Risaralda, en consideración del Volcán Nevado del Ruiz.....	388
Figura 162 Indicadores de porcentajes de niveles de amenaza media y alta.....	390
Figura 163 Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento.	394
Figura 164 Curvas de vulnerabilidad adoptadas para las edificaciones según el método GESI, que para el área de estudio se toman en consideración las curvas correspondientes a mampostería reforzada (E), mampostería no reforzada (F), adobe y ladrillo de adobe (G)	405
Figura 165 Curvas de vulnerabilidad para diversas líneas vitales de acueducto, conforme al proyecto Radius	426
Figura 166 Curvas de vulnerabilidad para diversas líneas vitales, conforme al proyecto Radius ..	427
Figura 167 afectación vial en zona de alta amenaza, vía La Virginia – Santuario.	443
Figura 168 Área de uso del suelo afectada en zonas de media alta susceptibilidad, localizada en la vereda Dosquebradas, Belén de Umbría	447
Figura 169 Área de uso del suelo afectada en zonas de media alta susceptibilidad, localizada en la vereda Santa Teresa, Guática.....	447
Figura 170 Áreas de infraestructura afectada en el sector de la Vereda Santa Teresa, Guática, a raíz del fenómeno de la niña del mes de abril de 2016	448
Figura 171 Área de infraestructura afectada, ubicada en la vía Belalcázar – San José.....	448
Figura 172 Funciones de vulnerabilidad de cubiertas de cenizas utilizadas en otros proyectos	458
Figura 173 Mapa de zonas priorizadas ante incendios	463
Figura 174 Mapa de zonas priorizadas ante inundaciones.....	466
Figura 175 Mapa de zonas priorizadas ante movimientos en masa	470
Figura 176 Mapa de escenarios de priorización combinado	473
Figura 177. Intervenciones en Zonas Según Categoría de Riesgo.....	491
Figura 178. Intervenciones en Zona Según Categoría de Riesgo.....	492
Figura 179. Intervención en zonas según Categoría de Riesgo.....	493

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos básicos de la cuenca del río Risaralda	25
Tabla 2 Cubrimiento y calidad de la información	32
Tabla 3 Información Cartográfica Compilada	32
Tabla 4 Unidades litológicas principales de la cuenca hidrográfica río Risaralda (SGC)	44
Tabla 5 porcentaje de unidades geológicas de la cuenca	65
Tabla 6. Datos estructurales tomados en la cuenca del río Risaralda, a partir del control litológico realizado para el levantamiento del mapa geológico del área de estudio, escala 1:25.000	70
Tabla 7. Caracterizaciones en formaciones superficiales realizadas	85
Tabla 8 Caracterizaciones en Rocas mediante resistencia usando martillo Schmidt	86
Tabla 9 Unidad Geológica Superficial, clasificación según Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo.	88
Tabla 10. Caracterizaciones de suelos	90
Tabla 11. Resistencia de la matriz rocosa	92
Tabla 12. Parámetros geomecánicas para rocas.	95
Tabla 13 Formaciones Superficiales UGS en la cuenca	106
Tabla 14 Rangos de Pendientes en porcentaje	118
Tabla 15. Rangos de Pendientes en porcentaje	119
Tabla 16. Rangos de Pendientes en grados	119
Tabla 17 Ambientes Morfogenéticos del área.	123
Tabla 18 Relieves o modelados similares.	126
Tabla 19 Paisajes fotogeológicos.	128
Tabla 20 Unidades según el tipo de relieve o modelado	130
Tabla 21 tabla de Jerarquización según Zinck con criterios edafológicos	132
Tabla 22 Cantidad de procesos morfodinámicos por tipología	145
Tabla 23 Jerarquización Geomorfológica en la Cuenca del Río Risaralda según Carvajal	151
Tabla 24 jerarquización según morfocronología	151
Tabla 25 Datos básicos Cuenca Risaralda	157
Tabla 26 Tipos de eventos diferenciados inicialmente para efectos del análisis de registros históricos de desastres.	165
Tabla 27. Síntesis de afectación y tipos de afectación evaluados	167
Tabla 28. Distribución de eventos según tipo y área urbana o rural afectada	167
Tabla 29. Frecuencia máxima de eventos por unidad de área (km ²) para los diferentes períodos de referencia	174
Tabla 30 Consolidado registro Desinventar para el departamento de Risaralda y municipios circunscritos en la cuenca hidrográfica del río Risaralda	175
Tabla 31 Análisis geomorfológico para el Departamento de Caldas en relacion a las areas inundables.	183
Tabla 32 Análisis geomorfológico para el Departamento de Risaralda en relación a las areas inundables.	184
Tabla 33 Ordenamiento de Strahler para el sistema de drenaje del río Risaralda	188
Tabla 34. Relaciones para categorizar el Índice morfométricos	206
Tabla 35. Relaciones entre variables para el Índice morfométrico	207

Tabla 36. Clasificación del índice de variabilidad.....	208
Tabla 37. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET).....	209
Tabla 38. Resultados IVET cuenca Risaralda.....	209
Tabla 39 Validación de los resultados de susceptibilidad.....	217
Tabla 40 relación tipo de cobertura vs duración de combustible.....	219
Tabla 41 Peso para cada duración de combustible.....	220
Tabla 42. Duración del tipo de combustible dominante.....	220
Tabla 43 Tipo de cobertura vegetal.....	222
Tabla 44 peso para cada tipo de cobertura vegetal.....	222
Tabla 45. Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema.....	223
Tabla 46 relación tipo de cobertura vs la carta total de combustible.....	226
Tabla 47 peso para cada carga total de combustible.....	226
Tabla 48. Carga Total de Combustible.....	227
Tabla 49. Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal.....	229
Tabla 50 Validación de los resultados de susceptibilidad ante incendios.....	231
Tabla 51. Calificación y categorización de curvatura del terreno.....	252
Tabla 52. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil.....	254
Tabla 53. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al plano horizontal.....	255
Tabla 54. Calificación y categorización de la orientación de la ladera.....	259
Tabla 55. Calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua.....	266
Tabla 56. Calificación y categorización de la distancia a vías.....	268
Tabla 57. Calificación y categorización de la distancia a fallas y lineamientos.....	270
Tabla 58. Calificación de la susceptibilidad del tipo de unidad geológica.....	273
Tabla 59. Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica.....	274
Tabla 60. Calificación de la susceptibilidad del tipo de Cobertura (CORINE LAND COVER) a movimientos en masa.....	275
Tabla 61. Calificación de la susceptibilidad del tipo de Unidad Geológica Superficial a movimientos en masa.....	277
Tabla 62 Matriz de correlación.....	283
Tabla 63 Prueba ANOVA.....	284
Tabla 64 áreas y porcentajes de susceptibilidad en la cuenca.....	291
Tabla 65 nivel de susceptibilidad para cada municipio.....	292
Tabla 66 Validación de los resultados de susceptibilidad ante Movimientos en masa.....	294
Tabla 67 Distribuciones de probabilidad Seleccionadas para Qmax con las pruebas estadísticas de ajuste.....	301
Tabla 68 Distribuciones de probabilidad Seleccionadas para Qmin con las pruebas estadísticas de ajuste.....	301
Tabla 69 Estaciones hidrológicamente homogéneas del departamento de Risaralda.....	304
Tabla 70 Caudales extremos característicos de las áreas medias de Strahler.....	306
Tabla 71 Parámetros para definir qmax y Fm según Ordóñez y Otros.....	309
Tabla 72 Cálculos hidráulicos para flujo torrencial en el río Risaralda Q=Q10.....	310
Tabla 73 Cálculos hidráulicos para flujo torrencial en el río Risaralda Q=Q100.....	310
Tabla 74 Cálculos hidráulicos para flujo torrencial en el río Risaralda Q=Q500.....	311

Tabla 75 Áreas de las Manchas de Amenaza en la cuenca del Río Risaralda.....	311
Tabla 76. Procesos Dominantes en Ares Criticas	313
Tabla 77 Indicadores de cronología de eventos.....	315
Tabla 78 alturas máximas para cada caudal	317
Tabla 79 peso relacionado para cada uno de los factores climáticos.....	325
Tabla 80 peso para el factor del relieve en la incidencia ante fenómenos de incendios forestales	326
Tabla 81 peso utilizado para la accebilidad	327
Tabla 82 Datos esperados de insolación en el ecuador.....	328
Tabla 83 Tabla de variables usadas y ponderación para la generación del mapa de Amenaza a incendios.....	329
Tabla 84. Distancias definidas para el buffer y la distancia euclidiana en frecuencia de incendios	329
Tabla 85. Amenaza de incendios forestales durante época Normal.	330
Tabla 86. Escenarios de factor de seguridad evaluados para la cuenca del río Risaralda	336
Tabla 87. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases	341
Tabla 88. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases	341
Tabla 89. Calculo de Profundidad del nivel freático para diferentes periodos de retorno.	346
Tabla 90. Calculo de Profundidad del nivel freático para diferentes periodos de retorno.	347
Tabla 91 Láminas de agua para cada tiempo de retorno evaluado dentro de la cuenca hidrográfica del río Risaralda.....	350
Tabla 92 relación precipitación vs cantidad de eventos históricos en la cuenca	351
Tabla 93 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2010 en la cuenca	353
Tabla 94 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2011 en la cuenca	354
Tabla 95 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2012 en la cuenca	355
Tabla 96 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2013 en la cuenca	356
Tabla 97 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2016 en la cuenca	357
Tabla 98 Parámetros Geomecánicos evaluados para cada Unidad Geológica Superficial dentro de la cuenca hidrográfica del río Risaralda	360
Tabla 99 tabla de amenaza en la cuenca	365
Tabla 100 Catálogo de Sismos históricos notables del viejo Caldas (Tomado de: Monsalve et al. 2000).....	369
Tabla 101 Eventos sísmicos registrados instrumentalmente con magnitud mayor o igual a 5 (ML) en un radio de 100 km., para el período de 1993 – 2016, desde el centroide de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda.	372
Tabla 102 Elementos expuestos	395
Tabla 103. Índice de fragilidad física.	396
Tabla 104. ICV y fragilidad socio-cultural.....	397
Tabla 105. Fragilidad cultural.	398
Tabla 106. Fragilidad de ecosistemas estratégicos.	399
Tabla 107. Categoría del Índice de fragilidad	399
Tabla 108. Indicador de la Falta de resiliencia económica.....	400
Tabla 109. Niveles de vulnerabilidad.....	401
Tabla 110 Equivalencias asumidas según tipos de materiales diferenciados por DANE y categorías en el modelo GESI (Adaptado de: Borrero, C. 2012).	402

Tabla 111 Sistema de calificación de calidad por diseño, construcción y materiales de las edificaciones.....	403
Tabla 112 Descripción de estado de daño a través del método GESI.	404
Tabla 113 Matriz de decisión de curva de vulnerabilidad por el método GESI, para las tipologías más comunes dentro del área de análisis.....	404
Tabla 114 Parámetros obtenidos de curvas de vulnerabilidad según tipología y aceleración.	405
Tabla 115 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Apía, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	407
Tabla 116 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Apía, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	408
Tabla 117 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Balboa, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	408
Tabla 118. Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Balboa, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	408
Tabla 119 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Belén de Umbría, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	409
Tabla 120 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Belén de Umbría, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	409
Tabla 121 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Guática, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	409
Tabla 122 . Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Guática, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	410
Tabla 123 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de La Virginia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	410
Tabla 124 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de La Virginia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	410
Tabla 125 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Mistrató, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	411
Tabla 126 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Mistrató, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,35 g.	411
Tabla 127 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Santuario, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	411
Tabla 128 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Santuario, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	412
Tabla 129 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Anserma, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	412
Tabla 130 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Anserma, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	412
Tabla 131 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Belalcázar, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	413
Tabla 132 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Belalcázar, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	413
Tabla 133 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Risaralda, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	413

Tabla 134 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Risaralda, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	414
Tabla 135 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de San José, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	414
Tabla 136 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de San José, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	414
Tabla 137 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Viterbo, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	415
Tabla 138 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Viterbo, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	415
Tabla 139 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Apía, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	415
Tabla 140 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Apía, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	416
Tabla 141 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Balboa, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	416
Tabla 142 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Balboa, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	416
Tabla 143 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Belén de Umbría, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	417
Tabla 144 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Belén de Umbría, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	417
Tabla 145 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Guática, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	417
Tabla 146 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Guática, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	418
Tabla 147 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de La Celia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	418
Tabla 148 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de La Celia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	418
Tabla 149 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de La Virginia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	419
Tabla 150 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de La Virginia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	419
Tabla 151 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Mistrató, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	419
Tabla 152 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Mistrató, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	420
Tabla 153 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Santuario, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	420
Tabla 154 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Santuario, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	420
Tabla 155 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Anserma, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	421

Tabla 156 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Anserma, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	421
Tabla 157 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Belalcázar, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	421
Tabla 158 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Belalcázar, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	422
Tabla 159 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Riosucio, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	422
Tabla 160 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Riosucio, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	422
Tabla 161 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Risaralda, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	423
Tabla 162 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Risaralda, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	423
Tabla 163 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de San José, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	423
Tabla 164 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de San José, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	424
Tabla 165 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Viterbo, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.	424
Tabla 166 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Viterbo, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.	424
Tabla 167 Datos para curvas de daño para sistema de abastecimiento de agua, atribuidas en el programa y proyecto Radius, según metodología simplificada para daño por sismos según Intensidad de Mercalli Modificada.	425
Tabla 168 Datos para curvas de daño para vías, atribuidas en el programa y proyecto Radius, según metodología simplificada para daño por sismos según Intensidad de Mercalli Modificada .	426
Tabla 169 afectación vial en zonas de alta y media amenaza.	431
Tabla 170 afectación de viviendas y puentes en zonas de alta y media amenaza	431
Tabla 171 afectación de otras áreas de protección ambiental.	432
Tabla 172 afectación de áreas de protección ambiental SINAP.	434
Tabla 173 longitud de vías afectadas.	435
Tabla 174 cantidad de viviendas, puentes y bocatomas.	436
Tabla 175 Población afectada.	436
Tabla 176 vegetación afectada.	436
Tabla 177 otro tipo de coberturas	439
Tabla 178 Áreas de protección ambiental.	440
Tabla 179 afectación total de las vías para la cuenca	442
Tabla 180 áreas de usos del suelo (tipo de vegetación) en las zonas de amenaza Media y Alta. .	443
Tabla 181 áreas de usos del suelo (otro tipo de cobertura) en las zonas de amenaza Media y Alta.	446
Tabla 182 construcciones, puentes y bocatomas afectadas en la cuenca.	448
Tabla 183 población afectada ante fenómenos de remoción en masa en zonas de amenaza alta y media	449

Tabla 184 SINAP afectados en la cuenca.	450
Tabla 185 otras áreas de protección ambiental afectados en la cuenca.	451
Tabla 186. Criterio de categorización del riesgo para los diferentes eventos en POMCAS con base en amenaza probabilística.	454
Tabla 187. Matriz para la Categorización de niveles de riesgo del IRT para la zona de estudio con amenaza determinística.	455
Tabla 188 Análisis de riesgo ante incendios.	461
Tabla 189 zonas de priorización para incendios forestales.	462
Tabla 190 Análisis de riesgo ante inundaciones.	464
Tabla 191 zonas de priorización para inundaciones.	465
Tabla 192 Análisis de riesgo ante movimientos en masa.	468
Tabla 193 zonas de priorización para movimientos en masa.	469
Tabla 194 escenarios de priorización combinado.	472
Tabla 195 resultados generales de la identificación, localización y priorización de los escenarios de riesgo en la cuenca y la metodología de análisis empleada para cada amenaza.	475
Tabla 196. Estrategias de conocimiento y Reducción del Riesgo.	485
Tabla 197. Estrategias de Conocimiento y Gestión del Riesgo.	487
Tabla 198. Estrategias de Conocimiento para la Gestión del Riesgo.	489

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 mapas y salidas cartográficas
- Anexo 2 puntos de control geológico y geomorfológico
- Anexo 3 caracterizaciones de UGS
- Anexo 4 ensayos de laboratorio y protocolo de transporte
- Anexo 5 formato procesos activos
- Anexo 6 Descripción de macizos rocosos
- Anexo 7 Análisis de vulnerabilidad
- Anexo 8 Análisis de riesgo
- Anexo 9 Análisis de vereda por área y nivel de susceptibilidad
- Anexo 10 perfiles estratigráficos
- Anexo 11 base de datos por tipo de evento
- Anexo 12 formato único encuestas para la comunidad
- Anexo 13 mapas de amenaza para cada escenario propuesto
- Anexo 14 registro fotográfico
- Anexo 15 Datos geotécnicos

1 INTRODUCCIÓN.

En los procesos de manejo y ordenación de cuencas hidrográficas el componente de gestión del riesgo en la planificación territorial se constituye en un insumo vital para la prevención y control de la degradación de los recursos naturales, hídricos, y condiciones económicas y sociales del área.

El presente documento incluye los aspectos geológicos, geomorfológicos y de gestión del riesgo para el Plan de Manejo y ordenamiento de la cuenca Risaralda basado en lo establecido en la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas –POMCA- (expedida mediante la Resolución 1907 de 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

En la primera parte se incluyen los apartes de Geología, Geomorfología, Unidades Geológicas Superficiales UGS y geología estructural; mientras que en una segunda instancia se evalúa la gestión del riesgo incluyendo el análisis de amenazas, vulnerabilidades y riesgos de cada uno de los elementos expuestos.

1.1 Resumen.

La caracterización de las unidades geológicas de la cuenca del río Risaralda, a escala 1:25000 con fines de ordenación de cuenca, se genera a partir de la información base proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000 (planchas pdf del servicio geológico Colombiano) y 1:200.000 (Mapas Geológicos Generalizados de los departamentos de Caldas y Risaralda, 1993), además de las correspondientes verificaciones en campo de las características y georreferenciación de cada una de ellas. Adicionalmente, se soportó dicha cartografía geológica con fines de ordenación de cuenca, con la generación del modelo digital del terreno, análisis e interpretación de fotografías aéreas y los controles de campo para la respectiva calibración.

La cuenca del Río Risaralda se localiza sobre la vertiente oriental de la cordillera occidental, con tal diversidad de unidades geológicas y ambientes geotectónicos, que no es extraño encontrar condiciones geomorfológicas particulares que hacen de la cuenca un territorio diverso y con multiplicidad de factores que condicionan su aprovechamiento y que eventualmente tipifican las condiciones de riesgo predominantes en la zona.

Se registran en la cuenca del Río Risaralda unidades litológicas que corresponden a emplazamientos de metamórficas de media a alta presión y de stocks gabroides a lo largo del Sistema de Fallas Cauca-Romeral y secuencias volcanosedimentarias, cuya depositación se inicia en el Cretáceo temprano y se prolonga hasta el Paleoceno. Adicionalmente, se encuentran rocas de composición monzonítica a

tonalítica del Cenozoico temprano, además de intrusivos subvolcánicos de composición andesítica o dacítica.

El rasgo tectónico más destacado es la depresión del río Cauca que limita estructuralmente las cordilleras Occidental y Central a lo largo de sistemas de fallas paralelas a sus bordes y que convergen hacia la zona del valle.

En general las unidades litológicas predominantes en la zona son la Formación Barroso (Kvb), la Formación Penderisco (Kaa), el Stock de Mistrató (Kcdgm), los gabros de Anserma (Kgo) y los depósitos aluviales recientes (Qar) del río Risaralda.

1.2 Generalidades del Área

Con respecto al personal detallado que hizo el análisis del plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del río Risaralda (POMCA), fue realizado por tres Geólogos, uno de cabecera, Geólogo, y dos geólogos de apoyo tanto para la etapa de verificación de la información tanto cartográfica como de eventos, como también para la parte de análisis y elaboración de resultados.

La cuenca del río Risaralda cubre un área de aproximadamente 1302.09 km² y su corriente principal empieza a formarse en el Alto del Morro Planchó, en los límites entre Caldas y Antioquia, sobre los 3750 m.s.n.m. y desemboca en el Río Cauca frente al municipio de La Virginia a 896 m.s.n.m., recorriendo un trayecto aproximado de 95 Km, en sentido Norte–Sur. Sus principales afluentes son los ríos Guática por el Norte, Chapatá, Guarne, Mapa y Totuí por la margen derecha.

En forma general el área de la cuenca del río Risaralda es compartida por dos departamentos: Caldas y Risaralda (con un 40 y 60% respectivamente). En su trayectoria, atraviesa un total de 14 municipios, circunstancia que afecta directa o indirectamente la dinámica ecológica, ambiental y de sedimentos del río (Estudios y Asesoría Ingenieros Consultores Ltda., 1996).

Fisiográficamente la cuenca del río Risaralda presenta los siguientes rasgos predominantes:

Las vertientes oriental y occidental de las cordilleras Occidental y Central respectivamente, asociadas al cordón montañoso denominado Cuchilla del San Juan, de naturaleza volcánica, que se origina en el Nudo o Alto de los Mellizos y se extiende hasta el valle del Risaralda y la divisoria de aguas donde se encuentran localizadas las cabeceras municipales de Belalcázar, San José, Risaralda y Anserma en el Departamento de Caldas. Las llanuras, vegas y terrazas de origen sedimentario, localizados sobre las márgenes del río Risaralda.

Se trata de una Cuenca muy particular ya que la dirección de la red de drenaje es de Norte a Sur, lo cual evidencia la presencia de fallas que condicionan la red hidrográfica.

El clima de la cuenca es cálido y húmedo, en virtud de su localización en el valle interandino de los ríos Risaralda y Mapa. Conforme a las características climáticas enunciadas en las Agendas para la Gestión Ambiental de los municipios de influencia, tiene una temperatura media máxima de 24°C que se encuentra en la cota 900 m en el valle del río Risaralda, al tiempo que se registra una temperatura mínima de 6°C en el cerro de Tatamá. Como consecuencia de las variaciones de temperatura y altitudinales.

La variedad altimétrica de la Cuenca influye de manera directa sobre el régimen de distribución de las lluvias, la temperatura y la humedad del territorio. La precipitación media anual para la cuenca es de 2.086 mm, con valores que oscilan entre los 2900 y 1600 mm. La cuenca se caracteriza por presentar dos periodos de relativa sequía y dos periodos húmedos. Esta distribución corresponde a un régimen de precipitación tipo ecuatorial (bimodal) con influencia mitigada de los alisios norte que penetran en la región desde el Chocó por el boquerón que corta la Cordillera Occidental entre los cerros Tatamá y Caramanta, influencia ésta que se advierte porque el periodo seco de principio de año es más prolongado que el de mitad de año

Tabla 1 Datos básicos de la cuenca del río Risaralda

DATOS BÁSICOS CUENCA RÍO RISARALDA		
ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	
Geográficos	Departamento	Risaralda y Caldas
	Municipios	Los municipios que tienen jurisdicción dentro del POMCA de Risaralda, son para el departamento de Caldas: Anserma, Belalcázar, Riosucio, Risaralda, San José y Viterbo. En el departamento de Risaralda son los municipios en la cuenca son: Apía, Balboa, Belén de umbría, Guática, La Celia, La Virginia, Mistrató y Santuario.
	Área	La cuenca del río Risaralda ostenta un área total de 125.600 ha., de las cuales 51.281,32 ha. Corresponden al departamento de Caldas y el restante 74.318,32 ha. Al departamento de Risaralda.
	Ubicación espacial	La cuenca hidrográfica del río Risaralda se desarrolla en el flanco occidental de la cordillera Central, entre las coordenadas 777,000W y 817,000W, y las coordenadas 1°034,000N y 1°105,000N, en los departamentos de Caldas y Risaralda, donde el 60 % corresponde al Departamento de Risaralda y el 40% al de Caldas; tiene un área de drenaje de 1470 km², hasta su

		desembocadura en el Río Cauca, y se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental.
Fisiográficos	Zona Alta	Hacia la parte alta de la cuenca, se encuentran las zonas del sector de Riosucio, que representa la menor parte del área, con condiciones altas de susceptibilidad, cabe destacar que la mayor afectación del municipio de Mistrato se encuentra en zona rural, afectando también la zona urbana, y condicionadas por usos del suelo y pendientes altas, hacia el municipio de Guática, parte alta.
	Zona Media	La parte media de la cuenca, corresponde principalmente hacia el casco urbano del municipio de Santuario, y veredas aledañas como el sector de la marina. Representando el municipio de tiene mayor susceptibilidad.
	Zona Baja	La parte baja de la cuenca, a pesar de tener condiciones topográficas correspondiendo a valles, espinazos y Peneplanicie, presenta condiciones altas condiciones susceptibles en su mayoría por los lineamientos y fallas que se presentan dentro de la cuenca.
Hidrográficos	Nacimiento	Arroyohondo a una altura de 3.250 m.s.n.m.
	Desembocadura	Río Cauca a los 900 m.s.n.m.
	Afluentes (Subcuenca).	R. Risaralda, R. Mapa, R. Arroyohondo, R. Guática. Q. Serna, Q. Chapatá, R. Guarne, Q. Samaria, R. Totui, Q. el Águila (Q. El Guamo), Q. Apía (Alta), R. Peñas Blancas, R. San Rafael, R. del Oro.
Clima	Temperatura	<p>El clima de la cuenca es cálido y húmedo, en virtud de su localización en el valle interandino de los ríos Risaralda y Mapa. Tiene una temperatura media máxima de 24°C que se encuentra en la cota 900 m en el valle del Río Risaralda, al tiempo que se registra una temperatura mínima de 6°C en el cerro de Tatamá. Como consecuencia de las variaciones de temperatura y altitudinales. La variedad altimétrica de la Cuenca influye de manera directa sobre el régimen de distribución de las lluvias, la temperatura y la humedad del territorio.</p> <p>La región presenta una gran variedad de climas, desde las zonas bajas con temperaturas superiores a 22° C, en la planicie del Valle del Cauca, hasta zonas más altas, con temperaturas medias de 15° C en la zona montañosa.</p> <p>La parte alta de la cuenca, se presentan temperaturas medias de 14 °C, posteriormente hacia la parte media de la cuenca la temperatura promedio es de 22 °C y hacia la parte baja se presentan valores que oscilan entre 26 y 30 °C.</p>
	Precipitación	La precipitación media anual para la cuenca es de 2.086 mm, con valores que oscilan entre los 2900 y 1600 mm. La cuenca se caracteriza por presentar dos periodos de relativa sequía y dos periodos húmedos. Esta distribución corresponde a un régimen de precipitación tipo ecuatorial (bimodal) con influencia mitigada de los alisios norte que penetran en la región desde el Chocó por el boquerón que corta la Cordillera Occidental entre los cerros Tatamá y Caramanta, influencia ésta que se advierte porque

		el periodo seco de principio de año es más prolongado que el de mitad de año.
	Humedad	La humedad relativa, al igual que la precipitación crece en la medida en que se asciende por las montañas que limitan la cuenca presentando valores medios que, en su mayoría, oscilan entre 70% en los meses secos (enero a marzo) y 85% en los periodos en que aumentan las lluvias (mediados de abril hasta el mes de noviembre).
	Evaporación	La evaporación en la cuenca del río Risaralda, hacia la parte alta se presentan valores de 950 mm, hacia la parte media valores de 1200 mm y hacia la parte baja valores de 1400 mm
	Radiación Solar	En la estación La Camelia, se registran valores medios mensuales multianuales que oscilan entre 110 horas en el mes de abril (el menor valor) y 160 horas en el mes de agosto (el mayor valor), se observa un comportamiento bimodal.
Vegetación	Usos Coberturas y del Suelo	<p>En la cuenca del río Risaralda las coberturas de bosque ocupan el 31,66% del área total de la cuenca, mientras que los territorios destinados a desarrollo agropecuario ocupan el 65,27% del área total de la cuenca.</p> <p>Para el año 2000-2004, se destaca el predominio de las coberturas naturales como: Bosque denso con 22.29%, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 16.08% y pastos limpios con 12.67%. Para el año 2015 predomina las coberturas naturales de Bosque denso con 23.56%, Cultivos permanentes arbustivos con 15.82%, Mosaico de pastos y cultivos con 11.35% y Pastos limpios con 11.33%</p> <p>Se destaca el incremento significativo del área de cobertura natural de Cultivos permanentes arbustivos (cultivos de café), seguido de la cobertura de Mosaico de pastos y cultivos, bosque denso y los tejidos urbanos continuos y discontinuos.</p> <p>Las coberturas que presentaron disminución de área correspondieron a 9 destacando la pérdida de área de Bosque abierto, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Bosque fragmentado, Tierras desnudas y degradadas y Cultivos permanentes herbáceos.</p>
Población	Dinámica Poblacional en la cuenca.	La población de la cuenca para el año 2015 está estimada en 185.535 habitantes. La Cuenca Risaralda tiene un área de 125.600 has, y su territorio es compartido por los departamentos de Caldas y Risaralda con 6 y 8 municipios respectivamente cada jurisdicción. Está conformada por 340 veredas, 120 de Caldas y 220 de Risaralda.
	Densidad Poblacional	La densidad poblacional total promedio de la cuenca es de 147,72 hab/Km ² , pero como ya se dijo, este valor se desvirtúa al ser un promedio entre valores tan extremos, por tanto es necesario obtener la densidad poblacional urbana, y la rural independientemente. La densidad poblacional urbana en la cuenca es de 10.326,89 hab. /Km ² El municipio con mayor

		densidad poblacional urbana, es La Virginia, seguido por Santuario y Risaralda. La densidad poblacional rural en la cuenca es 67,14 hab./Km ² . El municipio con mayor densidad poblacional rural es Guática, seguido por Riosucio. La cuenca se caracteriza por ser el de mayor densidad poblacional urbana y el de menor densidad poblacional rural.
	Comportamiento Poblacional por Edades.	La cuenca presenta una muy buena base piramidal de 0 a 15 años, a partir de la cual se observa como poco a poco se va disminuyendo, hasta alcanzar su máxima disminución en el rango de 30 a 45 años. A partir de los 45 años, vuelve y se amplía la pirámide hasta volver nuevamente a estrecharse con tendencia de punta en las edades de los adultos mayores. En este sentido, se pueden inferir tres procesos diferentes, el primero para las edades de 0 a 26 años, grupo que representa el 47% del total de la población en 2015. El segundo para la población de 30 a 50 años, y el tercero para la población de 50 años hasta más de los 80.
	Comportamiento Poblacional por Sexo	De los 185.535 habitantes de la cuenca, el 50,16% son hombres, equivalentes a 93.056, y el 49,84% son mujeres equivalentes a 92.479.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

2 GEOLOGÍA

La homologación de las unidades geológicas de la cuenca del río Risaralda, a escala 1:25.000 con fines de Ordenación de cuenca, exige el aprovechamiento y análisis de la información existente, que como referente principal corresponde a la información proveniente del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000, como son las planchas 186- Río sucio, 204 – Pueblo Rico, 205- Chinchiná y 224-Pereira y los Mapas Geológicos generalizados de los departamentos de Caldas y Risaralda a escala 1:200.000 (González, 1993), información digitalizada inicialmente y revisada en términos de definir contactos y establecer los respectivos traslapes entre unidades.

Adicionalmente, se soportó dicha cartografía geológica con fines de Ordenación de cuenca, con la generación del modelo digital del terreno, análisis e interpretación de fotografías aéreas y los controles de campo para la respectiva calibración, que permitieron la toma de decisiones en la homologación cartográfica para fines de su aplicación al Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Risaralda (POMCA).

2.1. Geología Básica con fines de Ordenación de Cuencas

2.1.1. Introducción

El mapa geológico de la cuenca del río Risaralda con fines de ordenamiento a escala 1:25.000 es el resultado de los ejercicios técnicos desarrollados a través de la revisión y evaluación de la cartografía geológica de los departamentos de Caldas y Risaralda; las planchas del Servicio Geológico Colombiano (SGC) a escala 1:100.000; la generación del modelo digital del terreno a partir de información secundaria; la interpretación de fotografías aéreas y los controles de campo con el objeto de verificar unidades, contactos, rasgos estructurales y unidades geomorfológicas.

El mapa geológico presentado para la cuenca del río Risaralda se convierte en una herramienta de mucha utilidad para los actuales procesos de revisión y ajustes de ordenamiento territorial locales y el actual proceso de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Risaralda, toda vez que dicho insumo posibilitará un mejor aprovechamiento de los territorios desde cualquiera de los ámbitos sectoriales y fortalecerá el conocimiento de las restricciones ambientales territoriales desde la dimensión de la gestión del riesgo de desastres.

Es importante precisar que la información aquí presentada cobra validez y significado sólo para fines de ordenamiento de la cuenca hidrográfica, en virtud a que los alcances de la cartografía geológica a escala 1:25.000 no cuenta con la plenitud de

Los protocolos establecidos por el Servicio Geológico Colombiano. No obstante, es pertinente aclarar que la información levantada y presentada recoge los insumos técnicos y temáticos del SGC a escalas 1:100.000 y 1:200.000, además del conocimiento técnico que se tiene de la cuenca a partir de la revisión de toda la información disponible en las CAR de los departamentos de Caldas y Risaralda, los municipios localizados en la cuenca hidrográfica y el levantamiento de información y controles de campo.

2.1.2. Resumen

La caracterización de las unidades geológicas de la cuenca del río Risaralda, a escala 1:25000 con fines de ordenación de cuenca, se genera a partir de la información base proporcionada por el Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000 (planchas pdf del servicio geológico Colombiano) y 1:200.000 (Mapas Geológicos Generalizados de los departamentos de Caldas y Risaralda, 1993), además de las correspondientes verificaciones en campo de las características y georreferenciación de cada una de ellas. Adicionalmente, se soportó dicha cartografía geológica con fines de ordenación de cuenca, con la generación del modelo digital del terreno, análisis e interpretación de fotografías aéreas y los controles de campo para la respectiva calibración.

La cuenca del Río Risaralda se localiza sobre las vertientes oriental y occidental de las cordilleras Occidental y Central respectivamente, asociadas al cordón montañoso denominado Cuchilla del San Juan, de naturaleza volcánica,, con tal diversidad de unidades geológicas y ambientes geotectónicos, que no es extraño encontrar condiciones geomorfológicas particulares que hacen de la cuenca un territorio diverso y con multiplicidad de factores que condicionan su aprovechamiento y que eventualmente tipifican las condiciones de riesgo predominantes en la zona.

Se registran en la cuenca del Río Risaralda unidades litológicas que corresponden a emplazamientos de stocks gabroides a lo largo del Sistema de Fallas Cauca-Romeral y secuencias volcanosedimentarias, cuya depositación se inicia en el Cretáceo temprano y se prolonga hasta el Paleoceno. Adicionalmente, se encuentran rocas de composición monzonítica a tonalítica del Cenozoico temprano, además de intrusivos subvolcánicos de composición andesítica o dacítica.

El rasgo tectónico más destacado es la depresión del río Cauca que limita estructuralmente las cordilleras Occidental y Central a lo largo de sistemas de fallas paralelas a sus bordes y que convergen hacia la zona del valle.

En general las unidades litológicas predominantes en la zona son la Formación Barroso (Kvb), la Formación Penderisco (Kaa), el Plutón de Mistrató (Ttdgm), los gabros de Anserma (Kga) y los depósitos aluviales recientes (Qar) del río Risaralda.

2.1.3. Metodología

Las actividades planteadas para la ejecución de la caracterización geológica del área están basadas en lo establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minhacienda, Fondo de Adaptación 2014)”. La metodología utilizada implicó inicialmente el análisis del mapa geológico a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano, para posteriormente efectuar los controles de campo para definir el Mapa de Geología Básica con fines de Ordenamiento de cuencas a Escala 1:25.000 para seguir el análisis posterior de UGS y evaluaciones posteriores. A continuación, se relacionan las actividades las cuales fueron ejecutadas de manera secuencial:

El análisis de sensores remotos se realizó mediante el uso de imágenes de Google Earth (2015) las cuales nos presentan un nivel de detalle apropiado para la ejecución del presente estudio y no se requirió el uso de imágenes adicionales para la cuenca.

Los procesos de interpretación de imágenes aéreas descritas anteriormente fueron correlacionados con el DTM el cual tiene una resolución de 12,5 m, de la zona que

permitieron definir las geoformas para establecer una correcta evaluación geomorfológica del área como se detalla a continuación siguiendo lo establecido en el Protocolo de Riesgos

En la cuenca se aprecia un Dominio Geológico muy marcado por geoformas fuertes de ladera característica de una tectónica muy predominante, en otros sectores una cubierta de depósitos cuaternarios especialmente cenizas y depósitos aluviales que modelaron el paisaje inicial hacia el valle del Risaralda en la parte baja, sobre los municipios de Viterbo, La Virginia que corresponden al 34.53% de la cuenca y representados en 43372.21Ha. es de aclarar que el 65.47% del área de trabajo que corresponde a un total de 82228.69Ha, se encuentran cartografiados como materiales del cretácico donde se incluyen unidades geológicas representativas de la cordillera occidental como la Formación Penderisco hacia el sector de los municipios de Santuario, Apía, Balboa y La Celia y la Formación Barroso hacia el flanco oriental de la cuenca sobre los municipios de Belalcázar, San José, Risaralda, Anserma y Rio Sucio, lo que establece que sean materiales muy poco afectados por intervención antrópica, adicionalmente sus condiciones de meteorización alta favorecen las condiciones para la generación de procesos erosivos en el territorio

Luego del análisis de sensores remotos definido anteriormente, se determinaron los mapas de geología con fines de ordenamiento territorial.

2.1.3.1. Evaluación de la información Disponible (Información secundaria)

Con base en la información disponible recopilada tanto en la fase de aprestamiento como en la fase diagnostica, y los documentos tomados de las entidades gubernamentales, tal como el servicio geológico colombiano (SGC) e información de planes de ordenamientos territorial, se hace una selección de la información con base en lo solicitado según el protocolo para el desarrollo del mismo.

En esta etapa se compilo, analizo y se consolido la información geológica del área obtenida en el Servicio Geológico Colombiano (SGC), a escala 1:500.000, los mapas departamentales a escala 1:200.000, para los departamentos de Caldas y Risaralda y las planchas geológicas a escala 1:100.000 por medio de las cuales se obtuvo un cubrimiento cartográfico del 100%.

Con el propósito de lograr un cubrimiento total de la cuenca en términos de calidad de la información recopilada, se obtuvo además de los insumos cartográficos el registro de las bases de datos ambientales con énfasis en riesgo de los municipios que constituyen la cuenca realizados por medio de la CARDER, con el fin de adquirir un idóneo conocimiento geológico y geomorfológico de la cuenca que permitan realizar un diagnóstico más detallado de estos componentes.

En la Tabla 2 se presenta la recopilación de la información con su respectivo cubrimiento y calidad de la información, y en la Tabla 3 se muestran la información cartográfica del SGC utilizada para el desarrollo del presente documento técnico.

Tabla 2 Cubrimiento y calidad de la información

DOCUMENTO TÉCNICO	MUNICIPIO	FUENTE	FECHA	CALIDAD INFORMACIÓN
BASE AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN RIESGOS	APÍA	CARDER	ABRIL, 2001	Buena
BASE AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN RIESGOS	BALBOA	CARDER	ABRIL, 2001	Buena
BASE AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN RIESGOS	BELÉN DE UMBRÍA	CARDER	DICIEMBRE 2001	Buena
BASE AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN RIESGOS	GUÁTICA	CARDER	ABRIL, 2001	Buena
BASE AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN RIESGOS	LA CELIA	CARDER	ABRIL, 2001	No hay información cartográfica
BASE AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN RIESGOS	LA VIRGINIA	CARDER	FEBRERO, 2002	Buena
BASE AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN RIESGOS	MISTRATÓ	CARDER	MAYO, 2001	Buena
BASE AMBIENTAL CON ÉNFASIS EN RIESGOS	SANTUARICO	CARDER	ABRIL, 2001	Buena

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 3 Información Cartográfica Compilada

MAPA	Fuente	Escala	Año	Número de plancha
Geología Regional	SGC	1:100000	1980	186 RIOSUCIO
Geología Regional	SGC	1:100000	1999	204 PUEBLO RICO
Geología Regional	SGC	1:100000	1998	205 CHINCHINÁ
Geología Regional	SGC	1:100000	1984	224 PEREIRA

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Como resultado del análisis de la información compilada cartográfica y los documentos técnicos de los municipios de la cuenca evaluados, se obtuvo el mapa geológico regional ajustado con respecto a las labores de campo efectuadas con producto a escala 1:100.000 para el área, acompañada de una leyenda de los tipos de rocas, edades y descripciones generales.

En el Anexo 1 se remite el producto D-04 Mapa de Geología Regional con fines de ordenación de cuencas hidrográficas a Escala 1:100.000.

Adicionalmente se revisaron los documentos existentes en las diferentes entidades tanto a nivel municipal como Departamental, donde se evaluaron los aspectos geológicos que se asociaron a la zona de trabajo.

En la fase de aprestamiento se efectuó el análisis de eventos ocurridos en la cuenca y este insumo fue evaluado especialmente para la verificación de los procesos morfodinámicos y que servirán de soporte para la evaluación de la gestión del riesgo.

2.1.3.2. Interpretación de Sensores Remotos

El análisis de sensores remotos se realizó mediante la evaluación de imágenes de satélite (Google Earth) para el área de estudio, las cuales aportaron la cobertura total del área con menos detalles hacia el sector Norte donde la resolución y calidad de la imagen es mucho menor efectuando la fotointerpretación geológica y geomorfológica detallando el tipo de materiales existentes, depósitos, fallas, lineamientos, entre otros. Es preciso aclarar que según el detalle aportado por las observaciones efectuadas a las imágenes utilizadas (Google Earth), no fue necesaria la utilización de otro tipo de fotos o imágenes adicionales para el estudio.

Adicionalmente en esta etapa y mediante la utilización del SIG, se superpuso la información consolidada a escala 1:100.000 con la se identificaron los sitios de interés prioritarios para iniciar el control geológico de campo o puntos de Control.

En el anexo 1 y en específico en las salidas cartográficas, DBF-06, se muestran las zonas de interés prioritario, subdividido en cinco zonas, repartidas en general sobre toda el área de la cuenca, realizado con base en la densidad de eventos morfodinámicos que se presentan sobre la misma, en combinación con las condiciones del terreno tales como topografía, pendientes y densidad de fracturamiento se definen unas zonas prioritarias para iniciar la etapa de verificación y control de campo; las zonas mencionadas anteriormente corresponden específicamente al sector de Balboa y vía Santuario con aproximadamente 2 a 3 movimientos en masa por kilómetro cuadrado, la fuerte incidencia tectónica de la zona, en donde se evidencian macizos rocosos de la Formación Penderisco fuertemente deformados y cizallados. Otra zona de vital importancia es hacia el sector de Apía, en

donde también se evidencia una fuerte densidad de fracturamiento caracterizado por una alta tasa de deformación, en donde se observan pliegues homoclinales y desprendimientos tipo cuña en los taludes de la Formación Penderisco, otra zona de interés prioritario se encuentra localizada entre los municipios de Belén de Umbría y Mistrató en donde se evidencia una alta concentración de procesos morfodinámicos y erosión antrópica por actividades mineras, así mismo también se evidencia una alta actividad tectónica enmarcada por lineamientos; hacia la cuchilla donde se encuentran localizados los municipios de Belalcázar y San José se identificó otra zona de interés prioritario, escogida por la presencia de cambios en la pendiente, procesos denudacionales y el dominio litológico muy marcado que presenta la Formación Barroso hacia este sector y la última zona evaluada para iniciar las actividades de campo corresponde al sector de Riosucio, en donde se observan procesos morfodinámicos, y presencia de varias unidades geológicas entre las que se destacan La Formación Combia, la Formación Amagá y la Formación Barroso.

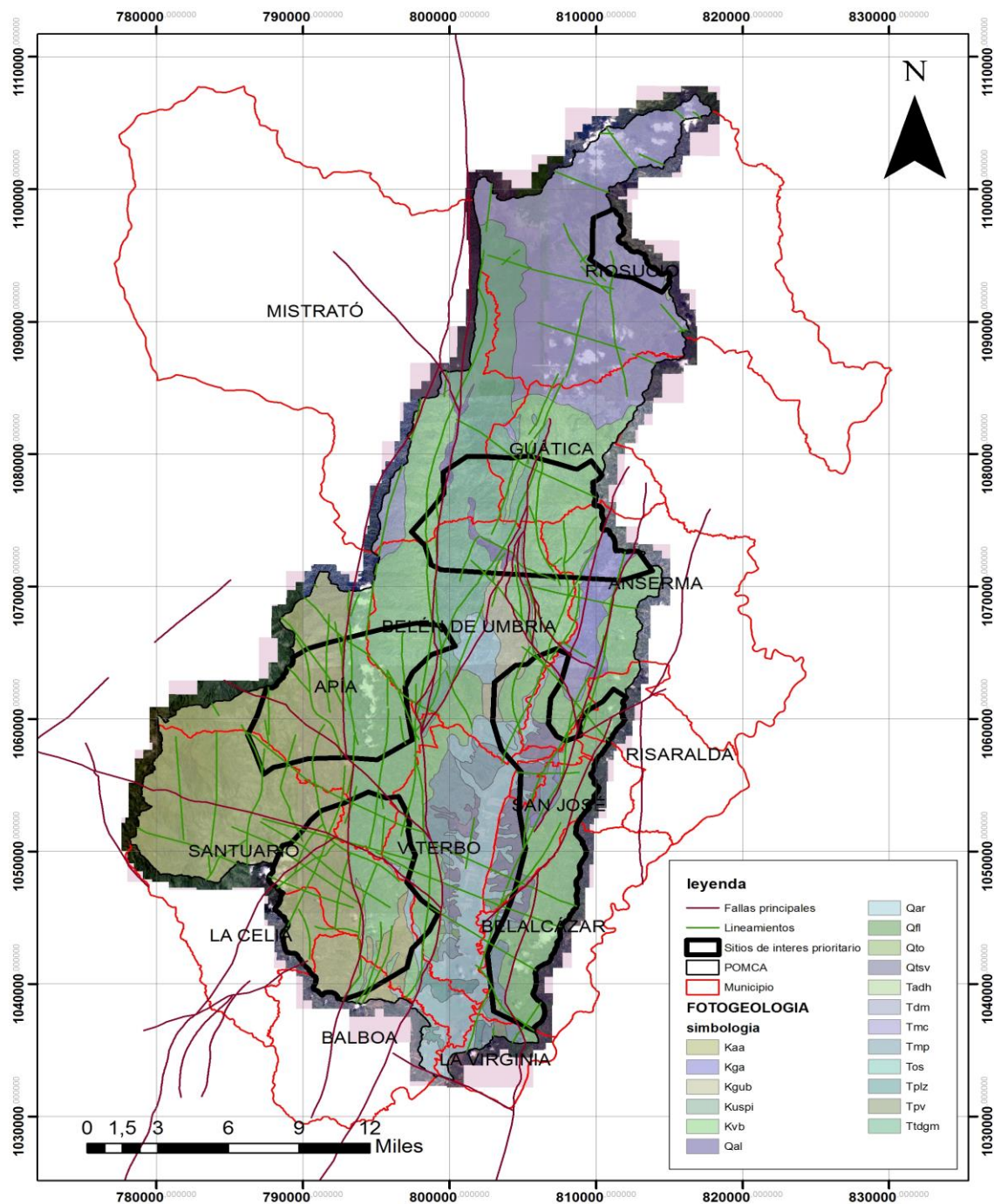


Figura 1. Identificación de sitios de interés prioritarios con base a la Fotogeología para geología básica

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

Basados en la identificación de los sitios de interés prioritarios determinados a partir de fotointerpretación geológica, se procedió a realizar los controles de campo para verificar, georreferenciar y caracterizar los procesos morfodinámicos por medio de los formatos de campo establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en la anexo 1

En la Figura 2 Se remite el análisis fotogeológico realizado basado en las fotografías aportadas por Google Earth y donde se detallan las unidades delimitadas en el proceso de fotointerpretación como también los puntos de controles de campo para las unidades evidenciadas.

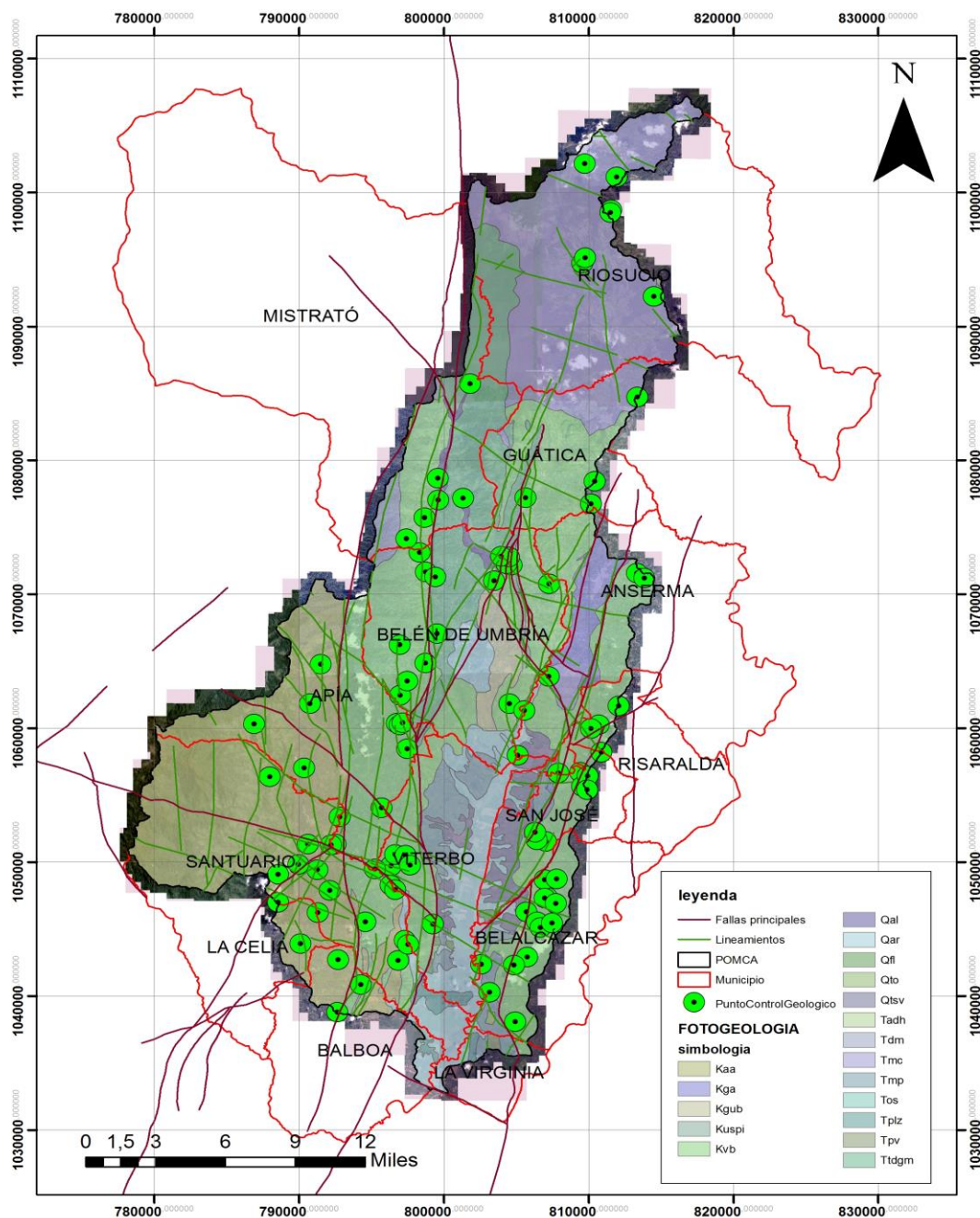


Figura 2. Análisis de fotografías aéreas detallando las Unidades Geológicas presentes. Obsérvese los puntos en color verde que representan los puntos de control de campo planteados.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

2.1.3.3. Control de Campo.

Basado en los datos obtenidos anteriormente se realizaron los controles de campo con el fin de consolidar la cartografía geológica, haciendo uso del Formato 1 establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el anexo 2, en dicho formato se evaluaron los siguientes aspectos:

- **Aspectos generales del sitio tales como:** Numero de Estación, Fecha, coordenadas, altura (GPS), origen, plancha 1:25.000 y referente geográfico.
- **Tipo de Roca-Deposito-Suelo:** Textura, orientación, datos estructurales, porosidad y permeabilidad, perfil de meteorización, tipo de depósito descripción tipo de suelo descripción horizonte de suelo, referencia de fotos y notas.

La información obtenida en el formato relacionado anteriormente fue procesada y evaluada para la elaboración y ajuste de los mapas temáticos de Geología regional y Geología Básica.

Para la definición de los puntos de control se tuvo en cuenta la categoría No 5 de la cuenca del Rio Risaralda determinada en el Protocolo y la cual determina que se realicen 5-6 controles de campo por cada plancha 1:25.000.

Para el caso concreto del área de estudio se realizaron **99** puntos de control de campo distribuidos de manera estratégica según lo establecido anteriormente y de esta manera se garantiza el cubrimiento de la zona como lo determinan los lineamientos técnicos relacionados anteriormente.

Según lo evaluado en esta etapa como en la fase de sensores remotos se efectuaron algunos ajustes de contactos geológicos para las Unidades localizadas hacia el Noreste de la zona de estudio.

En el anexo 2 se remiten los formatos diligenciados en los puntos de control geológico basados en el PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE MANEJO Y ORDENAMIENTO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (noviembre 2014).

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de las fotografías tomadas en la etapa de control de campo.

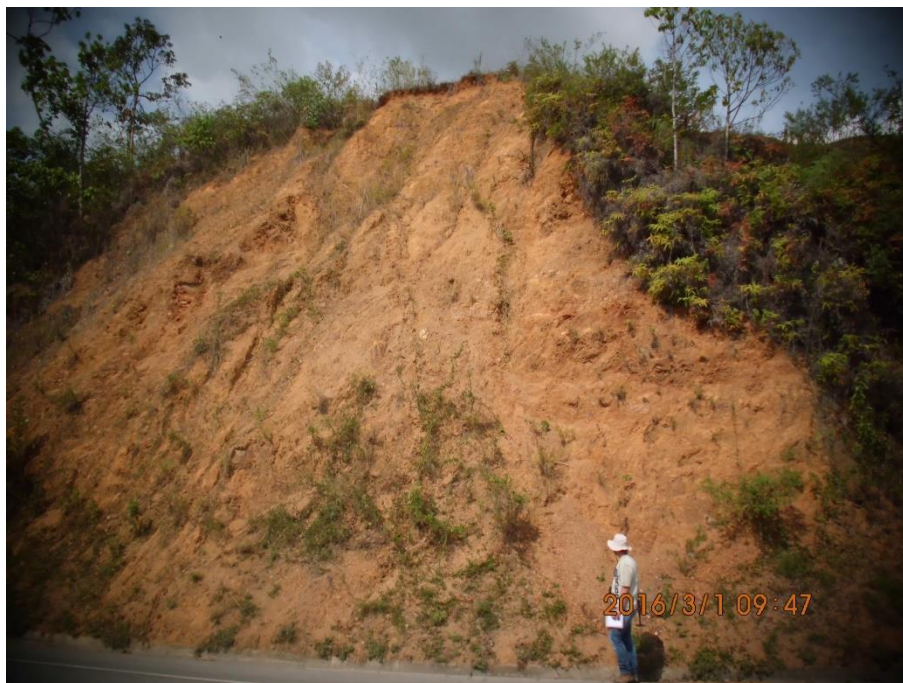


Figura 3. Punto de control Geológico. Vía Balboa
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

2.1.3.4. Geología básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas a escala 1:25000.

Teniendo como insumo los controles de campo adelantados en la etapa anterior, se consolidó el mapa geológico definitivo a escala 1:25.000 incluyendo el tipo de rocas, depósitos, rasgos estructurales, familias predominantes de diaclasas entre otros; teniendo en cuenta los ajustes en contactos geológicos necesarios y evidenciados en la etapa de control de campo como también por la información aportada por el DTM de la zona. (Resolución 12,5 m)

2.1.3.5. Elaboración del Informe

En esta etapa se realizó la evaluación de la información obtenida en los pasos anteriores y se procedió a la elaboración del informe geológico.

En la siguiente figura se representa el flujograma que contiene las actividades desarrolladas para el componente de Geología.

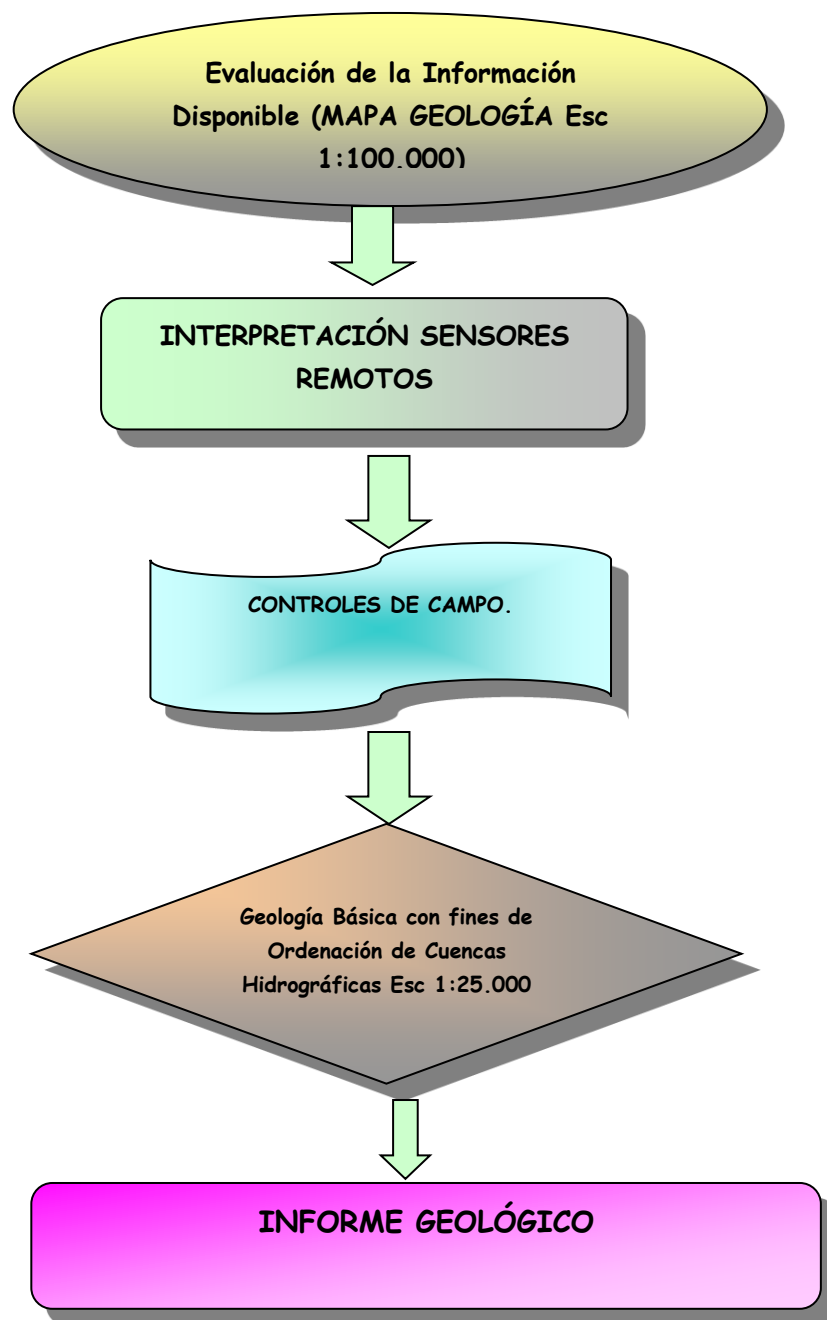


Figura 4. Esquema de las actividades desarrolladas para Geología
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.1.4. Marco geológico regional

El sector de la cuenca del Río Risaralda, dentro del contexto regional y en el marco de los procesos de deformación y evolución geológica, guarda relación con el contexto de convergencia de las Placas Nazca, el Bloque Andino, y la Placa de Sur América, a lo que se suman en su formación más reciente, los Bloque Panamá- Chocó y la Placa Caribe (J. N. Kellogg et al., 1985, Duque-Caro, 1990; Pennington, 1981; J.N. Kellogg y Bonini, 1982; En: López, M.C. 2009).

Resulta relevante la influencia del denominado Bloque Panamá-Chocó en la evolución de la Cordillera Occidental, y a la generación de la cuenca del Río Risaralda, así como el límite occidental del Bloque Andino, que corresponde a las Fallas del Sistema Cauca-Almaguer (Sánchez y Pardo-Trujillo, 2003), que, para el caso de la cuenca del Río Risaralda, corresponderían a la Falla Quebradanueva.

Para tener un marco de referencia para el POMCA del río Risaralda, se avanzó entonces en la homologación de la cartografía geológica básica, partiendo por supuesto de la información emitida por el Servicio Geológico Colombiano. Al respecto, es necesario referir que existen diversos niveles de cartografía geológica, que ameritan ser diferenciados y reconocidos dentro del proceso secuencial de análisis de unidades litoestratigráficas y cronoestratigráficas.

El “Atlas Geológico de Colombia” correspondiente a una escala 1:100.000, que sin embargo fue editado, compilado y simplificado con base en productos de mayor detalle cartográfico, específicamente las planchas 186 – Riosucio (B. Calle Z., H. González I., R. de la peña D., E. Escorce B., J. Durango M. y Otros, 1980), 204 – Pueblo Rico (Gilberto Zapata y Ubaldo Cossio, 1999), 205 – Chinchiná (Juan José Estrada L., Ricardo Viana R. 1998), 224 – Pereira (Humberto Caballero A., Gilberto Zapata G. et. al. 1984) y los Mapas Geológicos Generalizados de los departamentos de Caldas y Risaralda a escala 1:100.000 (González, 1993), de las cuales se excluyeron ciertos polígonos de conformidad con la escala del Atlas obtenido, de tal forma que fue necesario efectuar su reincorporación y homologación, cuando entre planchas contiguas se evidenciaron diferencias en nomenclatura. De cualquier forma, se debe tener presente que los mapas geológicos departamentales referidos, constituyen igualmente un producto de compilación a partir de las planchas 1:100.000.

En la siguiente figura se presenta la ubicación de la cuenca del Río Risaralda en el contexto del mapa geológico de Colombia (SGC, 2015).

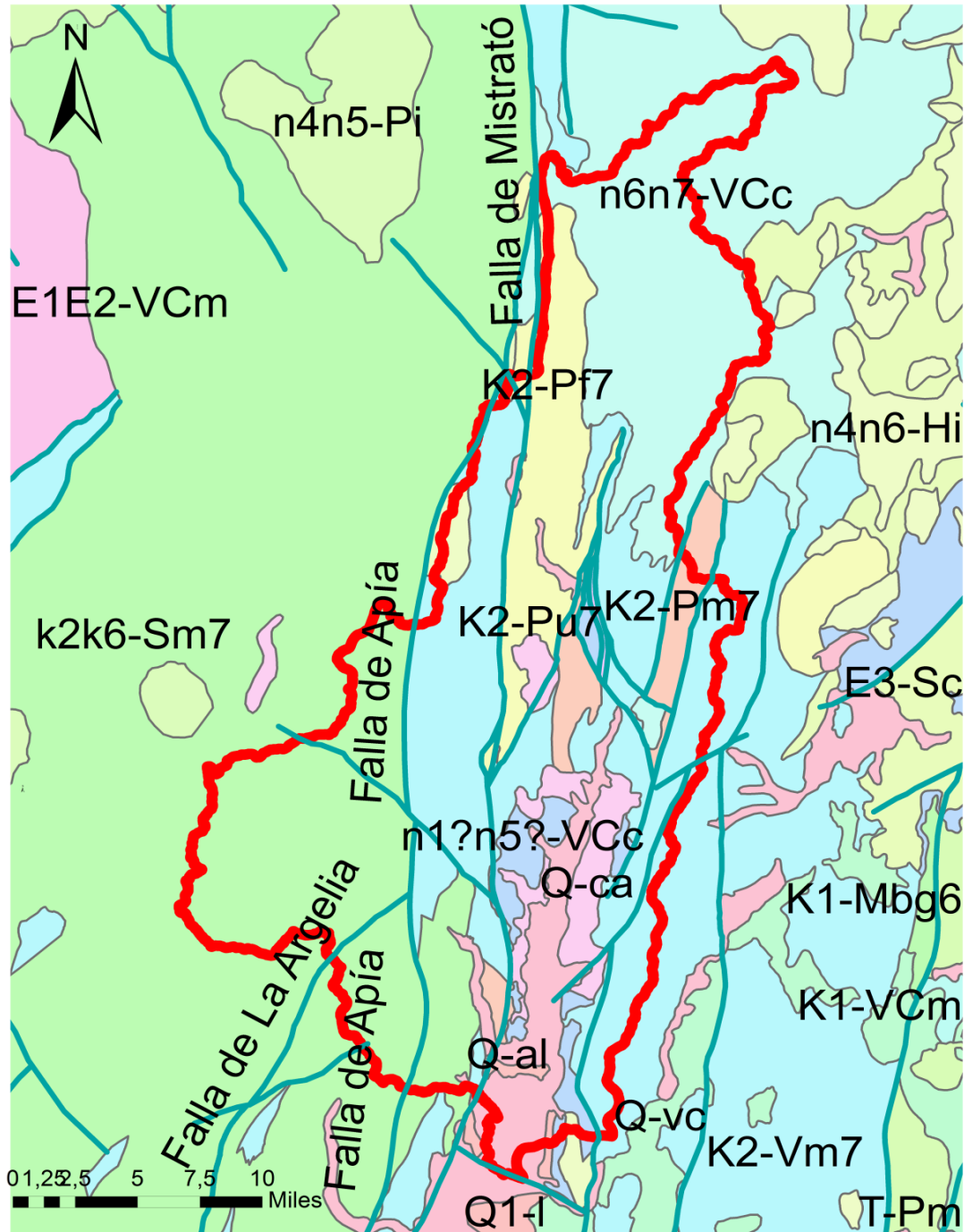


Figura 5. Relación de unidades litoestratigráficas en el contexto del POMCA del río Risaralda
 Fuente: Atlas Geológico de Colombia a escala 1:100.000, 2015

2.1.5. Litoestratigrafía

Para tener un marco de referencia para el POMCA del Río Risaralda, se desarrolló la homologación de la cartografía geológica básica, partiendo por supuesto de la información emitida por el Servicio Geológico Colombiano. Al respecto, es necesario referir que existen diversos niveles de cartografía geológica, que ameritan ser diferenciados y reconocidos dentro del proceso secuencial de análisis de unidades litoestratigráficas y cronoestratigráficas.

- El “Atlas Geológico de Colombia” que se presenta a escala 1:100.000. Editado, compilado y simplificado con base en productos de mayor detalle cartográfico. Ver planchas del municipio de Risaralda.
- Los mapas departamentales a escala 1:200.000, para los departamentos de Caldas y Risaralda.
- Las Planchas geológicas a escala 1:100.000. Para la cuenca del Río Risaralda, se emplearon las planchas 186, 204, 205 y 224 según la denominación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Con los insumos mencionados como referencia para iniciar el proceso de diagnóstico en aspectos geológicos, para el POMCA del Río Risaralda, el análisis se centró en la revisión y ajuste de las planchas geológicas a escala 1:100.000, existentes y definir las equivalencias de las unidades presentes mediante el análisis geomorfológico, uso del DTM (resolución 12,5 m) y controles de campo para definir contactos y tipos de materiales presentes.

La salida cartográfica geológica a escala 1:25.000, incluye como insumos intermedios la ubicación de los puntos de control de campo y la fotointerpretación con el criterio de expertos en la geología local, para posteriormente definir los materiales cuaternarios, principalmente llanuras de inundación y diversos niveles de terrazas, abanicos coluvio-aluviales y depósitos de piedemonte, así como suelos residuales de rocas básicas, rocas sedimentarias e intrusivos dioríticos, dacíticos y andesíticos presentes en la cuenca.

El anexo 1 se entrega salida cartográfica del mapa de geología regional para la cuenca.

En la Tabla 4 se presenta el cuadro cronoestratigráficas de las unidades geológicas aflorantes en la cuenca del Río Risaralda a escala 1:100.000

Tabla 4 Unidades litológicas principales de la cuenca hidrográfica río Risaralda (SGC)

Era	Período	Época	Edad	Legenda Litoestratigráfica	Unidad Cronoestratigráfica Atlas SGC	Descripción Litoestratigráfica
CENOZOICO	Cuaternario	Pleistoceno-Holoceno		Qal - Depósitos aluviales	Q-sl (Aluvión)	Depósitos aluviales recientes
				Qtl - Depósitos de pendiente	Sin denominación en el Atlas (Coluvión)	Depósitos de pendiente
				Qtsv - Sedimentos de Viterbo	Q-co (de abanico)	Gravas, arenas y arcillas con niveles tobáceos y de cenizas volcánicas hacia el techo
				Qto - Formación Pereira	Q-vc (volcano-clástico)	Flujos de lodo y cenizas recientes
		Pleistoceno		Tplz - Formación Zarzal	Q1-I (Paludal)	Areniscas y arcillolitas tobáceas con bancos de diatomitas
	Neógeno	Mioceno-Plioceno	Mesiniense - Zancleano	Tmc - Formación Combia	K2-Pf7 (Plutónico félsico)	Conglomerados, brechas sedimentarias, areniscas y arcillolitas, intercaladas con piroclastos
		Mioceno	Serravaliano-Mesiniense	Ttdgm - Plutón de Mistrató	K2-Pf7 (Plutónico félsico)	Tonalita de grano grueso con variaciones a diorita y gabro
				Tdm - Pórfido dacítico de Mistrato	n4n6-Hi (Hipoabisal intermedio)	Pórfido dacítico de Mistrato
				Td - Rocas Porfídicas Hipoabisales	n4n6-Hi (Hipoabisal intermedio)	Pórfido dacítico
				Tpv - Pórfido Andesítico de La Virginia	n4n6-Hi (Hipoabisal intermedio)	Pórfido Andesítico de la Virginia
				Tadh - Pórfido Andesítico Hornbléndico	n4n6-Hi (Hipoabisal intermedio)	Pórfido Andesítico Hornbléndico
	Aquitaniense?-Tortoniano?	Tmp - Formación La Paila	n1?n5?-VCc (Volcano-clástico continental)	Conglomerados y areniscas de color pardo. Matriz arcillosa		
	Paleógeno	Oligoceno		Tos - Formación Amagú	E3-Sc (Sedimentario continental)	Miembro superior. Areniscas bien cementadas de color crema, arcillas pizarrosas y de color ocre
MESOZOICO	Cretácico	Cretácico Superior		Kuspi - Ultramafita de Puente Umbría - La Isla	K2-Pu7 (Plutónico ultramáfico)	Dunitas serpentinizadas
				Kga - Gabro de Anserma	K2-Pm7 (Plutónico máfico)	Gabro de Anserma. Melagabronoritas olivinicas, gabronoritas y lherzolitas
				Kgub - Gabro uralítico de Belén de Umbría	K2-Pm7 (Plutónico máfico)	Gabro uralítico de Belén de Umbría
			Turoniano-Maastrichtiano	Kaa - Formación Penderisco - Miembro Urrao	k2k6-Sm7 (Sedimentario Marino)	Limolitas, arcillolitas y areniscas con niveles conglomeráticos
				Klb - Grupo Cañasgordas	k2k6-Sm7 (Sedimentario Marino)	Liditas asociadas en cuerpos lenticulares
				Kvb - Formación Barroso	K2-Vm7 (Volcánico máfico)	Diabasas, diababas espilitizadas, basaltos, tobas y aglomerados

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la siguiente figura se muestran las unidades cronoestratigráficas para la cuenca del Río Risaralda.

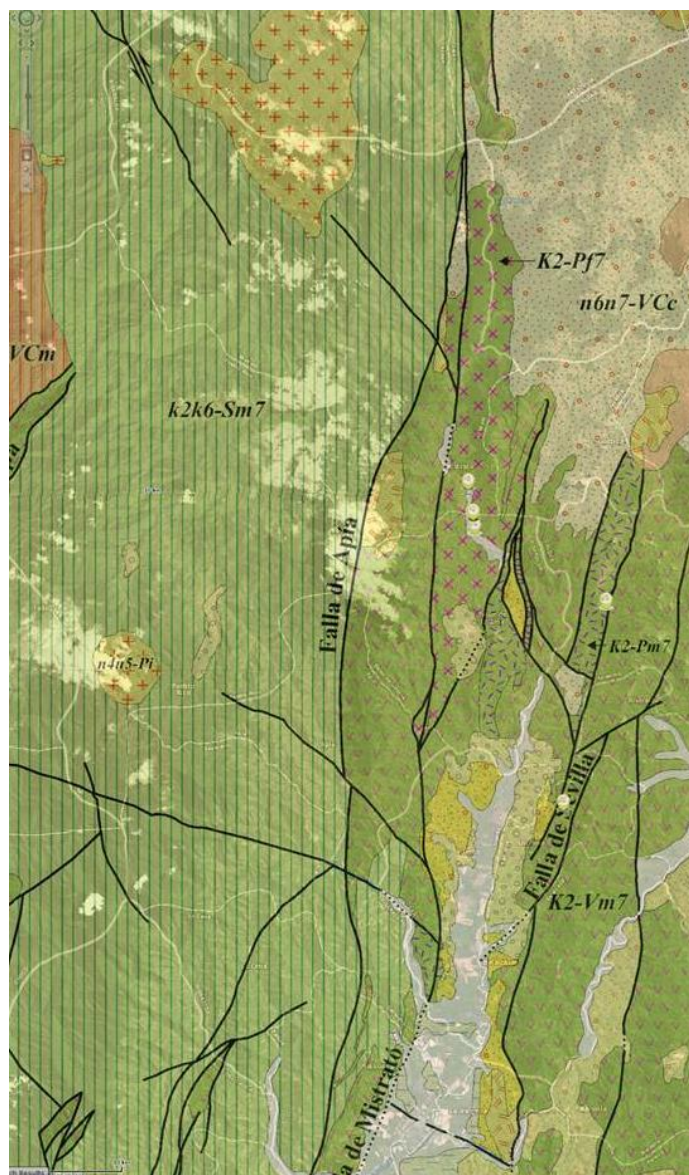
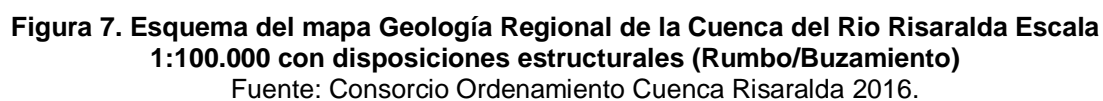


Figura 6. Reconocimiento de unidades cronoestratigráficas de la cuenca del Río Risaralda (SGC).

Fuente: Atlas Geológico de Colombia a escala 1:500.000

En la siguiente figura se presenta el esquema del mapa de Geología Regional a escala 1:100.000



2.1.6. Unidades litoestratigráficas de la cuenca del río Risaralda

La síntesis de las unidades litoestratigráficas que afloran en la cuenca del río Risaralda, se presentan en la siguiente tabla, que sirvieron de base para la depuración del Mapa Geológico Base a escala 1:100.000.

Paralelamente se consideró información procedente de diversos estudios, tales como CARDER - HASKONING, (1987); Parra y James (1984), James, (1986), así como los estudios desarrollados en el marco del Proyecto para la Mitigación de Riesgo Sísmico de los municipios de Risaralda (CARDER, 1997; CARDER 1998 Y CARDER, 2000).

A continuación, se presenta entonces la descripción de las unidades litológicas correspondientes al área de la Cuenca del Río Risaralda, referente para diversas modelaciones temáticas y dentro del ejercicio propio del Plan de Ordenación y Manejo de una Cuenca Hidrográfica.

Se realizó la respectiva interpretación y caracterización de la evolución geológica, iniciando con su respectivo ambiente de origen, así como los fenómenos tectono-estructurales que las afectan, y por supuesto un énfasis particular en la evolución geomorfoestructural y los aspectos neotectónicos reconocidos en el área de análisis.

Como insumos preliminares para la elaboración del mapa de Geología Básica con fines de ordenamientos de cuencas se relacionan el DTM (Resolución 12,5 m) y la geología regional a escala 1:100.00, para posteriormente realizar los controles de campo para definir las unidades presentes y ajuste de contactos geológicos como ocurrido con la Formación Barroso al Norte y Formación Penderisco al Oeste.

En la Figura 8 se remite la salida cartográfica geológica a escala 1:25.000 en la cual preliminarmente se hace un primer acercamiento a las formaciones geológicas superficiales que se convierten en el insumo para el análisis de gestión del riesgo a desarrollar posteriormente.

En el anexo 1 se remite el mapa de Geología Básica a escala 1:25.000

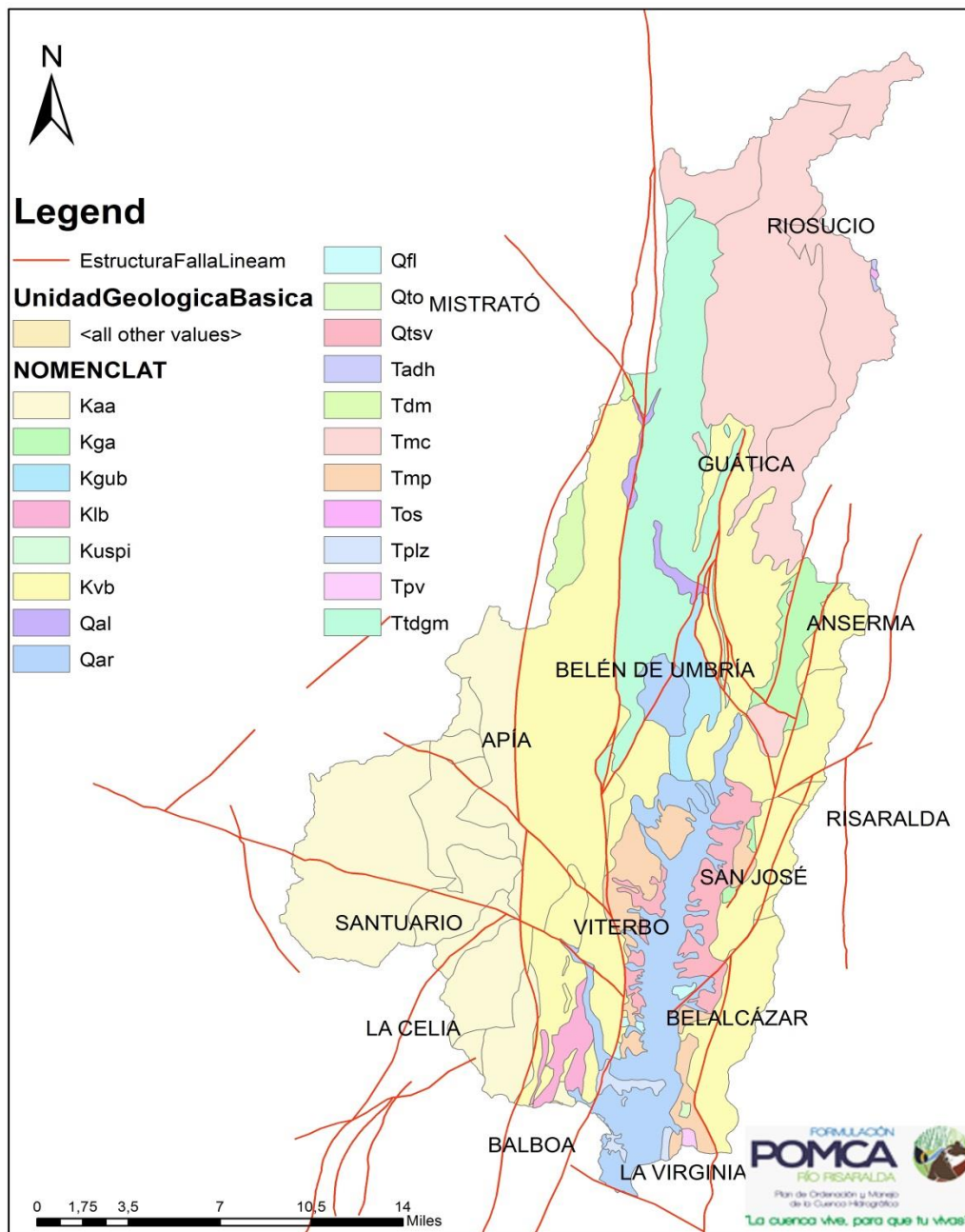


Figura 8. Mapa de unidades litológicas de la cuenca del Río Risaralda, con fines de ordenamiento. Escala 1:25.000.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.1.6.1. Rocas Ultramáficas y Máficas:

Conjunto sedimentario conformado por lavas básicas, materiales Ultramáficas y limolitas silíceas, y que conforman las rocas Ultramáficas de Puente Umbría - La Isla, el Gabro de Anserma y el Gabro Uralítico de Belén de Umbría.

- **Ultramáficas de Puente Umbría – La Isla (Kuspi)**

Estrecho cinturón de rocas Ultramáficas de 13 km de longitud y entre 100 y 500 de ancho, localizado al oeste de Anserma, está delimitado por fallamientos de rocas básicas de la Formación Barroso, aflorante sobre las vías Anserma-Belén de Umbría, y litológicamente está conformado por rocas de grano medio a fino, con estructura masiva a esquistosa, en algunos casos foliada y con efectos de cizalladura, con color verde manzana, gris oscuro o negro, que reflejan su conformación predominantemente por minerales de serpentina, principalmente antigorita, y secundariamente con minerales opacos como la magnetita, presentando diques e inclusiones de rodingita (Schurch & Espinosa, 1982).

Esta unidad desarrolla un perfil de meteorización caracterizado por presentar diferentes tonalidades de amarillo a pardo, textura arcillosa, alta densidad, consistencia blanda, presentan clastos angulares de tamaños decimétricos y espesores que varían entre 2 a 4 metros.

- **Gabro de Anserma (Kga)**

Este cuerpo tabular de gabro que aflora cerca a las poblaciones de Anserma, Viterbo y Asia se encuentra asociado con peridotitas serpentinizadas, conformando una roca verde oscuro o gris oscuro a negro, de carácter masivo y grano medio a fino, cuya composición varía entre lherzolita, troctolita, gabronorita olivínica y gabro, con mineralogía consistente de plagioclasa cálcica, clinopiroxeno, olivino, ortopiroxeno y anfíbol derivado de la uralitización de piroxenos.

Dataciones K/Ar en roca total han arrojado una edad de 71 ± 2.7 Ma, correspondiente al intervalo Campaniano-Maastrichtiano (González & Londoño, 1998), aunque no se tiene claridad si corresponde a un evento térmico o a la edad de cristalización del cuerpo.

Vallejo Hincapié et al (2011) denomina cuerpo intrusivo básico, a la unidad básica que presenta variaciones en tamaño y composición desde microgabros, gabros y cuarzo-gabros, aflorante principalmente hacia las poblaciones de Anserma y al norte de Puente Umbría, con un área aproximada de 49 km², de color gris-verdoso y tamaño de grano medio-fino; el cuerpo se encuentra en contacto intrusivo con rocas metamórficas básicas y al occidente en contacto fallado con la Formación

Barroso A nivel microscópico las rocas fueron clasificadas como Gabros, Gabronoritas y Noritas, con textura general holocristalina fanerítica inequigranular y texturas especiales cúmular y ofíticas; la fase mineral predominante es la plagioclasa (19 -58%), con cristales idiomórficos a subidiomórficos, escasamente zonados, su composición de labradorita se determinó por medio del método de Michel Lévy ($An_{52} - An_{62}$) y tamaños que varían desde 0.2 a 1.3 mm con fuerte alteración a sausruta. Los piroxenos (augitas) están presentes entre (13-30%), son de forma subhedral-anhedral, con dimensiones hasta 2.5 mm, fuertemente alterados a hornblenda y minerales fibrosos (actinolita), su ocurrencia es en fase intercúmulo rodeando plagioclasas cúmulo. Como minerales accesorios se identificaron cuarzo, titanita, epidota y opaco; los minerales secundarios o de introducción son clorita, sausruta y actinolita.

Esta unidad presenta un perfil de meteorización caracterizado por presentar colores rojizos, textura arcillosa, consistencia blanda, fragmentos subangulares y espesores que varían entre 2 a 3 metros de suelo residual, en algunos sectores se encuentran suprayacidos por depósitos de ceniza.



Figura 9. Afloramiento Gabros de Anserma, vía sector Puente Lázaro-Anserma. Explotación de agregados pétreos.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

- **Gabro Uralítico de Belén de Umbría (Kgub)**

Cuerpo irregular aflorante cerca de Belén de Umbría, Puente Umbría y La Isla en una franja de hasta 2 km de ancho, en contacto fallado con rocas ultramáficas y rocas volcánicas básicas de la Formación Barroso. La roca se presenta masiva, con tamaño de grano fino a medio y media a grueso, con color gris oscuro a negro, con proporciones similares de plagioclasa cálcica y clinopiroxeno uralitizado, con magnetita como mineral accesorio.

Esta unidad desarrolla un perfil de meteorización de color rojizo, textura generalmente limoarenosa, consistencia firme, densa, forma de los clastos angulares y espesores promedio que varían entre 1,5 m a 2 m.

2.1.6.2. Rocas Volcánicas, Plutónicas e Hipoabisales

Las rocas plutónicas Ultramáficas y máficas afloran comúnmente en forma de franjas o escamas tectónicas, constituidas por basaltos y diabasas de la Formación Barroso, que exhiben intercalaciones de tobas básicas, brechas volcánicas y horizontes sedimentarios.

- **Formación Barroso (Kvb)**

Las rocas volcánicas básicas de la Formación Barroso, se incluyen en el Grupo Cañasgordas, localizado al oeste de la Falla Cauca-Almaguer, el cual está conformado por basaltos, diabasas, tobas y aglomerados, distribuidos en diversas proporciones, según el área, y presentándose intercalaciones lenticulares de chert y limolitas silíceas.

La información sobre dataciones radiométricas K/Ar (Maya, 1992) indican correspondencia con el Cretácico Superior, aunque no se ha diferenciado con claridad si corresponde al registro de eventos de metamorfismo o de cristalización. En otros sectores, contenido fosilífero asociado a sedimentitas de la unidad se encuentran correspondientes con una edad entre el Aptiano y el Campaniano (Etayo et al., 1980; Etayo, 1989), congruente con la datación radiométrica.

Rodríguez y Arango (2013a) redefinen la Formación Barroso y la limitan únicamente a las rocas volcano-sedimentarias como basaltos, andesitas con texturas porfídicas y amigdalares, aglomerados y tobas de series toleíticas y calco alcalinas medias en K, generadas en ambiente de arco y con edades entre 88 y 115 Ma (Turoniano-Apiano).

Esta unidad presenta un perfil de meteorización de color rojizo, la textura es generalmente limo arenoso, presenta alta densidad y consistencia firme, además desarrolla horizontes de suelo residual con espesores que varían entre 2 m a 5 m.



Figura 10. Afloramiento de suelos residuales lateríticos de la Formación Barroso, vía San José-Risaralda

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

- **Plutón de Mistrató (Ttdgm)**

El Plutón de Mistrató se distribuye desde el sector entre Belén de Umbría y San Antonio de Chamí, y se encuentra delimitado por fallas Puente Umbría y Mistrató, y en otros sectores intruye rocas de la Formación Barroso.

Su composición varía entre tonalítica, diorítica y gabroide (Calle y González, 1982), conformado por materiales masivos de grano medio a fino, con colores variables, siendo notorio un avanzado estado de alteración y meteorización, que las hace altamente friables.

(Vallejo Hincapié 2011) clasifica a este cuerpo de 57.8 km² como rocas que varían desde Cuarzodioritas, Tonalitas hornbléndicas a Granodioritas con predominio de la facies Tonalítica y plagioclasa tipo Andesina (An₄₀ – An₄₄) como mineral predominante. En campo se observa un material fácilmente deleznable con tonalidades rojizas – amarillentas debido a la alta meteorización; éste fenómeno es muy común en el cuerpo, impidiendo obtener muestras representativas.

Bajo el microscopio son clasificadas como Cuarzodioritas y Tonalitas Hornbléndicas con textura general holocristalina fanerítica inequigranular y algunas evidencias de recrystalización dinámica, que impiden observar con claridad las texturas originales de la roca ígnea. Los cristales de cuarzo están entre (8 -15%), en contactos suturados con formas anhedrales y de manera intersticial; La plagioclasa es el mineral más frecuente con porcentajes de (30 - 65%), tiene forma tabular con tamaños que varía desde 1 - 1.5 mm de largo, maclas tipo albita, albita-Carlsbad, aunque en ciertos casos se produce una deformación en el maclado lo que dificulta en su medición por el método de Michel-Levy; su composición varía entre An_{40} – An_{44} (andesina) y los centros de los cristales están fuertemente alterados a sericita. Como minerales accesorios se encuentran hornblenda, biotita \pm titanita, y los minerales de alteración son clorita, sausalita y sericita.

Las rocas ácidas caracterizadas en este trabajo, Estas rocas presentan una clara relación intrusiva con el Gabro de Anserma y el Cuerpo Básico al norte cómo lo sustenta la aparición de cornubianas biotíticas en la vía Puente Umbría - Belén de Umbría. Los resultados geoquímicos obtenidos en este trabajo y la edad reportada por (Maya, 1992; González y Londoño, 1998) de 46 ± 7 Ma, representarían los niveles plutónicos de un arco continental durante el Paleógeno, indicando un sistema de subducción corteza oceánica-corteza continental ya establecida para este periodo.

Esta unidad presenta un perfil de meteorización caracterizado por presentar colores rojizos a blancos talcosos, la textura varía mucho debido a que va desde arenosa hasta arcillosa, la consistencia es generalmente blanda, presenta alta densidad, está constituida por clastos subangulares y espesores desde 1,5 m a 6 m.

- **Pórfido Dacítico de Mistrató (Tdm)**

Este cuerpo aflora al occidente de la población de Mistrató, es intrusivo en rocas volcánicas de la Formación Barroso y al occidente está en contacto fallado con sedimentitas del Miembro Urrao. Su composición predominante es dacítica, con textura porfídica caracterizada por fenocristales tabulares de plagioclasa de 3 – 5 mm de longitud, de cuarzo y de hornblenda tabular de 1 – 2 mm en su dimensión mayor, en una matriz microcristalina de color gris oscuro constituida por plagioclasa, cuarzo y agujas de hornblenda; como accesorios se encuentran opacos y apatito. La hornblenda aparece en parte alterada a calcita – clorita con opaco finogranular en polvo asociado, mientras que la plagioclasa presenta argilización y sericitización.

- **Pórfido Andesítico Hornblendico (Tadh)**

Corresponden a intrusivos subvolcánicos de edad Miocena con presencia de geoformas sobresalientes en el paisaje, las variaciones texturales y de composición han permitido realizar algunas subdivisiones litológicas. En el área de Guática afloran pórfidos de composición hornbléndica (Tadh).

- **Pórfido Andesíticos de La Virginia (Tpv)**

Aflora al occidente del río Cauca, cerca del municipio de La Virginia, con una extensión de unos 2 km². En el mapa fotogeológico de la cuenca del Cauca elaborado por Kassem (1974), los afloramientos son deficientes, pero puede observarse bien en el carretable que sale hacia el oriente de La Virginia bordeando la ribera del río Cauca. La roca predominantemente es de color claro con fenocristales de plagioclasa. Es intrusivo en las rocas sedimentarias cretácicas de la cordillera occidental y está cubierto discordantemente por sedimentos de la formación La Paila.

2.1.6.3. Rocas Sedimentarias

Las secuencias sedimentarias al interior de la Cuenca del Río Risaralda, incluyen tanto ambientes marinos como continentales, desde el cretácico hasta el holoceno

- **Formación Penderisco - Miembro Urrao (Kaa)**

El Grupo Cañasgordas está integrado por una secuencia volcánica y sedimentaria, que construye la mayor parte de la estructura de la Cordillera Occidental, donde la unidad volcánica corresponde a la Formación Barroso, mientras que la secuencia sedimentaria, corresponde a la Formación Penderisco, que está dividida en el Miembro Urrao, sedimentos de tipo turbidítico de tipo areno-arcilloso, y el Miembro Nutibara conformado sedimentos biogénicos o químicos, de carácter fino, como son calizas y chert, aunque se considera que al interior de la Cuenca del Río Risaralda, predominan litologías asociada principalmente al Miembro Urrao.

Es así como los afloramientos del Miembro Urrao se pueden observar en los cañones de los ríos Totuí, Apía, Mapa y San Rafael, y en las vías entre Virginia - Apía - Pueblo Rico, donde se evidencia areniscas en paquetes de espesor de decenas de metros con intercalaciones de limolitas con laminación delgada, arcillolitas y en menor proporción conglomerados.

La litología de mayor abundancia corresponde a limolitas y lodolitas, intercaladas y en secuencias de espesores de decenas de metros, donde se pueden observar efectos de metamorfismo dinámico.

Mineralógicamente la composición de las arenitas arcósica, subarcosas y arcosas líticas, presentan cuarzo dominante, seguido por feldespatos y en menor proporción intraclastos. Aunque los conglomerados presentan menor distribución, sus características composicionales son similares, pero con distribuciones diferentes, dado que dominan los intraclastos de chert, limolitas y areniscas, seguido por cuarzo, líticas y feldespatos, que permiten definir origen intraformacional.

Álvarez (1978) menciona que el Miembro Urrao consta de una secuencia de más de 5 Km de espesor, de sedimentos tipo flysch plegados y fallados, con edad Cretáceo superior tardío, los cuales se pueden interpretar en términos de facies turbiditas proximales”, afirmación que numerosos autores retoman, postulando un origen turbidítico a las arenitas, conglomerados y lodolitas de esta unidad, (Álvarez & González, 1978; Etayo, 1989; Toussaint, 1996; González, 1997; González & Londoño, 2003).

Según Cañas (2015) mediante su estudio bioestratigráfico de la formación Penderisco, en la base del miembro Urrao se encontró el molde interno de un amonoideo perteneciente al género Pachydiscus de Zittel (1884). Debido a que forma bulas hacia la zona umbilical, y debido a que las costillas son sinuosas y rusirradiadas, este espécimen se puede comparar con la especie Pachydiscus (Pachydiscus) cf. flexosus, de Matsumoto et al. (1979), del Campaniano-Maastrichtiano. Etayo (1989) reporta Nostoceras sp.? y Trochoceras sp. en capas de turbiditas que, por su litología y posición geográfica, deben pertenecer al Miembro Urrao, fósiles indicativos del intervalo Campaniano tardío – Maastrichtiano temprano.

La unidad presenta contactos fallados, a través de las fallas de Apía y Mistrató, así como otros ramales asociados a las anteriores, y que ponen en contacto principalmente con rocas volcánicas de la Formación Barroso. El contenido fosilífero del Miembro Urrao, es indicativa de una edad cretácica tardía, reportándose fauna del Albiano-Aptiano y Campaniano-Maastrichtiano.

Esta unidad presenta un perfil de meteorización que se caracteriza por presentar color amarillo pardo, textura arcillosa, denso, consistencia firme y espesores que varían entre 2 a 4 m.

En la siguiente figura se observa un afloramiento representativo de la Formación Penderisco.



Figura 11. Afloramiento de lodolitas silíceas de la Formación Penderisco, vía La Virginia-Apía.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

- **Liditas asociadas con la Formación Barroso (Klb)**

Afloran en franjas estrechas y alargadas, al oeste del Río Mapa, y se presentan en forma de franjas alargadas con rocas de la Formación Barroso y con sedimentitas del Miembro Urrao, predominando limolitas silíceas verdes y chert gris oscuro, en paquetes de decenas de metros de espesor, que exhiben alto plegamiento y fracturamiento.

- **Formación La Paila (Tmp)**

La distribución de la Formación La Paila, al interior de la Cuenca del Río Risaralda, se evidencia en forma colinas bajas a intermedios remanentes, en proximidades de la población de Viterbo; está constituida esencialmente por conglomerados constituidos por líticos volcano – sedimentarios, metamórficos y silíceos (chert), inmersos en una areno – arcillosa, e intercalados de delgados lentes de arcillolitas con eventuales lentes de arenitas de composición cuarzosa.

La consolidación de la secuencia es moderada y se presenta un deficiente sorteamiento en tamaño y forma de los fragmentos. Según información palinológica (Van der Hammen, 1958) se le ha asignado una edad miocénica para la unidad.

Suter, F. (2008), describe la Formación La Paila como un intervalo de tobas dacíticas o volcánicas seguidas por una secuencia de conglomerados y areniscas con algunas intercalaciones de lodolitas. Las tobas basales que son interpretadas por Nivia et al. (1992) como “niveles de ceniza compactos”, son interpretadas por el autor como una colada de lava riolítica, Suter (2003), las cuáles fueron datadas por el método Ar40/Ar39, arrojando una edad de 12.7 M.a (Suter, sin publicar) ubicando la Formación La Paila entre el Mioceno Medio-Superior. Plantea además una discusión acerca de la separación entre la Formación La Paila y La Pobreza como unidades diferentes, en la cual sugiere no haber datos estratigráficos suficientes que confirmen o no la distinción entre ambas Formaciones, es decir, agrupa las dos unidades en una sola: Formación La Paila.

Hacia el occidente presenta contactos fallados con la Formación Barroso, por medio de la Falla de Mistrató, o se disponen discordantemente sobre esta misma unidad. La Secuencia de la Formación La Paila es suprayacida discordantemente, tanto por Sedimentos de Viterbo, como por la secuencia de la Formación Zarzal.

Esta unidad desarrolla un perfil de meteorización de color rojizo, textura arcillosa, densa, consistencia firme, fragmentos angulares y espesores que varían entre 2 a 3 m.

- **Formación Amagá - Miembro Superior (Tos)**

La Formación Amagá es una sucesión sedimentaria de edad Oligoceno Medio - Mioceno tardío depositada a lo largo de una serie de cuencas que siguen el trazo del Sistema de Fallas de Romeral (Sierra y Marín-Cerón, 2012, ECOCARBÓN, 1995). Dicha formación presenta ambientes sedimentarios continentales, asociados a ríos trenzados y meándricos (Guzmán (1991) Silva et al (2008)).

La Formación Amagá aflora en reducidos sectores de la cuenca del Río Risaralda, que incluyen la cabecera de la microcuenca Cauyá del municipio de Anserma y específicamente su Miembro Superior. Litológicamente consiste de limolitas y arcillolitas de color ocre, que son deleznales, y eventualmente con concreciones calcáreas (González, H. 1990),

También aflora en la cuenca el miembro superior de esta formación hacia el occidente y zona central del municipio de Riosucio. El miembro superior se caracteriza por la carencia completa de conglomerados y el gran predominio de areniscas que presenta una estratificación muy gruesa, son de color gris azulado a gris verdoso cuando están frescas, a gris amarillento cuando están meteorizadas, el tamaño de grano varía de fino a medio y de poca dureza. Localmente pueden ser conglomeráticas y presentar interdigitaciones de lentes de diferente granulometría.

En cuanto a la edad, autores como Van der Hammen (1958) señalan una edad del Oligoceno Medio por correlación con la Formación Cauca, para el miembro inferior, y del Mioceno Tardío para el miembro superior, con base en la correlación de la Formación Cauca en el Sur de Colombia. Sierra et al., (2011), le asigna una edad Eoceno Medio al Miembro Inferior, a partir de un estudio de palinomorfos realizado en la zona de Camilo-C (Mina Nechi).

- **Formación Combia (Tmc)**

La Formación Combia es una unidad que se extiende a lo largo de la parte media y alta del valle interandino del río Cauca entre las Cordilleras Central y Occidental en el noroeste de Colombia, denominada inicialmente por Grosse (1926) como "Estratos de Combia" y redefinida estratigráficamente por González (1980) quien la dividió en dos miembros: Inferior o Volcánico y el Superior o Volcaniclástico.

El Miembro Inferior está compuesto por lavas basálticas y andesíticas, aglomerados, brechas volcánicas, tobas, conglomerados con matriz tobácea y areniscas tobáceas, y se incluyen cuerpos de pórfidos andesíticos y dacíticos (Restrepo et al., 1981; Leal-Mejía, 2011). Los productos extrusivos e intrusivos muestran una afinidad geoquímica mezclada entre toleítica y calcoalcalina (e.g. Jaramillo, 1976; Tejada et al., 2007; Leal-Mejía, 2011).

El Miembro Superior está constituido esencialmente por niveles gruesos de conglomerados con intercalaciones de areniscas de grano medio a fino con alto contenido de material volcánico y arcillolitas (Grosse, 1926; González, 1980; López et al., 2006).

Los principales afloramientos de la Formación Combia al interior de la Cuenca del Río Risaralda, corresponden a los sectores del Río del Oro y en el sector de Guática – San Clemente – Anserma, la vía Guática – Ospirma, y se encuentran algunos remanentes hacia el sector de Chapatá, sobre la vía Anserma – La Isla,

mientras hacia el sur de este sector último sector desaparecen los materiales de dicha unidad.

Aunque en la bibliografía disponible (González, 1980; Calle & González, 1982), para la zona de la cuenca del Río Risaralda, sólo afloraría el miembro sedimentario, conformado por conglomerados, brechas sedimentarias, areniscas de grano medio a fino y arcillolitas intercaladas con material piroclástico, es evidente en ciertos sectores la presencia de basaltos que se pueden asociar a la unidad, tal como los aflorantes en el Río del Oro.

En relación con los cuellos volcánicos de composición andesítica que conforman la unidad, como fue descrita por Grosse (1926), sin embargo, para la cuenca del Río Risaralda, no se evidencia dichos cuellos volcánicos, que se ha asociado con emplazamiento a través de intersección de sistemas de fallas, tal como ocurren en el municipio de Quinchía, Riosucio y Supía, fuera del área de la cuenca de análisis.

De cualquier forma, la secuencia sedimentaria aflorante, debe interpretarse en esencia como correspondiente a flujos piroclásticos de grano grueso en el sector de Guática-San Clemente, y de grano fino, en el sector de Anserma.

La bibliografía mencionada describe la presencia de fragmentos de tamaño variable, angulares a subredondeados de “basaltos, tobas, andesitas, diabasas, gabros, así como limolitas silíceas, chert y areniscas en una matriz arenosa”, que aunque se menciona como una secuencia mal cementados, de cualquier forma, en relación con su emplazamiento mencionado y las geoformas escarpadas visibles en el sector de Ospirma, se evidencia algún grado importante de cementación en relación con el proceso de enfriamiento durante el emplazamiento de los flujos piroclásticos.

Las secuencias arenosas se describen como de carácter conglomerático con cantos angulares a subredondeados, con predominio de tamaño medio, mientras se describen “arcillolitas en capas delgadas a muy gruesas, con intercalaciones ocasionales de material piroclástico”, que más sin embargo pueden corresponder con surges piroclásticos o facies distales de la evolución de dichos flujos.

La Formación Combia suprayace en discordancia la Formación Amagá, la cual presente una edad oligocénica superior, siendo intruidos por pórfidos andesíticos de edad miocénica-pleiocénica, de tal forma que se ha asociado una edad Mioceno medio a tardío para la Formación Combia (González, 1980).

Esta unidad desarrolla un perfil de meteorización caracterizado por presentar colores pardos a amarillo, textura arcillo limosa, consistencia media, densa,

fragmentos de clastos angulares de composición volcánica y espesores entre 1 a 4,5 m.



Figura 12. Afloramiento de la Formación Combia hacia la parte alta de la cuenca; sector Río Oro – Rubí.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

- **Formación Zarzal (Tplz)**

La Formación Zarzal presenta una conformación muy característica, con origen fluvial y lacustre, que la hace diferenciable de otras unidades terciarias, al estar constituida por una secuencia de baja consolidación, que corresponde a areniscas tobáceas, areniscas conglomeráticas con fragmentos de chert, materiales arcillosos y diatomitas.

La Formación Zarzal de edad Plio-Pleistoceno de acuerdo con datos palinológicos, corresponde a sedimentos formados en un ambiente lacustre con aporte fluvial depositados en una cuenca intramontana, conocida como la depresión del Cauca entre las cordilleras Central y Occidental de Colombia (Van der Hammen, 1958; Neuwerth et al., 2006; Nivia, 2001).

Los horizontes de suelo transportado fluvial de esta formación representan terrazas aluviales de color pardo amarillento, textura areno limosa, denso, consistencia firme, fragmentos de clastos angulares y espesores de 1 a 2 m, algunos afloramientos se localizan en el sector de El Ingenio, Municipio de La Virginia.

- **Sedimentos de Viterbo (Qtsv)**

Los Sedimentos de Viterbo corresponden a una secuencia de sedimentos no consolidados de gravas, arenas, arcillas y niveles tobáceos y hacia el tope cenizas volcánicas (Estrada, J.J. y Viana, R. 1998), en algunos lugares presentan delgadas capas de composición carbonosa. Los principales afloramientos pueden observarse sobre las vías Viterbo – Sajonia, Viterbo – Asia y Remolinos – Belén de Umbría.

Los estratos de gravas forman secuencias de hasta 15 metros, presentando fragmentos líticos angulares a redondeados, cuya composición consiste de basaltos, gabros dioritas, chert, lodolitas y arenitas en una matriz areno - lodosa con predominio de arena de grano medio, y las cenizas volcánicas, de color pardo y pardo rojizo no superan los 2 m de espesor.

A su vez los estratos arenosos presentan tamaño de grano variable, y están constituidos predominantemente por líticos cuya composición es similar a la descrita para los conglomerados, y en menor proporción se presentan minerales de cuarzo. Si cronoestratigrafía presenta deficiencias en su conocimiento, aunque según las relaciona litoestratigráficas, la horizontalidad de los estratos y su baja consolidación, sugieren una edad plio – pleistocena.

Los horizontes de suelo que presenta esta unidad se caracterizan por constituir terrazas y llanuras de color café pardo, textura limo arcillosa, consistencia firme, denso, fragmentos subredondeados de composición sedimentaria tal como chert, lodolitas y arenitas como también clastos de rocas ígneas como basaltos y dioritas. Los espesores registrados en la etapa de campo varían entre 0.8 a 2.5 m.

- **Formación Pereira (Qto)**

Se encuentran agrupados con este nombre aglomerados, conglomerados, flujos de ceniza y tobas que conforman la unidad, derivada de grandes eventos eruptivos, de la cadena volcánica de la Cordillera Central que se inició a finales del Mioceno y se prolongó hasta el Pleistoceno Medio, y en cierta proporción hasta el pasado histórico, combinados con la acción fluvial que removilizaba el material volcánico depositado durante el mismo período y presentan la mayor extensión con 18.203, 15 Ha en la zona de estudio.

La formación de este depósito abarca desde el Pleistoceno hasta el reciente histórico (Thouret y Van der Hammen, 1981 en Parra y James, 1984). Esta unidad ha recibido, además diversas denominaciones, como Abanico del Quindío (Tfv), Glacis del Quindío y Depósitos Fluvio-Volcánicos (TQfv).

Corresponde entonces la unidad, al aporte de materiales derivados de la actividad volcánica del eje de la Cordillera Central, por erupciones explosivas ocurridas durante el Plio-Pleistoceno en los volcanes nevados del Quindío, Santa Isabel y Paramillo de Santa Rosa, con el consecuente deshielo de sus glaciares, generándose flujos de lava, flujos piroclásticos y lahares, que incrementaron de forma abrupta la carga sobre diversos drenajes.

Estos depósitos fluvio-volcánicos están compuestos por una secuencia de tres tipos de depósitos volcánicos, que se diferencian entre sí por su textura, grado de consolidación y origen, los cuales forman la mayor parte del Glacis del Quindío. El miembro basal se clasificó como un aglomerado consolidado, compuesto por capas de depósitos de lahares con cantos angulares de rocas volcánicas, su origen se debe a grandes erupciones en el Complejo Volcánico Ruiz-Tolima. El miembro intermedio, se compone de arenas, tobas y limos arcillosos de color crema con ocasionales bloques y bombas redondeadas de andesita. Se encuentra ligeramente consolidado y puede alcanzar un espesor de 20 m.

Estas capas representan una reactivación menor del complejo volcánico, en consecuencia, su edad es ligeramente posterior al miembro inferior. El miembro superior está compuesto exclusivamente por cenizas volcánicas de carácter subaéreo, de grano medio a fino, de color amarillo-ocre a rojizo dependiendo del grado de oxidación. Su espesor es relativamente uniforme debido al carácter subaéreo que fosiliza la paleotopografía.

El producto de su meteorización es un suelo de carácter limo-arcilloso con contenidos altos de alófana (Ingeniería y Estudios Ltda., 1977) (Parra y James, 1984). Las tobas forman suelos arenosos y esqueléticos que no resisten bien a la erosión, generando una proliferación de derrumbes largos y de poco espesor, ricos en vegetación, especialmente sobre pendientes largas formadas en esta unidad (Carder-Haskoning, 1986).

El miembro basal tiene una resistencia al corte mucho mayor que los otros dos miembros a causa de su consolidación, pero menor que la unidad de rocas cristalinas. Los miembros intermedio y superior tienen gran diferencia con el miembro basal en cuanto a su permeabilidad, cohesión y ángulo de fricción, con lo cual se genera un plano de inestabilidad a lo largo de todo el contacto, y que se ha manifestado varias veces con deslizamientos de magnitud variable. Tiene espesor variable, al recubrir completamente la topografía original y por lo tanto en los valles son más espesos que en las divisorias de aguas (Parra y James, 1984).

La unidad, se interdigita con la Formación Zarzal, y con las unidades infrayacentes del basamento de la Formaciones Barroso, Formación Cinta de

Piedra, Complejo Arquía y algunos cuerpos volcánicos básicos e intermedios, con contactos discordantes. De igual forma, la secuencia es suprayacida en discordancia por depósito de caída piroclástica (Cardona y Ortiz, 1993).

La Formación Pereira ha tomado otras denominaciones como Formación Armenia, Abanico del Quindío y Glacis del Quindío; esta última denominación se le dio en el Mapa Geológico Generalizado del Quindío (Ingeominas, 1991) en consideración de heterogeneidad de la secuencia, que en esencia consisten de una secuencia vulcanoclástica de flujos de lodo volcánico semiconsolidados con cobertura de cenizas volcánicas.

- **Cenizas y Flujos de Escombros (Qfl)**

En el término estricto de cenizas volcánicas esta se refiere a un tamaño específico de partículas arrojadas durante una erupción volcánica, más sin embargo, se empleará aquí en el sentido amplio para designar los depósitos acumulados como lluvia de partículas piroclásticas que recubren el área de estudio, originadas por la actividad explosiva de los volcanes del eje de la Cordillera Central

Estos materiales se depositan en capas paralelas a la topografía y su espesor inicial se encuentra en función de varios factores, como la distancia a los centros volcánicos, tipos y energía de la erupción y dirección de los vientos. Sin embargo, en su conservación juega un papel importante la morfología del relieve.

Los depósitos de cenizas volcánicas reposan sobre la mayoría de las unidades geológicas consolidadas de la región y sobre varias formaciones superficiales presenta amplios espesores hacia los municipios de Belalcazar, San José, Risaralda y Anserma. Por medio de observaciones en los cortes de vías se determinan valores máximos para sus espesores, los cuales varían entre 2 y 3 m. estas se encuentran dispuestas en horizontes pertenecientes a diferentes eventos eruptivos, que se distinguen entre sí por su cambio de color, el cual presenta diferentes tonalidades, entre amarillo y pardo y por su diferencia granulométrica entre arcilla y limos.

Este material posee la característica de presentar muy buenas condiciones para construir sobre él, cuando hace parte de terrenos llanos o sami-llanos, caso distinto es cuando se encuentra formando laderas de alta pendiente y es sometido a intervenciones antrópicas como depositación de materiales de relleno (suelos provenientes de descapote, basuras, escombros, etc.), a alteración de sus condiciones de humedad o a corte verticales con alturas que sobrepasan los 4m., ya que se convierte en un material potencialmente inestable.

Los depósitos de ceniza presentan en su mayoría color amarillo pardo, textura arcillo limosa, consistencia blanda y espesores promedio de 1 m a 2,5 m.

Los flujos de escombros dispersos y aflorantes en reducidos remanentes hacia el sur de la cuenca del Río Risaralda y también hacia el sector del municipio de Santuario se hayan ampliamente distribuidos, consisten en fragmentos y en ocasiones bloques de rocas de colores amarillo, amarillo rojizo un tanto abigarrados, hasta gris verdoso, dentro de una matriz limosa a limoarenosa de color rojizo, muy compacto en estado seco, relativamente permeable, presentan fragmentos principalmente de composición andesítica, con diámetros de hasta 1 m, mala selección, baja consolidación, y espesores que pueden alcanzar hasta 20 m. Con frecuencia se encuentran en estado avanzado de meteorización, suprayaciendo rocas sedimentarias in situ.

El origen de estos depósitos se podría asociar a procesos gravitacionales donde se presentan diversos contribuyentes naturales que ocasionan la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en los que predominan los fragmentos de roca.

En algunos sitios los depósitos de flujos de escombros han sido removilizados, encontrándose mezclados con depósitos de ceniza volcánica.

- **Depósitos Aluviales Recientes (Qal-Qar)**

Los sedimentos que rellena principalmente los valles de los ríos Risaralda, Río Mapa y Río Totuí, así como algunos tributarios de estos, que dan lugar extensas llanuras de inundación y terrazas bajas, y corresponde a secuencias de conglomerados, arenas y limo. Cabe denotar, que estas llanuras se encuentran localizadas hacia la parte baja media de la cuenca localizados sobre el sector, de La Virginia y Viterbo, sobre el cauce del río Risaralda, con una morfometría plana y extensa cubriendo alrededor de 2 km sobre el valle. Con base en las perforaciones realizadas para el análisis geotécnico, se pudo identificar una composición principalmente areno-limosa, hacia las partes más próximas al cauce, y en terrazas antiguas secuencias conglomeráticas con fragmentos de rocas hipo abisales volcánicas de las partes altas de la cuenca esto hacia el sector vial pacífico 3. Presentando un espesor aproximado de 5 m.

Como se mencionó anteriormente, sobre el cauce del río Totuí, debido a las condiciones geomorfológicas y morfométricos del cauce, presenta principalmente son avenidas torrenciales por lo que en ellas la llanura de inundación es muy pequeña a insignificante.

Basado en los estudios hidrogeológicos adelantados en la cuenca del Río Risaralda se pudo determinar por medio de exploraciones geoelectricas realizados en varias secciones del Valle del Río Risaralda un modelo que refleja

la situación geológica del subsuelo y por consiguiente una mejor interpretación de la composición y los espesores de las capas; en especial de la más superficial correspondiente a los Depósitos Aluviales Recientes. (Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016, componente de Hidrogeología).

En una primera sección con dirección NE-SW localizado entre el sector de Asia perteneciente al municipio de San José y parte sur del municipio de Viterbo, se identifica que la capa ubicada al techo de la sección está caracterizada con un espesor mínimo de 50 m hacia el sector noreste que llega a ser hasta de 150 m en el sector suroeste. Esta capa se interpreta como sedimentos finos a gruesos pertenecientes a la unidad cuaternaria que se asocia a la acción del Río Risaralda (Qal).

En una segunda sección realizada con dirección NW – SE localizada entre la parte central del municipio de Viterbo y sur oriente del municipio de La Virginia, se determina que la unidad ubicada al techo de la sección, presenta características de los depósitos aluviales debido a la variación de los tamaños de grano. Esta unidad llega a reportar espesores de hasta 50 m en el centro de la sección.

En la última sección ubicada al sur de la cuenca del Río Risaralda con dirección N-S y paralela a la vía pacífico tres entre la parte sur oriental del municipio de Santuario y sur del municipio de Viterbo, se denota que la unidad ubicada al techo de la sección, presenta un espesor de más de 100 m al centro de la sección que disminuye paulatinamente tanto hacia el sur como al norte, esta sección se interpreta como la unidad cuaternaria asociada al Río Risaralda que se compone por sedimentos finos a gruesos.

En la Tabla 5 se presenta el cuadro cronoestratigráfico de unidades geológicas a escala 1:25.000 con sus respectivos porcentajes.

Tabla 5 porcentaje de unidades geológicas de la cuenca

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	NOMBRE	NOMENCLATURA	HECTAREAS	PORCENTAJE
Fanerozoico-PH	Cenozoico-CZ	Cuaternario-Q	Pleistoceno-Q1	Cenizas y flujos de escombros	Qfl	11293,48	18,97%
				Depósitos aluviales	Qar	9166,61	5,17%
					Qal	721,92	3,45%
				Formación Pereira	Qto	51,65	1,72%
				Formación Zarzal	Tplz	602,99	5,17%

EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA	NOMBRE	NOMENCLATURA	HECTAREAS	PORCENTAJE
				Sedimentos de Viterbo	Qtsv	4068,81	8,62%
		Neógeno-N	Mioceno-N1	Formacion Amagá - Miembro Superior	Tos	24,26	1,72%
				Formacion Combia	Tmc	10913,14	10,34%
				Formacion La Paila	Tmp	3885,35	13,79%
				Plutón de Mistrató	Ttdgm	12546,14	5,17%
				Pórfido andesítico de Virginia	Tpv	92,95	1,72%
				Pórfido Andesítico Hornbléndico	Tadh	48,63	3,45%
				Pórfido dacítico de Mistrató	Tdm	1059,95	3,45%
	Mesozoico-MZ	Cretácico-K	Superior Tardío K2	Formacion Barroso	Kvb	40752,13	1,72%
				Formacion Penderisco Miembro Urra	Kaa	24280,09	3,45%
				Gabro de Anserma	Kga	2393,03	5,17%
				Gabro Uralítico de Belén de Umbría	Kgub	2403,95	1,72%
				Grupo Cañasgorda	Klb	1048,84	3,45%
				Ultramafita de Puente Umbría La Isla	Kuspi	246,90	1,72%
TOTAL						125600,83	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

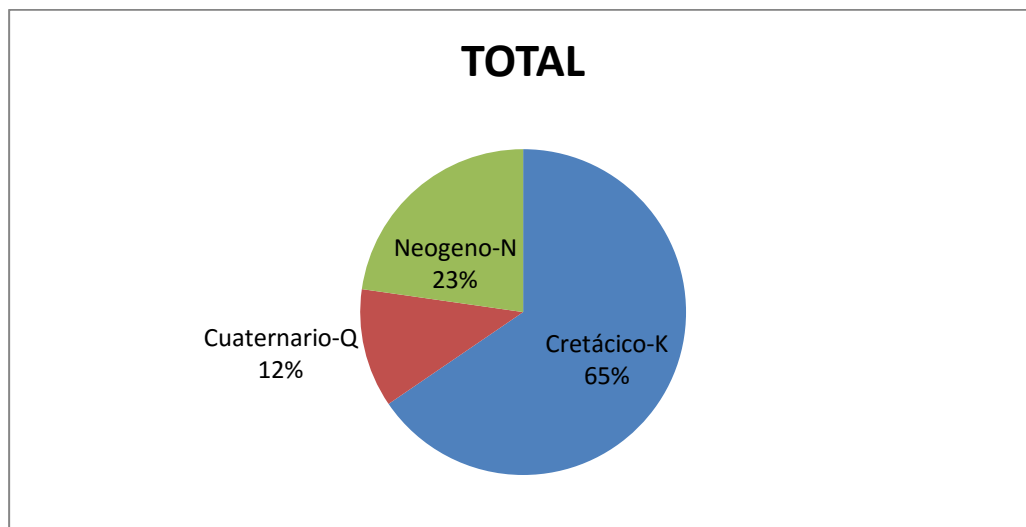


Figura 13. Porcentaje de unidades geológicas en la cuenca
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

2.1.7. Conclusiones y Dominio Geológico

Las condiciones determinadas anteriormente permiten establecer que dichas unidades y dominios cretácicos generaron unas geoformas fuertes de ladera por una tectónica muy predominante, en otros sectores una cubierta de depósitos cuaternarios especialmente cenizas y depósitos aluviales que modelaron el paisaje inicial hacia el valle del Risaralda en la parte baja, sobre los municipios de Viterbo, La Virginia que corresponden al 34.53% de la cuenca y representados en 43372.21Ha. es de aclarar que el 65.47% del área de trabajo que corresponde a un total de 82228.69Ha, se encuentran cartografiados como materiales del cretácico donde se incluyen unidades geológicas representativas de la cordillera occidental como la Formación Penderisco hacia el sector de los municipios de Santuario, Apía, Balboa y La Celia y la Formación Barroso hacia el flanco oriental de la cuenca sobre los municipios de Belalcázar, San José, Risaralda, Anserma y Riosucio, lo que establece que sean materiales muy poco afectados por intervención antrópica, adicionalmente sus condiciones de meteorización alta favorecen las condiciones para la generación de procesos erosivos en el territorio.

Las Unidades Geológicas Superficiales UGS identificadas en la cuenca presentan un dominio de suelo residual ígneo volcánico de la Formación Barroso con el 21.33 % (29950,95 Ha) en el flanco oriental de la cuenca hacia los municipios del departamento de Caldas, seguido de suelo residual sedimentario con 10.67% (17983,44 Ha) sobre el flanco occidental de la cuenca y en específico sobre los municipios Santuario, Apía, Balboa y La Celia y en tercer lugar por suelo residual ígneo intrusivo del Plutón de Mistrató con 12.0% (12247,21 Ha) sobre el municipio de Mistrató Risaralda; lo que establece el favorecimiento de actividades antrópicas por cambio de usos del suelo a cultivos, favorecido por el aporte de minerales al suelo por parte de dichas unidades y

también por su facilidad de intervención antrópica para modificación topográfica, lo que generaría cambios notables en las condiciones actuales del sitio y por consiguiente podría presentarse adicionales factores contribuyentes a la generación de áreas inestables en el territorio. Las anteriores consideraciones permiten establecer la heterogeneidad de las características geomecánicas de los materiales existentes, denotando el carácter fino del material con índices de plasticidad muy cambiantes para cada una de las determinadas zonas.

2.2. Geología estructural

Estructuralmente, la cuenca del río Risaralda está afectada por importantes rasgos estructurales que condicionan la estabilidad de los materiales e inciden en la amenaza sísmica local. Para el caso particular del valle del río Risaralda, éste se localiza en una zona de amenaza sísmica de moderada a alta.

La localización de la cuenca del Río Risaralda, presenta principalmente sistemas de dirección N-S a N20 E, relacionados con la Falla Cauca–Patía, donde se destacan diversos ramales como son las fallas Apía, Toro y Mistrató, mientras hacia el oriente de la cuenca del Río Risaralda, corresponde a la Falla Quebradanueva, igualmente correspondiente a varios ramales.

Se han determinado además de dichos sistemas de fallas, estructuras de dirección NW-SE, que generan desplazamientos sobre los sistemas antes referidos, con un movimiento aparente lateral izquierdo (Guzmán, J. et al. 1997; Estrada, J.J. y Viana, R. 1998).

Estas estructuras se presentan de forma sistemática y generan control de drenajes, y se encuentran espaciadas entre 15 y 25 km., y se asocian a la distribución de depósitos aluviales como el cauce del Río Mapa. Estas estructuras influyen en la segmentación de las fallas principales de dirección Norte- Sur, determinando igualmente influencia sobre los segmentos potencialmente movibles.

- **Falla de Mistrató**

La Falla de Mistrató cuya continuidad norte sur involucra cerca de 60 km hacia el norte del área, cruzando la mayor parte de la cuenca del Río Risaralda, sobre el flanco oriental de la Cordillera Occidental, asociándose una notable zona de cizalla entre las poblaciones de Belén de Umbría y Mistrató, al igual que evidencias de actividad neotectónicas, como son lomos de obturación y alineamiento de cauces, valles lineares, silletas y hombreras de falla.

Hacia el sur de la población de Viterbo se atenúa, probablemente empalmándose con la Falla Toro (Caballero, H. et al., 1984; Guzmán, J. et al 1997). La Falla Mistrató establece contactos entre el Plutón de Mistrató y la

Formación Barroso, generando amplias zonas de cizalla, brechamiento, milonitización y foliación

- **Falla Apía**

La Falla Apía establece contacto entre limolitas del Miembro Urrao con vulcanitas de la Formación Barroso (Estrada, J.J. y Viana, R. 1998), evidenciando hacia el sector de Apía, y uniéndose hacia el norte con la Falla Mistrató.

Esta estructura sufre desplazamiento de estructuras NW, tales como la Falla Santa Rosa-Rio Mapa, y otra que refieren cruzando la población de Apía, de carácter sinistral y componente inverso., aunque requiere verificación de dicho movimiento.

- **Falla Quebrada Nueva**

La Falla Quebrada Nueva, tiene una dirección NNE, afectando rocas volcánicas de la Formación Barroso, y afecta igualmente la Formación La Paila, y probablemente la Formación Zarzal, y se ha interpretado como una falla sinistral con componente inversa, cabalgando al Oeste (Guzmán, J. et al. 1997; Estrada, J.J. y Viana, R. 1998).

En la zona de Caimalito, inmediatamente al sur de la cuenca se evidencian estructuras afectando depósitos fluvio-volcánicos de la Formación Pereira, con relleno de carácter bituminoso, sin que sea claro si afectan los depósitos de lluvia piroclástica que suprayacen dicha secuencia.

- **Falla Toro-La Isla**

En el sector medio de la cuenca se evidencia un contacto fallado entre el Gabro Anserma con la Formación Barroso, con una dirección NNE, y donde localmente se asocian algunos reducidos cuerpos plutónicos máficos y ultramáficos. Esta Falla Toro-La Isla, se interpreta como la continuidad norte de la Falla Toro, que al parecer es enmascarada bajo los sedimentos del Valle del Rio Risaralda entre Ansermanuevo y el sector de La Isla.

- **Falla Puente Umbría**

En Estrada, J.J. y Viana, R. 1998, se cartografió la Falla Puente Umbría, aunque presentan una traza sensiblemente curvilínea, la dirección general es N-S y buzamiento hacia el Oeste, y cruza a aproximadamente 500 m al Este de Puente Umbría, que comprende dos estructuras paralelas que delimitan la Ultramafita de Puente Umbría - La Isla. Asociado a las estructuras se evidencia foliación en rocas basálticas.

2.3. Densidad de fracturamiento de unidades litológicas

Cabe precisar que el limitado afloramiento de macizos rocosos dificulta la toma de datos estructurales y más aún, el seguimiento de la densidad de fracturamiento de las unidades litológicas presentes en el área de estudio. No obstante, a partir de los controles de campo ejecutados, se relacionan algunos datos estructurales de las rocas aflorantes en la cuenca del río Risaralda, (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Datos estructurales tomados en la cuenca del río Risaralda, a partir del control litológico realizado para el levantamiento del mapa geológico del área de estudio, escala 1:25.000

LOCALIZACIÓN	UNIDAD	TIPO	DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES	COORDENADAS	
				N	O
alto bonito	Fm. Barroso	diacласa	280/vertical 265/82	5°2'3,8"N	75°48'37.9"O
Cascadas	Fm. Barroso	diacласa	330/85 340/55	5°0'16.2"N	75°40'40.7"O
abejorral	Fm. Barroso	diacласa	255/55 140/90 70/51 150/80	5°7'12.4"	75°46'59.2"
vía Belalcázar	Fm. Barroso	diacласa	215/87 280/46	4°58'34.1"	75°50'13.4"
Belalcázar-san José	Fm. Barroso	diacласa	EW/90 175/90	5°0'5.5"	75°49'14.3"
vía Risaralda	Fm. Barroso	diacласa	320/65 200/90	5°10'16.2"	75°48'57.2"
Risaralda	Fm. Barroso	diacласa	350/85 45/30	5°4'53.8"	75°49'27.2"
Risaralda	Fm. Barroso	diacласa	155/70	5°3'39.1"	75°49'22.8"
Virginia	Fm. Barroso	diacласa	10/45 290/70 220/32	5°3'35.1"	75°49'2.9"
buenos aires	Fm. Barroso	diacласa	50/70	5°18'10.3"	75°47'15.4"
vía la Celia santuario	Fm. Penderisco	estratificación	115/75	4°57'10.5"	75°57'37"
vía la Celia santuario	Fm. Penderisco	estratificación	45/35	4°58'17.8"	75°58'22"
vía la Celia santuario	Fm. Penderisco	estratificación	E-W/25	5°00'37.5"	75°59'45.8"
el brillante	Fm. Penderisco	estratificación	35/56	5°1'5.3"	75°59'2.5"
la marina	Fm. Penderisco	estratificación y diacласa	40/35 (estratificación) 96/90 (diacласa)	5°2'13.6"	75°59'2.4"
las delicias	Fm. Penderisco	estratificación	190/20	5°3'27.7"	75°57'4.1"
vía hacia peralonso	Fm. Penderisco	estratificación	40/35	4°57'21.7"	75°54'04"
peralonso santuario	Fm. Penderisco	estratificación	310/40	5°00'47.2"	75°54'22"
15 letras la palma	Fm. Penderisco	estratificación	10°/85°	5°2'27.1"	75°55'25.3"
las palmas	Fm. Penderisco	estratificación	175/35	5°4'37.1"	75°57'16.6"
vía Virginia Apía	Fm. Barroso	diacласa	80/65	5°5'48.4"	75°55'37,8"
san Gabriel la marina	Fm. Penderisco	estratificación	110/70	5°29'11.6"	75°46'40.4"
vía Virginia Apía	Fm. Barroso	diacласa	210/75 130/21 100/70	5°31'2.3"	75°47'39-9"

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

2.3.1. Densidad De Fracturamiento asociado a Elementos Estructurales (Fallas y Pliegues)

Para determinar la densidad de fracturamiento se tomó lo propuesto en la Metodología para la zonificación de susceptibilidad General del terreno a los movimientos en masa (IDEAM 2012) donde se establece lo siguiente:

La condición y estado de fracturamiento de las rocas se asocia particularmente, a las zonas de mayor deformación tectónica, que corresponde a las fallas geológicas y plegamientos de las rocas sedimentarias. En el caso de las fallas geológicas es de esperar que la deformación y fracturamiento se intensifique con las tasas de desplazamiento de las fallas, mientras que en el caso de los pliegues el mayor fracturamiento se concentra en las crestas donde predominen las rocas frágiles. (Metodología para la zonificación de susceptibilidad General del terreno a los movimientos en masa IDEAM 2012).

Se trata de presentar un modelo que de una idea razonablemente confiable sobre la distribución y densidad de discontinuidades estructurales y/o mecánicas de las rocas, bien sea, las que se relacionan con su forma de yacimiento (planos de estratificación, pliegues, foliación, clivaje, relajación, etc.), como las que tienen que ver con el comportamiento frágil o dúctil de las rocas, frente a las fuerzas tectónicas (diaclasas, zonas de cizallamiento y fallas geológicas). Se pretende visualizar este modelo de manera sencilla, interpretándolo desde el punto de vista de su influencia sobre el estado y condición de fracturamiento de los macizos rocosos, desde el punto de vista geomecánico. (Metodología para la zonificación de susceptibilidad General del terreno a los movimientos en masa IDEAM 2012)

Si bien el patrón estructural revela únicamente la expresión superficial de las zonas de falla, esta expresión es suficientemente representativa de la zona en profundidad afectada por los movimientos en masa. Así mismo, la orientación de las zonas de falla guarda una cierta relación con la orientación de los sistemas de fracturas en el nivel regional. (Metodología para la zonificación de susceptibilidad General del terreno a los movimientos en masa IDEAM 2012)

Para el caso concreto de la cuenca del río Risaralda se tomaron las fallas existentes en el área y se definió un radio de influencia de 500 m a lado y lado de cada estructura, en la cual se asume que existe un grado mayor de fracturamiento para los materiales presentes.

Adicionalmente se definieron las áreas de unidades geológicas que presentan algún tipo de plegamiento y verificado en la etapa de campo, y que a su vez también presentan mayor densidad de fracturamiento de las rocas involucradas especialmente en los ejes de los pliegues de dichos plegamientos.

De acuerdo a la metodología adelantada por el IDEAM (2012) se tienen en cuenta las de desplazamiento de las estructuras con deformaciones en el Cuaternario, y asumiendo que a mayor tasa de desplazamiento hay un mayor grado de fracturamiento.

La figura representa el grado de actividad de las fallas a partir de la relación tiempo - desplazamiento (Page y Cline, 1981 en IDEAM 2012), la cual también es utilizada para inferir el grado de fracturamiento.

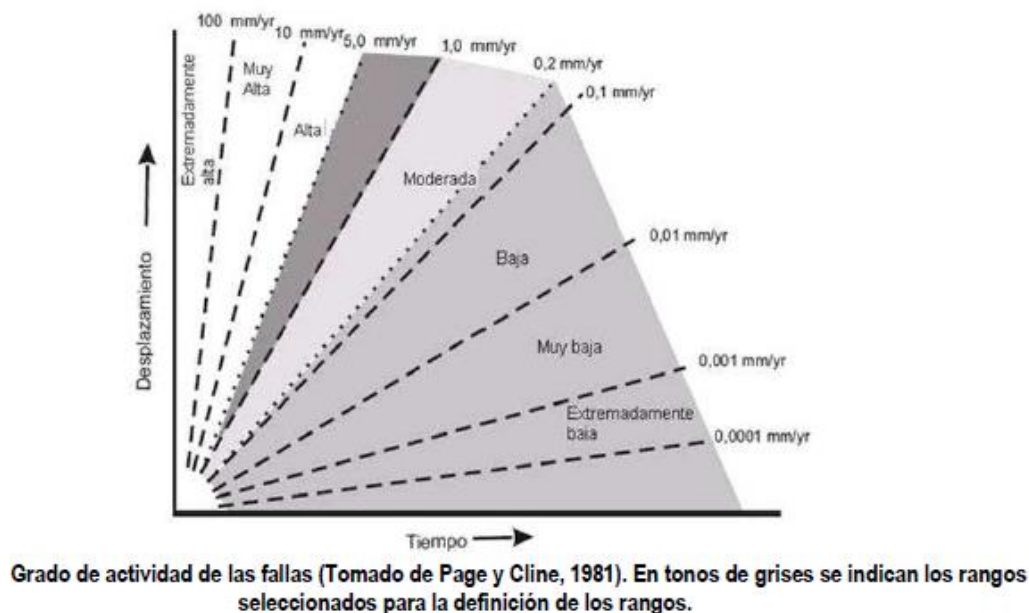


Figura 14. Grado de Actividad de Fallas.

Fuente: IDEAM 2012.

Para el caso concreto de las fallas y estructuras evaluadas en la zona de estudio se determina el grado en la densidad de fracturamiento así con valores de mayor a menor:

- Fallas con tasas de desplazamiento > 1.0 mm/yr
- Fallas con tasas de desplazamiento entre $0.2 - 1.0$ mm/yr.
- Fallas con tasas de desplazamiento < 0.2 mm/yr.
- Resto de fallas de las cuales no se conoce su tasa de desplazamiento.
- Pliegues.

Estos valores representan una división jerárquica del estado de fracturamiento de la roca, asociado a los principales elementos estructurales (fallas y pliegues) tomados para el estudio.

En el anexo 1 en el mapa de densidad de fracturamiento, se delimitan las áreas con mayor afectación de las rocas según la metodología planteada.

Se efectuó un análisis estadístico para las fallas existentes denotando la mayor concentración de fallas en sitios específicos de los municipios de Santuario (sector central), Límites entre municipio de Apía y Belén de Umbría, sector Este de Belén de Umbría, hacia el Sur Oeste de Guática y al Nor Este de Risaralda como se visualiza en la siguiente figura

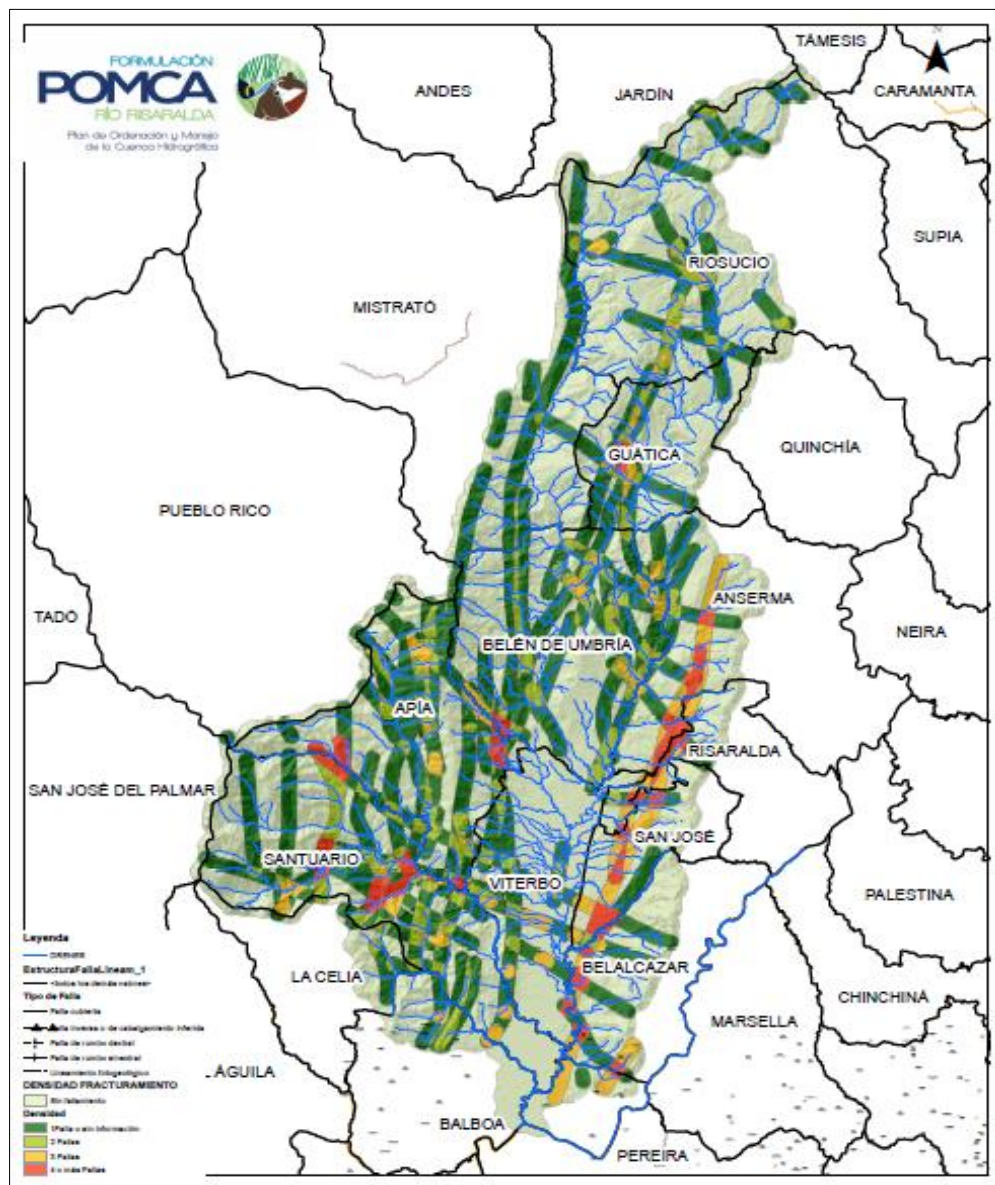


Figura 15. Mapa estadístico para densidad de fracturamiento.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.4. Evolución geológica

La evolución geológica de la cuenca del Río Risaralda, se relaciona con la dinámica de formación del flanco oriental de la Cordillera Occidental y el Graben Interandino Cauca-Patía. En dicho ámbito se destacan eventos de acreción continental, sin que se describan en dicho entorno eventos de metamorfismo dinámico o térmico.

Para efectos de la ordenación de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda, resulta importante reconocer aspectos globales, donde se exprese de forma clara el basamento rocoso predominante y los principales eventos geomorfodinámicos, asociados a procesos tectónicos regionales y actividad volcánica, en relación con el emplazamiento de diversos cuerpos intrusivos, para posteriormente entrar a diferenciar en los productos de mayor detalle los materiales geológicos cuaternarios, principalmente de carácter aluvial, en razón de las características de los valles del río Risaralda y Mapa principalmente, así como depósitos continentales terciarios.

Se definen diversos eventos de levantamiento cordillerano de las unidades de las secuencias volcano-sedimentarias del Grupo Cañasgordas, emplazada durante el Cretácico temprano, que geo cronológicamente representan el primer referente de la evolución de la Cordillera Occidental, propia de un contexto regional donde ocurría la separación de las placas de Norteamérica y Suramérica, y el desarrollo de las fases iniciales de la Placa Caribe integrada a la Placa Farallones (McCourt et al., 1985, en Toussaint, 1996).

Para finales del Cretácico temprano, las rocas volcánicas básicas aflorantes en la cuenca del Río Risaralda, se acrecentaron al continente en una franja que coinciden con la Falla Cauca-Almaguer (Aspden et al., 1986), que en algunos sectores formaron complejos ofiolíticos, y que corresponden a rocas de tipo Ultramáficas y máficas como los relacionados como Gabro de Anserma y Gabro Uralítico de Belén de Umbría, y de igual forma las rocas volcánicas de las vulcanitas de la Formación Barroso.

Así la Formación Barroso, correspondería según geoquímica y datos paleomagnéticos (Nivia, A., 1989), a un ambiente de plateau oceánico, a través de puntos calientes, con materiales diferenciados, y también aglomerados y tobas, y para el cretácico tardío se formarían los sedimentos tipo flysch, de la Formación Penderisco (Miembro Urrao).

La unidad geológica dominante de la zona corresponde a la Formación Barroso, coincidente con los tramos montañosos de los municipios del oriente Risaraldense localizados en la zona objeto de estudio y los municipios sur-occidentales del departamento de Caldas.

Ya el emplazamiento de cuerpos intrusivos como el Stock de Mistrató ha sido asociado a procesos de subducción, y en asocio con fallas de rumbo, hacia el Oligoceno dan lugar a la cuenca del Cauca, y probablemente con posterioridad se dio lugar a la

formación de la cuenca del Río Risaralda, que dio lugar a la sedimentación de las unidades correspondientes a la Formación Amagá y la Formación La Paila.

Durante la orogenia andina, Mioceno tardío-Plioceno, se dio la erosión y depósito de sedimentos de la Formación Combia discordantemente sobre la Formación Amagá. El levantamiento principal tuvo lugar durante el Mioceno tardío-Plioceno, dándose lugar a vulcanismo de carácter toleítico, mientras que para el Plioceno y Pleistoceno, se originaron sedimentos derivados de los aportes de cenizas y flujos de lodo, interestratificados con depósitos aluviales y lacustres propios de la Formación Zarzal. Concomitantemente se desarrollan cuerpos hipoabisales, de composición andesíticos a dacítica, asociados a dinámica tectónica por fallas norte sus y noroeste-sureste.

2.5. Mapa geología básica para ingeniería (UGS)

El mapa de geología para ingeniería a escala 1:25.000 o Geológicas Superficiales (UGS) tiene como objetivo principal definir el conjunto de materiales superficiales (rocas y suelos o depósitos), evaluando sus aspectos estructurales y geomecánicos (estimaciones, correlaciones, toma de muestras y ensayos de laboratorio).

Para la obtención del mapa de Geología para Ingeniería como producto intermedio, se efectuó un procedimiento que tuvo como primera medida generar un mapa de UGS cualitativo basado en los aportes previos obtenidos del mapa de Geología básica a escala 1:25.000 definiendo de manera generalizada los tipos de rocas, suelos y depósitos existentes teniendo en cuenta los parámetros determinados en los formatos establecidos en el Protocolo de Gestión del Riesgo citado anteriormente.

Adicionalmente se efectuó un proceso de interpretación de sensores remotos mediante la evaluación de imágenes de satélite (Google Earth) lo que permitió delimitar mejor las unidades geológicas presentes.

Posteriormente se procedió a generar el mapa preliminar de UGS superponiendo este producto con las geoformas y procesos morfodinámicos identificados en el mapa geomorfológico de Subunidades; este cruce de capas permitió redefinir cartográficamente el mapa de UGS a escala 1:25.000 y orientara la definición de los sitios para control de campo de los materiales superficiales, para lo cual se definieron 99 sitios de control para UGS, distribuidos de manera estratégica para la verificación de los materiales superficiales existentes.

Siguiendo el procedimiento general, se procedió a realizar las actividades de campo; los controles de campo para UGS tuvieron como insumo principal el diligenciamiento del formato 6 (Libreta de campo para UGS), establecido en el "PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente

y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el anexo 1

Como producto final se obtuvo el mapa definitivo de Geología para Ingeniería en el cual se denotan variaciones en los materiales que constituyen las geoformas, ya que desde el punto de vista de la génesis del suelo, una misma subunidad del terreno puede tener variables en su génesis y por ende puede presentar diversos materiales superficiales bien sea roca, suelo o depósito, con diferentes orígenes; este cambio se ve reflejado en las diferencias en las porciones areales del terreno que existe entre el mapa de geología básica y el mapa de UGS donde ya se tiene en cuenta todos estos parámetros tanto genéticos como geomecánicos de los materiales. Tal es el caso que se evidencian en las grandes unidades geológicas presentes en la cuenca como La Formación Barroso, el Plutón de Mistrató y La Formación Penderisco, que si bien están asociadas a geoformas típicas como cerros residuales y espinazos, también es cierto que a partir de ellos se generan suelos residuales producto de la intensificación de la meteorización en algunos sectores de la geoforma, también por procesos de transporte pueden ser suprayacidos por depósitos de ceniza, escombros, fluviovolcánicos, entre otros y por desprendimiento de materiales en las laderas se pueden generar sobre ellos suelos translocados tipo coluvión, es decir, en el mapa de geología para ingeniería se observa una mayor densidad de áreas debido a la heterogeneidad de génesis de materiales superficiales.

En la siguiente figura se ilustra el flujograma con la metodología empleada para la obtención del mapa de Geología para Ingeniería o UGS.

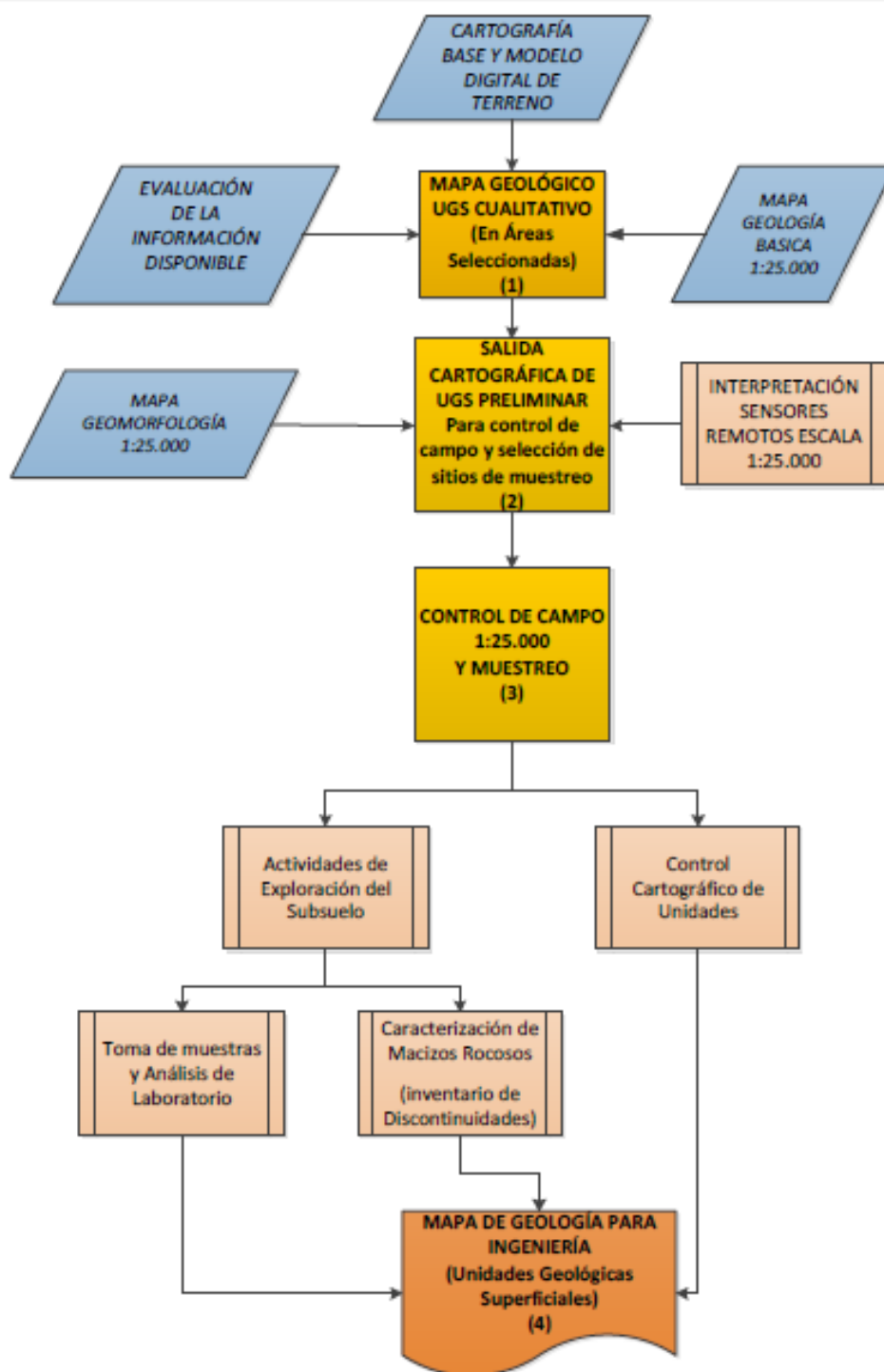


Figura 16. Diagrama del proceso para la obtención del producto mapa de geología para Ingeniería (UGS cualitativa)

Fuente: Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2014

Para el presente trabajo se realizaron las caracterizaciones en las áreas determinadas como de susceptibilidad media y alta, caracterizando los diferentes materiales superficiales teniendo en cuenta diferentes parámetros: litología, dureza, porosidad, permeabilidad, humedad, condición de discontinuidades, meteorización, densidad de rasgos estructurales entre otros.

Los ensayos de laboratorio adelantados corresponden a: (humedad, granulometría, límites de atterberg, índice de plasticidad, peso específico), resistencia mediante corte directo para definición de la cohesión, ángulo de fricción y peso unitario

Las actividades planteadas para la elaboración del Mapa de geología para Ingeniería (UGS) tuvo como base metodológica lo estipulado en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014)”, como se relacionan a continuación:

2.5.1. Elaboración del mapa de geología para Ingeniería (UGS-Cualitativo)

Se realizó el mapa cualitativo de los materiales superficiales existentes en el área, basado en los datos aportados por el mapa de Geología Básica a escala 1:25.000, definiendo de manera generalizada los tipos de rocas, suelos y depósitos existentes teniendo en cuenta los parámetros determinados en los formatos establecidos en el Protocolo de Gestión del Riesgo citado anteriormente.

Es preciso destacar que para la zona no existen estudios detallados de Formaciones Superficiales, por lo tanto, la descripción inicial cualitativa es generalizada teniendo en cuenta los tipos de rocas presentes evitando categorizar algún tipo de suelo para evitar algún sesgo en la información; y los ajustes pertinentes fueron efectuados en los controles de campo.

El resultado de esta actividad corresponde a un producto intermedio donde se resalta la existencia de rocas ígneas básicas (Formación Barroso), rocas ígneas intrusivas (Plutón de Mistrató), Rocas sedimentarias (Formación Amaga, Penderisco entre otros), suelos residuales de rocas sedimentarias e ígneas y depósitos aluviales.

Leyenda

• PCR

UnidadGeologicaSuperficial



NOMENCLAT

- abánico aluvial
- coluvion
- depositos de ceniza
- depositos de llanura
- depositos de terraza
- fm penderisco
- formacion barroso
- grupo cañasgordas
- porfido andesitico
- suelo residual igneo intrusivo
- suelo residual igneo volcanico
- suelo residual sedimentario

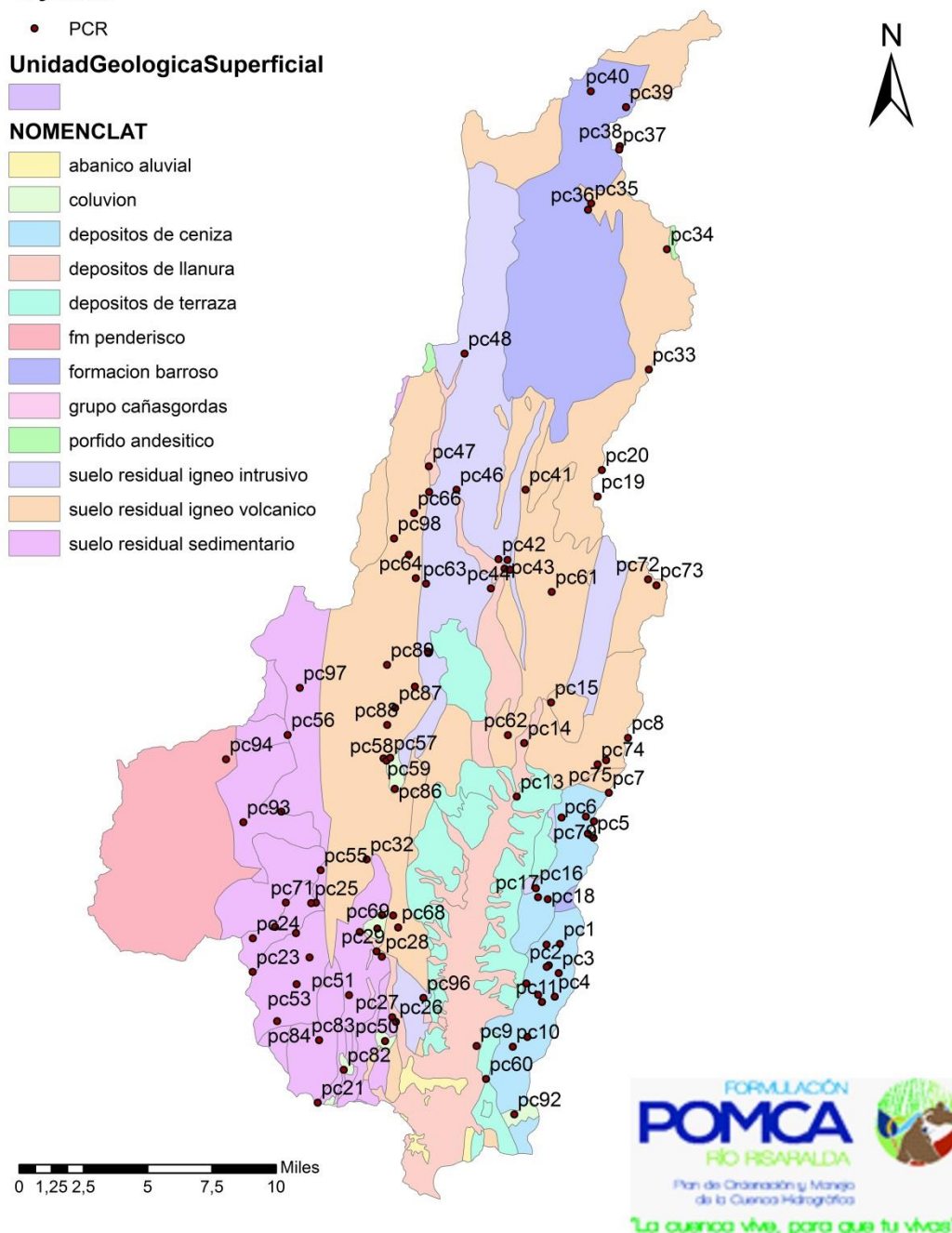


Figura 17. Mapa Cualitativo de unidades superficiales UGS. Escala 1:100.000.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

2.5.2. Consolidación del Mapa preliminar de UGS y selección de sitios de muestreo para control de campo

En esta fase se adelantó la interpretación de sensores remotos mediante la evaluación de imágenes de satélite (Google Earth) lo que permitió delimitar mejor las unidades geológicas presentes, y haciendo uso del SIG. Se adicionaron las geoformas y procesos morfodinámicos existentes en el área que permitieron definir los puntos de control de campo de los materiales superficiales y la selección de los sitios prioritarios para la toma de muestras para caracterizaciones de las UGS para el área de estudio.

Dichas evaluaciones de imágenes de satélite aportaron la cobertura total del área con menos detalles hacia el sector Norte donde la resolución y calidad de la imagen es mucho menor, sin embargo se realizó la fotointerpretación geológica y geomorfológica detallando el tipo de materiales existentes, depósitos, fallas, lineamientos, entre otros.

Adicionalmente en esta etapa y mediante la utilización del SIG., se superpuso la información consolidada a escala 1:100.000 con la fotointerpretada y se identificaron los sitios de interés prioritarios para iniciar el control geológico de campo o puntos de Control.

De acuerdo con lo establecido anteriormente se definieron 99 sitios de control para UGS, distribuidos de manera estratégica para la verificación de los materiales superficiales existentes y basados en los formatos establecidos en el protocolo de Gestión del Riesgo

Adicionalmente se plantearon 99 sitios de caracterizaciones de las Unidades superficiales UGS y teniendo como base lo determinado en el Protocolo el cual establece “Para cada Unidad de Comportamiento Similar UGS de menos de 100 Has, se debe elegir por lo menos un sitio de caracterización. Para unidades mayores se debe seleccionar un sitio adicional por cada 100 Has” y para las zonas de susceptibilidad media y Alta.

Los controles de campo para UGS tuvieron como insumo principal el diligenciamiento del formato 6 (Libreta de campo para UGS), establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el anexo 2. En dicho formato se evaluaron los siguientes aspectos:

- **Aspectos generales del sitio tales como:** Numero de Estación, Fecha, coordenadas, altura (GPS), origen, plancha 1:25.000 y referente geográfico.
- **Tipo de Roca:** Textura, orientación, dureza, composición, discontinuidades, índice de deformación, tipo de roca, perfil de meteorización.

- **Tipo de Suelo:** Genética, Textural, consistencia, Humedad natural, discontinuidad, descripción de horizontes y referencias fotográficas.

La información obtenida en el formato 6 fue procesada y plasmada en hojas de cálculo para un adecuado manejo de la información aportada por los controles de campo efectuados.

En el anexo 2 se remiten los formatos de control de campo efectuados, basados en el PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE MANEJO Y ORDENAMIENTO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (noviembre 2014).

En la siguiente figura se observa el análisis de sensores remotos realizado para iniciar los controles de campo para UGS.

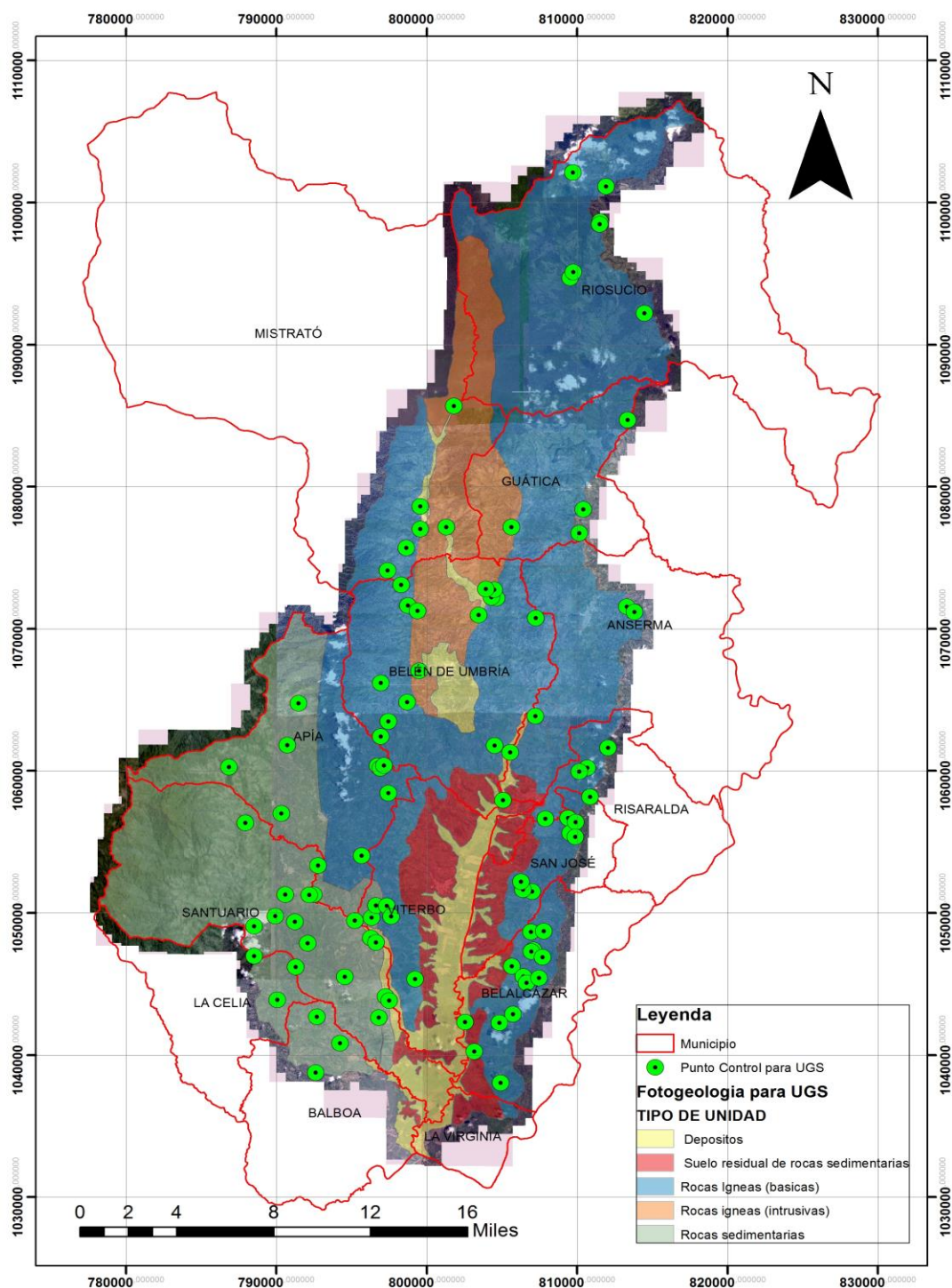


Figura 18. Análisis de sensores remotos y ubicación de puntos de control para UGS (puntos verdes). Escala 1:100.000.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

2.5.3. Actividades de Campo

Teniendo en cuenta en los datos obtenidos en las fases anteriores se realizaron los controles de campo para efectuar el control cartográfico de los materiales superficiales y a la obtención de muestras para efectuar los ensayos de laboratorio tanto para rocas (Medida de resistencia de rocas blandas en campo mediante métodos sencillos tipo penetrómetro y la dureza mediante el uso del martillo de Schmidt), como para suelos (índice de clasificación: granulometría, límites, peso unitario, humedad, parámetros de resistencia), teniendo como base los formatos y tablas establecidas en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014)”. Ver anexo 4

Los controles de campo para UGS tuvieron como insumo principal el diligenciamiento de los formato 3 (Caracterización de suelos para cartografía de mapas de geología para Ingeniería), formato 4 (Caracterización de macizos rocosos para cartografía de mapas de geología para Ingeniería) y formato 2 (Información de discontinuidades), establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el anexo 3

En el Formato 3 se evaluaron los siguientes aspectos:

- **Información General:** Departamento, Municipio, Vereda, Latitud, Longitud, altitud, Nombre y fecha.
- **Clase de afloramiento:** Natural, corte superficial, excavación subterránea, trinchera, apique.
- **Secuencia estratigráfica:** Horizontes y tipo de depósito.
- **Caracterización:** Horizonte, color, textura, consistencia, densidad relativa, consistencia de los clastos, penetrometro, estructuras.
- **Referencias fotográficas y descripciones.**
En el formato 4 se analizaron los parámetros que a continuación se describen:
- **Información General:** Departamento, Municipio, Vereda, Latitud, Longitud, altitud, Nombre y fecha.
- **Clase de afloramiento:** Natural, corte superficial, excavación subterránea, trinchera, apique.
- **Material rocoso:** Horizontes, tamaño de grano, dureza, martillo Schmidt, rasgos de esfuerzos, composición, tamaño de grano, fabrica.
- **Macizo rocoso:** Dirección de buzamiento, familias de diaclasas.
- **Condiciones de superficie:** Rugosidad, meteorización, relleno, estructura, GSI, Humedad, tamaño de bloques

- **Estructura, GSI, Humedad, tamaño de bloques.** : Dirección de buzamiento, familias de diaclasas.
- **Referencia fotográfica y descripciones.**
En el Formato 2 se evaluaron los siguientes aspectos:
- **Datos estructurales:** Persistencia, abertura, flujo de agua entre otros.

La información obtenida en los formatos 2, 3 y 4 diligenciados en campo, fue procesada y plasmada en hojas de cálculo para una mejor presentación y análisis de los resultados, los cuales fueron incluidos en las descripciones particulares para cada una de las Unidades superficiales UGS identificadas tanto para suelos como para rocas y de esta manera proceder a la elaboración del mapa de UGS.

Para la evaluación de los parámetros de las Unidades Geológicas superficiales, se tuvieron en cuenta estimaciones de propiedades, correlaciones de datos obtenidos en estudios realizados en la zona en periodos anteriores y por lo aportado por los ensayos de laboratorio ejecutados por el presente proyecto.

Se realizaron 75 caracterizaciones o puntos de muestreo en los diversos materiales de formaciones superficiales y macizos rocosos evaluados mediante la ejecución de trincheras y apiques (para suelos) para la obtención de muestras inalteradas mediante tubos de pared delgada los cuales fueron remitidos al laboratorio implementando el protocolo para el transporte de muestras como se detalla en el anexo 4

Basado en los datos obtenidos en los controles de campo para la caracterización de UGS y con el fin de consolidar un producto intermedio como el mapa de UGS, haciendo uso del Formato 3. Caracterización de suelos para cartografía de mapas de Geología para Ingeniería (tomado del SGC, 2004). establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el anexo 3. En dicho formato se evaluaron los siguientes aspectos:

- **Información General:** Código, departamento, municipio, vereda, latitud, longitud y altitud.
- **Clase de afloramiento:** Natural, corte superficial, excavación subterránea, trinchera, apique.
- **Secuencia estratigráfica:** Horizontes (VI, V, IV)
- **Caracterización:** Horizonte capa, color, textura, consistencia, densidad relativa, forma de los clastos, estructuras, profundidad de muestreo, espesor de la capa, fotografía.

Para el caso de rocas se evaluaron los macizos rocosos expuestos en taludes generados entrópicamente para la apertura de vías y explotación de canteras, como también zonas de drenajes donde afloran los materiales de estudio como se relaciona en el anexo 5

En la Tabla 7 se muestra el número de caracterizaciones o muestreos de UGS realizados para la cuenca del Río Risaralda.

Tabla 7. Caracterizaciones en formaciones superficiales realizadas.

USG	NUMERO DE MUESTRAS
srii (Ultramafita de Puente Umbría)	1
srii (Gabro Uralítico de Belén de Umbría)	1
Stf4 (Fm Zarzal)	1
srii (Gabro de Anserma)	2
strc1 (Coluviones)	4
Stf2 y Stf3 (Sedimentos de Viterbo)	7
Stf3 (Fm La Paila)	4
srs (Fm. Penderisco)	8
srii (Plutón de Mistrató)	9
stv1 (Depósitos de ceniza)	15
sriv (Fm Barroso)	16
Sriv2 (Fm Combia)	7
TOTAL	75

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

La Tabla 8 se muestra el número de muestreos en roca mediante resistencia utilizando el martillo de Schmidt.

Tabla 8 Caracterizaciones en Rocas mediante resistencia usando martillo Schmidt

SITIO	USG	CANTIDAD
Riosucio	Fm. Barroso	1
Arroyo hondo	Fm. Barroso	2
Las cruces	Fm. Barroso	1
Cantera Lázaro	Gabro de Anserma	2
Mistrató vía belén	Plutón de Mistrató	4
Puente Umbría	Ultramafitas de puente Umbría	3
Belén de Umbría	Gabro de Belén de Umbría	3
San Gabriel	Fm. Penderisco	2
La Marina	Fm. Penderisco	1
La Isla	Fm. Barroso	4
Belalcázar	Fm. La Paila	4
	Total	27

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

2.5.4. Análisis de laboratorio

2.5.4.1. Suelos (UGS)

A las muestras inalteradas de las formaciones superficiales que se recuperaron en la exploración; se les practicaron los siguientes ensayos:

- Determinación del contenido natural de humedad en porcentaje (ASTM D 2216).
- Granulometría por tamizado y lavado sobre tamiz # 200 para establecer los porcentajes de gravas, arenas y finos, en porcentaje (ASTM D 2487).
- Límites de Atterberg o límites de plasticidad (límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad) (ASTM D 4318).
- Determinación del peso unitario (total y seco) del suelo.
- Clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S (ASTM D 2487).
- Determinación de la resistencia a la compresión confinada. (ASTM D 2166).
- Ensayo de Corte Directo.
- Ensayo de consolidación.

En el anexo 4 basados en el PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE MANEJO Y ORDENAMIENTO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (noviembre 2014)., se presentan los registros de laboratorio de las muestras de suelo ensayadas, discriminadas de acuerdo con cada sondeo y su profundidad.

En la Figura 19 se evidencia la forma de realizar las exploraciones del subsuelo mediante la implementación de trincheras y apiques.

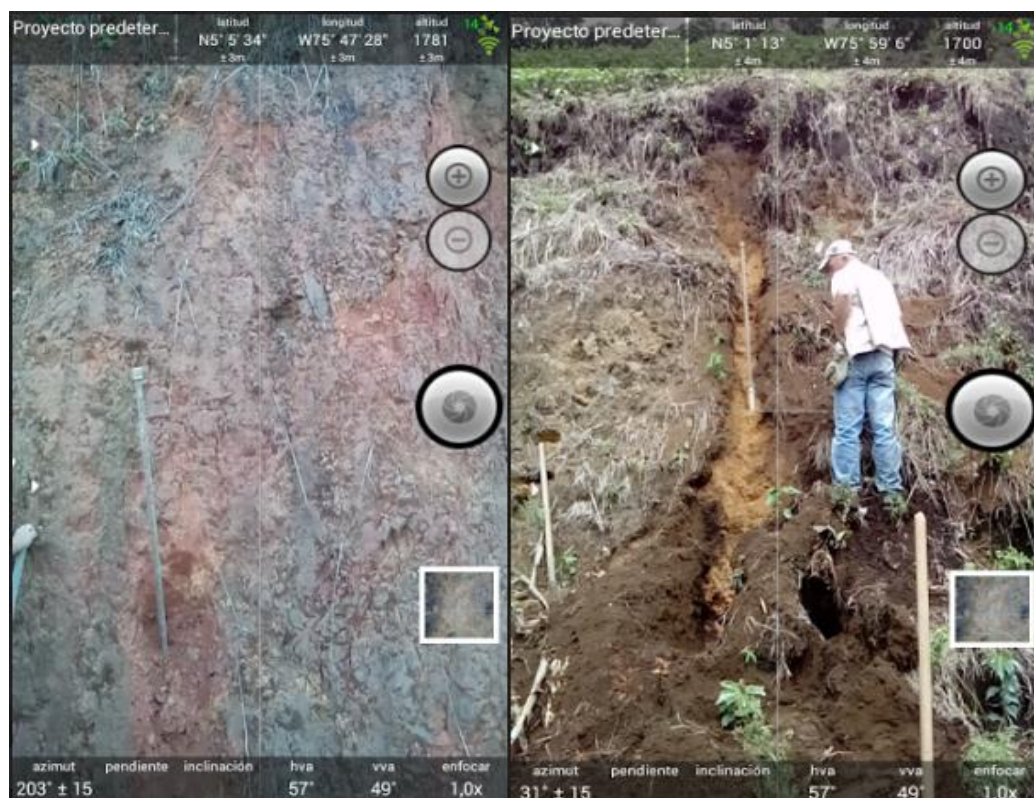


Figura 19. Exploraciones del subsuelo mediante trincheras para obtención de muestras
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Tabla 9 se evidencian los porcentajes de las unidades geológicas superficiales con sus respectivas áreas en la cuenca de Río Risaralda.

Tabla 9 Unidad Geológica Superficial, clasificación según Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo.

UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	SIMBOLOGÍA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
residual ígneo intrusivo	srii (Gabro de Anserma)	2025,283413	3,41%
residual ígneo intrusivo	srii (gabro uralítico de Belén de Umbría)	755,7464472	1,14%
residual ígneo intrusivo	srii (Plutón de Mistrató)	12234,20937	1,14%
residual ígneo intrusivo	srii (ultramafita de puente umbría la isla)	205,045314	1,14%
residual ígneo volcánico (Fm. Barroso)	sriv	29095,95655	12,50%
residual ígneo volcánico (Fm. Combia)	sriv2	11115,94207	5,68%
residual sedimentario (Fm. Penderisco)	srs (Fm. Penderisco)	17452,99757	13,64%
residual sedimentario (grupo cañas gordas)	srs (Grupo Cañasgordas)	1224,02759	9,09%
Depósitos de llanura	stf2	10989,15417	7,95%
Depósitos de terrazas aluviales (sedimentos de Viterbo, Fm. La paila)	stf3	8980,453724	15,91%
abanico fluvial (Fm. Zarzal)	stf4	601,191419	5,68%
translocado Coluvial	strc1	763,1080542	5,68%
transportado de ceniza volcánica	stv1	11102,24655	10,23%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Se observan los porcentajes de muestreos realizados en suelos del total de las 75 exploraciones realizadas en las unidades geológicas superficiales.

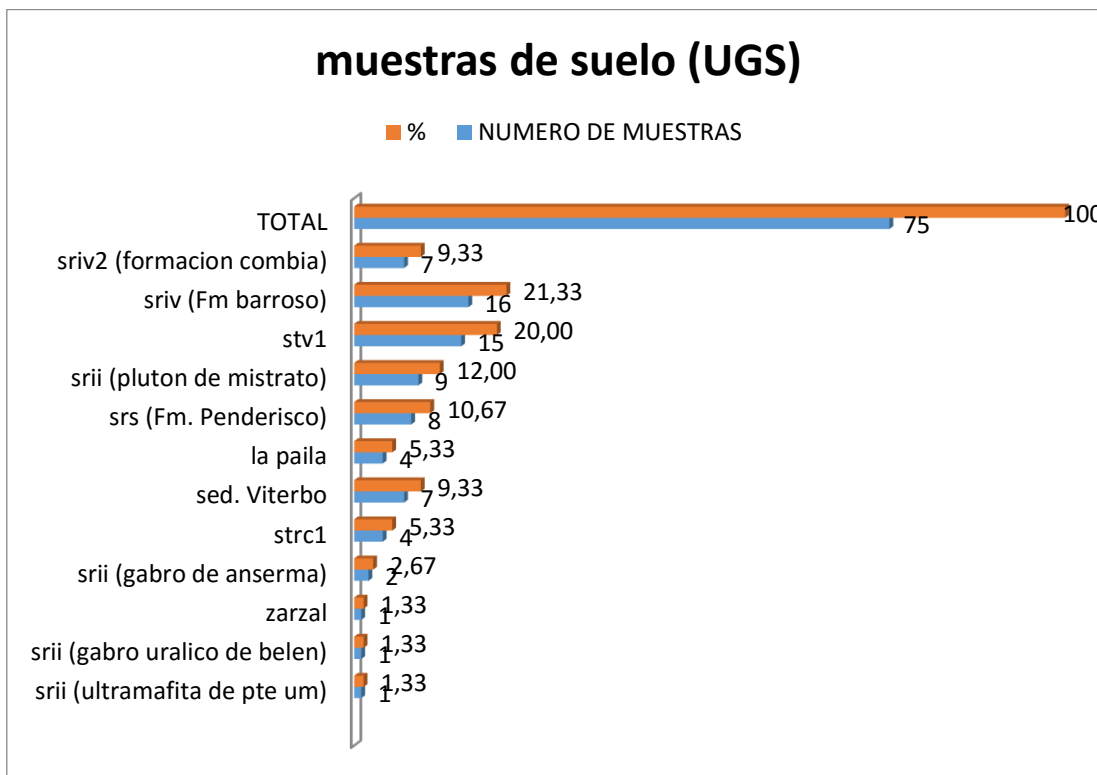


Figura 20. Porcentaje de muestreos en suelos.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Tabla 10 se relacionan los datos obtenidos por los diferentes ensayos señalados anteriormente que soportan las caracterizaciones adelantadas.

Tabla 10. Caracterizaciones de suelos

MATERIAL	NOMENCLATURA	W(%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Pasa tamiz	CLASIFICACION USCS	Yseco (g/cm ³)	Yhumedo (g/cm ³)	Angulo Fricción (grados)	Cohesión (Kg/cm ²)	qu (Kg/cm ²)
Sriv2 (Formación Combia)	Depósitos fluvio volcánicos	45.56	44.34	33.51	10.6	88.38	OL	1.05	1.51	30	ND	1.37
Sriv (Barroso)	Suelo residual ígneo volcánico	49.75	43.51	32.85	10.65	95.09	OL	1.2	1.63	28.28	0.4	1.11
Stv1	Depósitos de ceniza	75.28	66.51	45.82	25.77	87.6	MH	0.85	1.34	29.63	0.32	0.99
Srli (Plutón de Mistrató)	Suelo residual ígneo intrusivo	37.87	37.47	27.1	10.37	94.11	OL	1.31	1.7	32.44	0.41	1.27
Srs (Penderisco - Cañasgordas)	Suelo residual sedimentario	66.25	43.58	32.03	10.05	93.6	OL	1.16	1.65	31.25	0.56	1.19
Stf3	Depósitos de terraza	55.36	41.39	32.79	8.6	88.69	OL	1.15	1.61	31.71	0.4	1.23
Stf2	Depósitos de llanura	71.92	41.76	34.07	7.68	90.49	OL	1.03	1.54	28.5	0.21	0.83
Strc1	Coluviones	35.04	32.76	27.08	5.08	89.97	OL	1.32	1.66	35.5	0.48	1.35
Srli (Gabros de Anserma)	Suelo residual ígneo intrusivo	65.13	62.22	43.6	17.62	92.67	MH	0.98	1.54	29.5	0.42	1.18
Stf4 (Zarzal)	Depósitos de abanico	41.22	43.74	30.71	13.04	ND	OL	1.24	1.63	23	0.76	1.26
Srli (Gabro Uralítico de Belén)	Suelo residual ígneo intrusivo	48.48	48.96	33.71	15.25	94.06	OL	1.25	1.69	32	0.53	1.49
Srli (Ultramafita Puente Umbria)	Suelo residual ígneo intrusivo	32.72	35.69	31.37	4.32	ND	OL	1.23	1.6	30	0.98	1.108

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En las siguientes figuras se observan macizos rocosos con presencia de suelos residuales ígneos volcánicos y sedimentarios respectivamente.



Figura 21. Suelo residual de rocas ígneas básicas como materiales superficiales.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 22. Rocas sedimentarias como unidades superficiales existentes. Sector Oeste del área

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.5.4.2. Rocas (UGS)

Se realizó la medición de la Resistencia de la pared de la discontinuidad ya que Influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad, y depende del tipo de matriz rocosa, el grado de alteración y de la existencia o no de relleno.

En los sitios evaluados se realizó la estimación en campo mediante el uso del martillo Schmidt aplicándolo directamente sobre la discontinuidad. Se efectuaron diversas mediciones en diferentes áreas de los frentes expuestos. Los valores obtenidos del rebote del martillo fueron correlacionados con los ábacos con respecto a la densidad de la roca y la inclinación del martillo y del plano ensayado.

Los resultados obtenidos fueron establecidos con los rangos de resistencia que se ilustran en la Tabla 11.

Tabla 11. Resistencia de la matriz rocosa

Resistencia de la Matriz Rocosa	Compresión simple (MPa)
Clase I	>250
Clase II	250-100
Clase III	100-50
Clase IV	50-25
Clase V	1-25

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la siguiente figura se ilustra el proceso de medición del parámetro de resistencia utilizando el martillo de Schmidt.

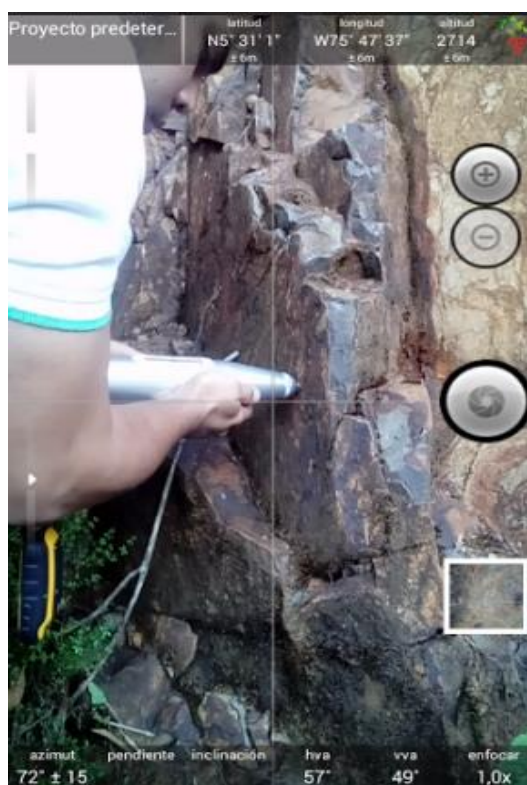


Figura 23. Medición de la resistencia de la matriz rocosa con el martillo Schmidt

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En el anexo 8 se remiten los resultados de las mediciones mediante el martillo Schmidt.

2.5.4.3. Parámetros geomecánicas del material

Se realizaron valoraciones del tipo de material y sus características geomecánicas, basado en correlaciones de campo, ensayos de laboratorio realizados en muestra similares, composición de las rocas de interés y datos aportados por los Gestores del proyecto.

Se realizó la caracterización mediante software especializado RocLab para determinar los esfuerzos y parámetros de resistencia para la masa de roca basada en el criterio de falla generalizado de Hoek-Brown

Este criterio se destaca por su aplicabilidad para masas de rocas y los cálculos para los parámetros equivalentes de Mohr-Coulomb y criterios de envolvente de falla de Hoek-Brown.

Los cálculos suministran una simple e intuitiva implementación de los criterios de falla de Hoek-Brown; se estiman las propiedades de la masa de roca y visualiza los efectos del cambio de las masas de rocas sobre los envolventes de falla.

A continuación, se establecen los cálculos efectuados:

1. **Parámetros de esfuerzos:** Determina los parámetros generalizados Hoek-Brown de la masa de roca (**mb**, **s** y **a**), basado en los siguientes datos:
 - Esfuerzos compresivos inconfiado (**sigci**)
 - Parámetro de roca intacta (**mi**)
 - Fuerzas geológicas (**GSI**)
 - Factor de Perturbación (**factor D**).

2.5.4.4. Determinación de módulo de deformación de roca “Rock Mass deformación Modulus”

Determina los módulos de deformación basado en los siguientes datos:

- Módulo de deformación roca intacta (**Ei**)

Ei: puede ser estimado usando un módulo MR. Envolvente de Falla: Establece la envolvente principal de falla de Hoek-Brown como esfuerzo principal y/o esfuerzos normal o final.

Parámetros Mohr-Coulomb: Cálculos de parámetros equivalentes de esfuerzos de Mohr-Coulomb (cohesión y ángulo de fricción). La Tabla 12 remite los datos evaluados para los materiales rocosos evaluados.

Tabla 12. Parámetros geomecánicos para rocas.

PARÁMETROS GEOMECAÑICAS PARA ROCAS (Hoek Brown Classification) CUENCA DEL RIO RISARALDA										
ROCAS	SITIO	sigci	GSI	mi	D	Ei	MR	c (MPA)	ϕ	Resistencia (MPa) (medición martillo)
Basaltos Formación Barros	Vía Riosucio	18	68	25	1	6300	350	0,2546	52,67	18
	Arroyo Hondo y cantera El Jazmín, Isla	50	68	25	1	17500	350	0,4756	58,67	50 (promedio)
	Cantera El Jazmín	100	68	25	1	35000	350	0,8	61,94	100 (promedio)
	Cantera El Jazmín	250	68	25	1	87500	350	1,7728	65,16	250 (Promedio)
Rocas metasedimentarias (Formación Penderisco)	La Marina, San Lázaro	22	51	25	1	4400	675	0,1517	45,01	22 (promedio)
Plutón de Mistrató	Andesitas (Vía Belén- Mistrató)	18	56	27	1	7200	400	0,1667	47,02	18 (promedio)
Rocas Ultramáficas Puente Umbría	Rocas Ultramáficas básicas serpentinizadas, (Puente Umbría)	20	43	25	1	7000	350	0,1136	39,43	20 (promedio)
Gabros	Belén de Umbría, (Gabros)	36	67	27	1	16200	450	0,3624	57,07	36 (promedio)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la siguiente figura se observan los gráficos arrojados por el software RocLab de acuerdo al criterio de rotura generalizado de Hoek – Brown.

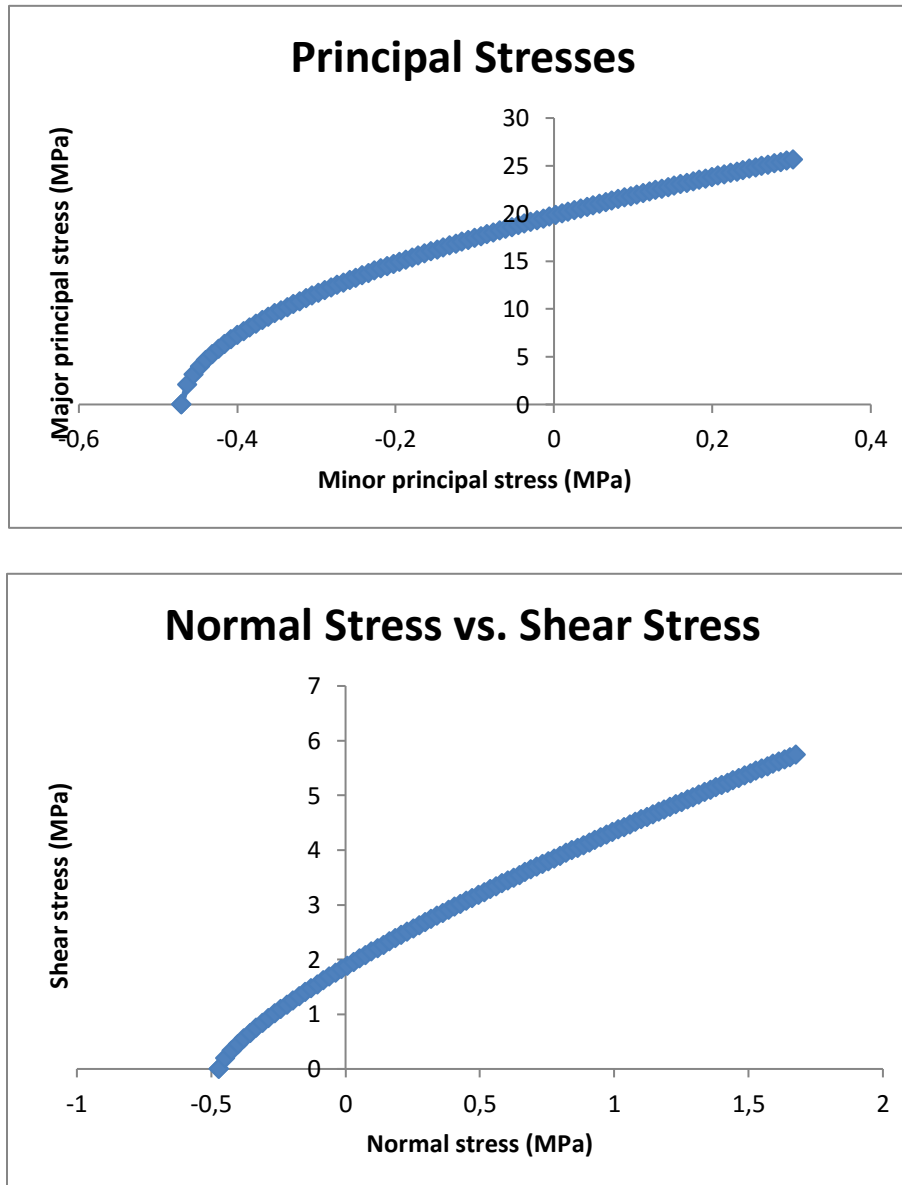


Figura 24. Gráficos arrojados por el software RocLab.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Basado en los datos obtenidos anteriormente se realizaron los controles de campo con el fin de consolidar la cartografía geológica, haciendo del formato 4. Caracterización de macizos rocosos para cartografía de mapas de Geología para ingeniería (tomado del SGC, 2004) establecido en el "PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE

CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el anexo 5 En dicho formato se evaluaron los siguientes aspectos:

- **Información General:** latitud, longitud, altitud y tipo de roca.
- **Clase de afloramiento:** Natural, corte superficial, excavación subterránea, trinchera o apique.
- **Secuencia estratigráfica:** Horizonte (I, II y III)
- **Características del material rocoso:** Horizonte capa, tamaño de grano, fabrica, rasgos de esfuerzos, martillo de Schmidt (valor y orientación), dureza, composición
- **Macizo rocoso:** Dirección/Buzamiento, familias
- **Condiciones de superficie:** Rugosidad, meteorización, relleno
- **Otras características:** Estructura, GSI, humedad y tamaño de bloques.

2.6 Mapa de geología para ingeniería (UGS cuantitativo).

El término Formación Superficial se define de acuerdo con Hermelín (1.986) como cualquier extensión de terreno cartografiables con características físico-mecánicas y geomorfológicas propias, las que normalmente sólo se conservan hasta unos pocos metros de profundidad a partir de la superficie; y sobre este tipo de materiales se desarrolla la mayor parte de las actividades humanas. Este término involucra diversos tipos de materiales que pueden ser suelos (residuales, transportados entre otros), como rocas donde no se presenta evolución del perfil de suelo.

Basado en las actividades adelantadas anteriormente, se consolido el mapa de geología para Ingeniería (UGS) definitivo, el cual incluye los polígonos que representan rocas y suelos (depósitos) de superficie teniendo como base las tablas y clasificaciones planteadas en el Protocolo de Gestión del Riesgo. La clasificación y nomenclatura de materiales superficiales UGS utilizada corresponde a lo establecido por el SGC (Ver en Tabla 19 del Protocolo de Gestión del Riesgo).

Como se mencionó anteriormente, con respecto a la fase de campo que se realizó sobre la cuenca del Río Risaralda, se encontraron diversas unidades superficiales, tales como transportados (st), translocados (str) y residuales (sr), adicional del material rocoso que no presenta ningún tipo de suelo.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión, de ángulo de fricción y valores de resistencia a la compresión no confinada se trabajaron según los parámetros del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de manejo y ordenamiento de cuencas hidrográficas (MADS, 2014) y pueden verificarse en el anexo 3

En el anexo 10 se muestran los perfiles estratigráficos generados para cada muestreo como para cada unidad geológica superficial

Es preciso destacar que las caracterizaciones geomecánicas de cada una de las UGS evaluadas fueron relacionadas en el numeral de análisis de resultados de laboratorio.

2.6.1. Transportadas (st)

Tienen diversos tipos de origen según el medio de transporte al que es sometido el material en los variados ambientes:

2.6.1.1. Fluvial (stf)

Comprende los materiales que fueron transportados por las corrientes superficiales, las cuales generaron diversos tipos de depósitos según la dinámica de la corriente y las condiciones del área de depositación; se subdividen en:

2.6.1.1.1. Llanura de inundación (stf2):

Corresponde con suelos de textura fina tamaño arena fina a lodo, especialmente en las áreas adyacentes a los cauces de los ríos Risaralda y Mapa, con espesores variables y continuidad lateral irregular. Esta unidad superficial se caracteriza por presentar colores pardos, las texturas observadas van desde arcillo limosas a limo arenosas, la consistencia es principalmente blanda; en cuanto a densidad relativa corresponde a un material denso y el rango de espesor principal oscila entre 0,5 m a 1 m cubriendo un área de 9155.08 Ha distribuidos de manera irregular a lo largo de la zona de estudio.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 90.42 %. La densidad húmeda registra promedios de 1.54 gr/cc³; Índice de plasticidad de 7.68% y la humedad natural presenta valor de 71.92 %.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.21 Kg/cm² y de ángulo de fricción de 28.5° y valores de resistencia a la compresión no confinada 0.83 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.1.1.2. Terrazas aluviales (stf3):

A diferencia de las llanuras de inundación, estos materiales presentan acumulación de material más grueso tipo guijos a guijarros (4 – 256 mm) embebidos en una matriz arenosa media a gruesa. Esta unidad superficial se caracteriza por presentar un color principalmente pardo amarillento, textura limo arenosa, consistencia blanda, presenta materiales densos y en menor proporción materiales sueltos y el espesor varía desde 1,01 m a 2 m y cubriendo una extensión de 9163 Ha del total de la zona de trabajo distribuidos en diversos sectores.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 88.69 %. La densidad húmeda registra promedios de 1.61 gr/cc³; Índice de plasticidad de 8.6% y la humedad natural presenta valor de 55.36 %.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.4 Kg/cm² y de ángulo de fricción de 31.71° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.23 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.1.1.3. Depósitos de abanicos (stf4):

Definido como formación zarzal, con presencia de diatomeas, lo que indica condiciones de acumulación de agua por un tiempo largo, mostrando una relación interdigitada entre material clástico de la formación zarzal con estratificación paralela e inclinada de baja ángulo, originados a partir de abanicos aluviales y con lapsos temporales de acumulación de organismos de algas unicelulares

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); La densidad húmeda registra promedios de 1.63 gr/cc³; Índice de plasticidad de 13.04% y la humedad natural presenta valor de 41.22 %.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.76 Kg/cm² y de ángulo de fricción de 23° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.26 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.1.2. Volcánico (stv):

Generado por eventos efusivos volcánicos y comprende los siguientes tipos de UGS:

2.6.1.2.1. Depósitos de ceniza (stv1):

Cubren una proporción pequeña en el área de estudio, principalmente hacia el sector de Belalcázar (Caldas). Estos depósitos suprayacen los materiales rocosos del

basamento como también los diversos niveles de alteración de las rocas preexistentes. Presentan una tonalidad pardo amarillento con alto nivel de humedad, lo que hace que presente una textura muy arcillosa y una clara diferenciación de capas o niveles que demuestran los variados eventos volcánicos ocurridos en periodos anteriores. Se caracteriza por su consistencia blanda, densa y el espesor vario en el rango de 1 m a 2 m y cubriendo una extensión total de 6179.26 Ha.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a lodos de alta compresibilidad, (MH); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 87.6 % La densidad húmeda registra promedios de 1.34 gr/cc³; Índice de plasticidad de 25.77% y la humedad natural presenta valor de 75.28 %.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.32 Kg/cm² y de ángulo de fricción de 29.63° y valores de resistencia a la compresión no confinada 0.99 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.2. Translocados (str):

Son producidos por depósitos de vertiente en zonas donde la pendiente puede exceder el 12%; son generados medios gravitacionales y acumulados en la parte baja de los sistemas del terreno montañosos.

2.6.2.1. Coluviones (strc1):

Localizados en gran parte de la cuenca, diferenciándose por el tamaño y extensión del mismo, y según sean cartografiables según lo exige el protocolo. Caracterizados por tener fragmentos de material rocoso angulares, embebidos en una matriz areno-limosa a areno-arcillosa. Presentan un color característico amarillo a pardo, textura principalmente limo arenosa, la consistencia de la matriz oscila entre firme y blanda, en términos de densidad relativa corresponde a materiales densos y el rango de espesor es muy variable encontrándose rangos entre 1,01 m a 4 m, así como también rangos entre 4,01 m a 10 m cubriendo una extensión de 791.03 ha del total de la zona de estudio evaluada.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 89.97 % La densidad húmeda registra promedios de 1.66 gr/cc³; Índice de plasticidad de 5.08% y la humedad natural presenta valor de 35.04%.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.48 kg/cm² ángulo de fricción de 35.5° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.37 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.3. Residual (sr).

Este suelo se ha formado por la meteorización de las rocas parentales existentes en el sitio, generando diversos perfiles de meteorización según los factores formadores del suelo. Para la cuenca en estudio, se tienen diversos tipos de suelos según el tipo de roca presente así:

2.6.3.1. Suelo residual sedimentario (Srs):

Esta unidad aflora en casi todo el territorio occidental de la cuenca del río Risaralda, se reconoce macroscópicamente por sus facies finas de lodolitas silíceas de la formación Penderisco y como alteración del grupo Cañas Gordas. Presenta un color pardo amarillento a grisáceo donde existen afloramientos con alta actividad de cizallamiento, texturas entre limosa a arcillo limosa, consistencia blanda, denso y con espesores entre 2.01 m a 42 m y con una extensión de 19303.1 Ha.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 93.6 % La densidad húmeda registra promedios de 1.65 gr/cc³; Índice de plasticidad de 10.05% y la humedad natural presenta valor de 66.25%.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.56 kg/cm² ángulo de fricción de 31.25° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.19 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.3.2. Suelo residual de roca volcánica Formación Barroso (sriv):

Localizada sobre gran parte de la cuenca, La roca parental corresponde a roca ígnea volcánica, con textura afanítica, melanocrática 80%, clasificada según streckeisen 2004 como un basalto, donde no se reconoce ningún tipo de cristal en la roca. El suelo residual generado presenta fundamentalmente un color rojizo, la textura principal es arcillo limosa, de consistencia blanda, se considera un material superficial denso y la mayoría de espesores evaluados se ubican en el rango de 0,5 m a 1 m; cubriendo diversas áreas para un total de 29950.95 Ha.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 95.09% La densidad húmeda registra promedios de 1.63 gr/cc³; Índice de plasticidad de 10.65% y la humedad natural presenta valor de 49.75%.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.4 kg/cm² ángulo de fricción de 28.28 (Véase anexo 4)

2.6.3.3. Suelo residual de roca volcánica Formación Combia (sriv2):

Presentan un color pardo amarillento, clastos de subredondeados a angulares, de tamaño de granulo a bloques y mal calibrados, la composición de los clastos es principalmente de rocas andesíticas, diabasas, basaltos, la matriz es areno-arcillosa y presenta cristales de anfíboles, cuarzós, cubriendo un área de 11115.31 Ha en la zona de estudio hacia la cuenca alta.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 88.38 % La densidad húmeda registra promedios de 1.51 gr/cc3; Índice de plasticidad de 10.6% y la humedad natural presenta valor de 45.56 %.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de ángulo de fricción de 30° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.37 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.3.4. Suelo residual de roca ígnea intrusiva Gabro de anserma (srii):

La roca parental corresponde con una roca ígnea intrusiva, con textura holocristalina fanerítica equigranular, gruesa, mesocrática 60%. Esta unidad superficial presenta colores entre grisáceos a pardo rojizos, textura principalmente areno limosa, consistencia blanda, denso y presenta variaciones en el espesor entre 1,01 m a 2 m, con extensión total de 2024.21 Ha para las diversas áreas de afloramientos analizados.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a limos de alta compresibilidad, (MH); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 92.67% La densidad húmeda registra promedios de 1.54 gr/cc3; Índice de plasticidad de 17.62% y la humedad natural presenta valor de 65.13%.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.42 kg/cm² ángulo de fricción de 29.5° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.18 Kg/cm² (Véase anexo 4).

2.6.3.5. Suelo residual de roca ígnea intrusiva gabro uralítico de Belén de Umbría (srii):

Localizado sobre la vía Belén-Mistrató. Los suelos residuales generados se caracterizan por presentar color blancuzco a blancuzco café, textura limo arenosa, consistencia blanda, denso y con espesores variables entre 1 m a 2 m y entre 3 m a 4 m. Ocupan un área de 2404.74 Ha del total de la zona evaluada.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja

compresibilidad, (OL); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 94.06% La densidad húmeda registra promedios de 1.69 gr/cc³; Índice de plasticidad de 15.25% y la humedad natural presenta valor de 48.48%.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.53 kg/cm² ángulo de fricción de 32.0° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.42 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.3.6. Suelo residual de roca ígnea intrusiva ultamafita de Puente Umbría (srii):

Localizado sobre la vía Belén-Mistrató, específicamente hacia el sector de Puente Umbría. Los suelos residuales generados se caracterizan por presentar color blancuzco, textura fundamentalmente limo arcillosa, consistencia blanda, denso y con espesor entre 3 m a 4 m, ocupando un área total de 205.05 Ha del total de la zona evaluada.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); La densidad húmeda registra promedios de 1.6 gr/cc³; Índice de plasticidad de 4.32% y la humedad natural presenta valor de 32.72%.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.98 kg/cm² ángulo de fricción de 30.0° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.108 Kg/cm² (Véase anexo 4)

2.6.3.7. Suelo residual de roca ígnea intrusiva del Plutón de Mistrató (srii):

Localizado hacia el sector nor-occidental de la cuenca sobre el municipio de Mistrató (Risaralda), Los suelos residuales generados se caracterizan por presentar color pardo, textura fundamentalmente limo arcillosa, por el alto de grado de meteorización presente, consistencia blanda, material denso y con espesores entre 3 m a 4 m, cubriendo un área de 12247.21 Ha del total de la zona evaluada.

La clasificación SUCS, de este material corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL); con un porcentaje para tamiz pasa # 200 de 94.11% La densidad húmeda registra promedios de 1.7gr/cc³; Índice de plasticidad de 10.37% y la humedad natural presenta valor de 37.87%.

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión de 0.41 kg/cm² ángulo de fricción de 32.44° y valores de resistencia a la compresión no confinada 1.27 Kg/cm² (Véase anexo 4).

2.7. Análisis comparativo de UGS con base a los resultados de laboratorio

Humedad Natural: con base a la humedad natural se puede decir de manera general que la UGS que presenta el mayor porcentaje corresponde a Depósitos de ceniza (Stv1) con un 75,28%, en segundo lugar se observa que los Depósitos de llanura (Stf2) también presenta un alto porcentaje el cual corresponde a 71,92%; las demás UGS presentan valores que oscilan entre el 40% al 66%, exceptuando las muestras de suelo residual del Plutón de Mistrató (Srii) con un 37,87%, los coluviones (Strc1) con un 35,04% y en último lugar las muestras del suelo residual de la Ultramafta de Puente Umbría con un 32,72% de humedad natural

Límites de Atterberg: Con base a los límites de Atterberg se puede denotar que la UGS que presenta el Límite líquido más alto corresponde a los Depósitos de ceniza (Stv1) con un porcentaje del 66,51%, seguido por el suelo residual del Gabro de Anserma con un 62,22%, el resto de unidades presentan valores en un rango que oscila entre el 35% y el 45%, exceptuando a los coluviones que presentan en general un límite líquido del 32,76%.

Para el caso del Límite Plástico se puede observar que los depósitos de ceniza (Stv1) presentan el porcentaje más alto con un 45,82%, seguido por las muestras de suelo residual del Gabro de Anserma (Srii) con un porcentaje del 43,6%; el resto de UGS presenta valores cercanos al 30% y las muestras de los materiales superficiales que presentan los límites plásticos más bajos corresponden a suelo residual del Plutón de Mistrató (Srii) con un 27,1% y los coluviones (Strc1) con un 27,08%.

Índice de Plasticidad: Los valores de las UGS con respecto a este parámetro son muy homogéneos con un rango de valores cercanos al 10% y el 15%, exceptuando los Depósitos de ceniza (Stv1) que presentan un 25,77% y el de menor índice de plasticidad que corresponde al suelo residual de la Ultramafta de Puente Umbría con un porcentaje del 4,32%.

Porcentaje pasa tamiz #200: Con respecto a este parámetro se puede denotar que todas las UGS presentan valores altos y homogéneos, los materiales superficiales que presenta el porcentaje más alto corresponde al suelo residual ígneo volcánico de la Formación Barroso (Sriv) con un 95,09% y el de menor valor corresponde a los Depósitos de ceniza (Stv1) con un 87,6%.

Clasificación SUCS: En términos generales la clasificación predominante de las UGS corresponde a orgánico de baja plasticidad (OL), exceptuando los Depósitos de ceniza (Stv1) y las muestras de suelo residual ígneo intrusivo del Gabro de Anserma (Srii) debido a que ambos presentan una clasificación correspondiente a limos de alta plasticidad (MH).

Densidad Seca: Este parámetro es muy homogéneo para todas las UGS, la de mayor valor corresponde a los coluviones (Strc1) con una densidad promedio de 1,32 g/cm³,

casi todas demás UGS presentan valores de densidad superiores a $1,0 \text{ g/cm}^3$; excepto las muestras de suelo residual del Gabro de Anserma (Srii) con un $0,98 \text{ g/cm}^3$ y los Depósitos de ceniza con un promedio de densidad seca de $0,85 \text{ g/cm}^3$.

Densidad Húmeda: Las densidades obtenidas para las UGS son muy homogéneas, tanto así que la que presenta la mayor densidad son las muestras de suelo residual del Plutón de Mistrató (Srii) con una densidad promedio de $1,7 \text{ g/cm}^3$ y la de menor densidad corresponde a los Depósitos de ceniza (Stv1) con un $1,34 \text{ g/cm}^3$.

Ángulo de Fricción (Grados): En términos del ángulo de fricción se puede deducir que la UGS que presenta el mayor valor corresponde a los coluviones Strc1) con $35,5^\circ$, las demás UGS presentan valores que oscilan entre 28° y 32° ; excepto la Formación Zarzal que presenta un valor promedio de 23° .

Cohesión: Este parámetro evaluado en el ensayo de corte directo indica que la UGS que presenta la mayor cohesión corresponde a la Ultramafita de Puente Umbría (Srii) con un $0,98 \text{ Kg/cm}^2$ y la que presenta el menor valor corresponde a los depósitos de llanura (Stf2) con un $0,21 \text{ Kg/cm}^2$.

Resistencia a la compresión confinada (qu): Con respecto a este parámetro se puede deducir que la UGS con el mayor valor corresponde a suelo residual del Gabro Uralítico de Belén de Umbría (Srii) el cual presenta un valor de $1,49 \text{ Kg/cm}^2$, para el resto de materiales superficiales se observa valores superiores a 1 Kg/cm^2 , excepto para los depósitos de ceniza (Stv1) los cuales presentan en promedio $0,99 \text{ Kg/cm}^2$ y los de menor valor corresponden a los depósitos de llanuras (Stf2) con $0,83 \text{ Kg/cm}^2$.

2.8. Rocas.

En el área de estudio se presentan zonas donde no se aprecia una evolución del perfil del suelo y por consiguiente se determina como formación superficial las rocas existentes como se detalla a continuación con su respectiva área en la zona de trabajo y cuya descripción fue descrita anteriormente:

- Formación Penderisco: 9784.60 Ha
- Grupo Cañasgordas: 65.14 Ha
- Pórfidos andesíticos: 168.72 Ha.
- Formación Barroso: 12450.82 Ha

En la Tabla 13 se presenta el porcentaje de unidades geológicas superficiales en la cuenca del Río Risaralda tanto de suelos como de rocas.

Tabla 13 Formaciones Superficiales UGS en la cuenca

TIPO	UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	SIMBOLOGÍA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
ROCA	Fm Penderisco	Fm Penderisco	6,369,291,811	1,14%
	Fm barroso	Fm barroso	124,515,744	2,27%
	Grupo cañasgordas	Grupo cañasgordas	6,513,654,812	2,27%
	Pórfido andesítico	Pórfido andesítico	1,687,201,039	1,14%
SUELO	residual ígneo intrusivo	srii (gabro de Anserma)	2,025,283,413	3,41%
	residual ígneo intrusivo	srii (gabro uralítico de Belén de Umbría)	7,557,464,472	1,14%
	residual ígneo intrusivo	srii (Plutón de Mistrató)	1,223,420,937	1,14%
	residual ígneo intrusivo	srii (ultramafita de puente umbría la isla)	205,045,314	1,14%
	residual ígneo volcánico (Fm. Barroso)	sriv	2,909,595,655	12,50%
	residual ígneo volcánico (Fm. Combia)	sriv2	1,111,594,207	5,68%
	residual sedimentario (Fm. Penderisco)	srs (Fm. Penderisco)	1,745,299,757	13,64%
	residual sedimentario (grupo cañas gordas)	srs (grupo cañas gordas)	122,402,759	9,09%
	Depósitos de llanura	stf2	1,098,915,417	7,95%
	Depósitos de terrazas aluviales (sedimentos de Viterbo, Fm. La paila)	stf3	8,980,453,724	15,91%
	abanico fluvial (Fm. Zarzal)	stf4	601,191,419	5,68%
	Translocados Coluvial	strc1	7,631,080,542	5,68%
	transportado de ceniza volcánica	stv1	1,110,224,655	10,23%
TOTAL, GENERAL			1,256,000,851	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la siguiente figura se ilustra el diagrama pastel con los porcentajes de UGS en la cuenca.

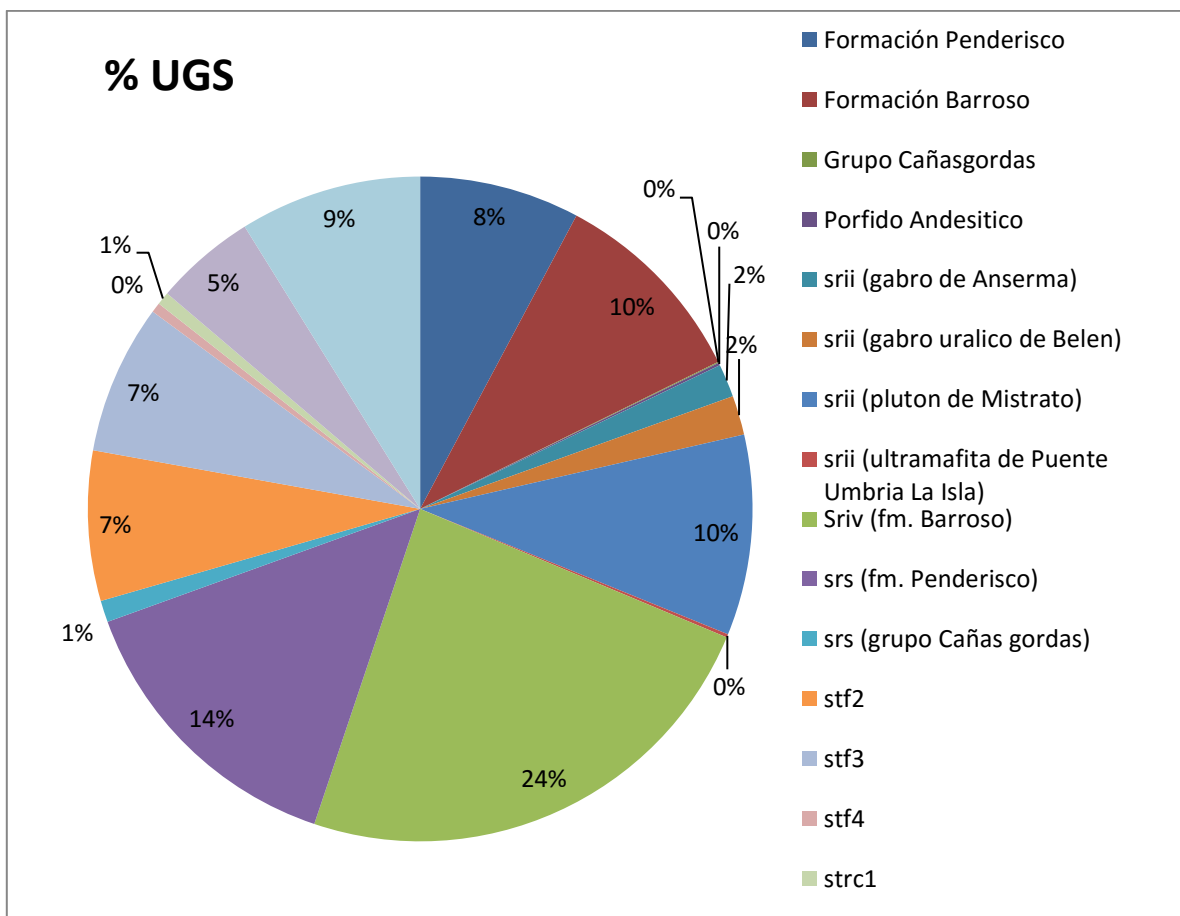


Figura 25 Porcentaje de las UGS en la cuenca
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la siguiente figura se detalla el flujograma de la metodología empleada para el desarrollo de las actividades unidades geológicas superficiales.



Figura 26 Esquema de las actividades desarrolladas para Unidades superficiales UGS

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Las muestras tomadas en campo fueron georreferenciadas mediante GPS, empacadas en papel aluminio y bolsas plásticas, posteriormente fueron rotuladas con las respectivas coordenadas, código de la muestra, tipo de unidad geológica superficial, espesor de la capa y profundidad a la cual fue tomada, finalmente fueron almacenadas en caja de cartón rellena de aserrín y se implementó el protocolo de transporte para su posterior entrega al laboratorio para efectuar los ensayos

geotécnicos correspondientes. Ver en el anexo 3 el protocolo de transporte como se muestra en la siguiente figura.



Figura 27. Transporte de muestras
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

2.9. Conclusiones y dominio.

Las Unidades Geológicas Superficiales UGS identificadas en la zona presentan como mayor porcentaje el suelo residual ígneo volcánico de la Formación Barroso con el 23,84 % (29950,95 Ha) sobre los municipios del departamento de Caldas, tales como Belalcázar, San José, Risaralda, seguido de suelo residual sedimentario con 14,32% (17983,44 Ha) hacia los municipios de Santuario y Apía y en tercer lugar por suelo residual ígneo intrusivo del Plutón de Mistrató con 9,75 % (12247,21 Ha), que como su nombre lo indica se encuentra sobre este municipio; lo que establece el favorecimiento de actividades antrópicas por cambio de usos del suelo a cultivos, favorecido por el aporte de minerales al suelo por parte de dichas unidades y también por su facilidad de intervención antrópica para modificación topográfica, lo que

generaría cambios notables en las condiciones actuales del sitio y por consiguiente podría presentarse adicionales factores contribuyentes a la generación de áreas inestables en el territorio. Las anteriores consideraciones permiten establecer la heterogeneidad de las características geomecánicas de los materiales existentes, denotando el carácter fino del material con índices de plasticidad muy cambiantes para cada una de las determinadas zonas.

Las Unidades geológicas superficiales en general presentan según la clasificación SUCS corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL), con un porcentaje para tamiz pasa # 200 desde 88,69 (terrazas) hasta 90,49 % (llanuras) lo que denota la fracción fina del material. La densidad húmeda presenta valores entre 1,61 gr/cc³ (terrazas) hasta 1.54 gr/cc³ (llanuras); La humedad natural presenta valores desde 45,56 % (suelo residual ígneo volcánico del Fm. Barroso) hasta 35,04 % (Coluviones). Los índices de plasticidad varían entre 4,22 % (suelo residual ígneo intrusivo del gabro Uralítico de Belén de Umbría) hasta 25,77 % (Depósitos de ceniza). Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión desde 0.21 kg/cm² (llanuras) hasta 0.98 kg/cm² (suelo residual ígneo intrusivo del gabro Uralítico de Belén de Umbría) y de ángulo de fricción varía desde 23° (abanicos aluviales) hasta 32,44° (suelo residual ígneo intrusivo del Plutón de Mistrató).

Los espesores de las Unidades Geológicas superficiales UGS varían desde 0,5 m hasta 2m y esto obedece principalmente el tipo de exploración realizada (trincheras), siendo necesaria la exploración sistemática y mediante sondeos mecanizados con el fin de establecer los reales espesores y la distribución de los materiales existentes en la cuenca.

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. Introducción.

La geomorfología se encarga de la identificación, descripción y análisis de la génesis, clasificación y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno y su relación con las estructuras infrayacentes, así mismo se encarga de la interpretación de los procesos endógenos y exógenos que controlan y moldean el terreno, generando geoformas, las cuales son el resultado de los materiales constituyentes, las disposiciones estructurales y los procesos que interactúan según el ambiente morfogenéticos y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos.

La geomorfología en los POMCA pretende proporcionar información sistemática y jerarquizada de las geoformas del relieve con base en los ambientes morfogenéticos, los sistemas del terreno y las unidades del terreno; así mismo definir y caracterizar los procesos morfodinámicos que intervienen en la cuenca.

Para lograr el correcto levantamiento geomorfológico se consideran las metodologías de trabajo (IGAG – Metodología Zinck, 2012) y la evaluación de las amenazas naturales (SGC – Metodología Carvajal, 2011); en la primera el objetivo corresponde a generar la salida cartográfica de formas del terreno caracterizados por su geometría, historia y dinámica y la segunda está orientada a llevar la jerarquización hasta el nivel de detalle de subunidades que responde a las necesidades de la zonificación de la Gestión del Riesgo.

3.2. Metodología.

El desarrollo metodológico consistió en una primera instancia en definir los ambientes morfogenéticos considerado como el primer nivel de jerarquía, debido a que agrupa las geoformas mayores del relieve. Este paso se llevó a cabo mediante la evaluación de la información disponible, el mapa geológico a escala 1:100.000 y el MDT de la cuenca.

Posteriormente se realizó el análisis de sensores remotos mediante el uso de imágenes de Google Earth (2015) las cuales nos presentan un nivel de detalle apropiado para la identificación de grandes porciones del terreno caracterizados por sus rasgos fisiográficos con relieves o modelados similares; es importante aclarar que dado el óptimo nivel de detalle aportado por el uso de imágenes Google Earth no se requirió el uso de imágenes adicionales para la cuenca.

El siguiente paso consistió en la definición de los sistemas del terreno la cual es considerada como el segundo nivel de jerarquía y agrupa las unidades del paisaje definidas por un macro-relieve y una génesis geológica similar.

Consecuente con este estudio se procedió a realizar una segunda fotointerpretación con el objetivo de definir y delimitar procesos morfodinámicos y geoformas con rasgos específicos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle).

Finalmente se determinaron las unidades de Terreno (Geomorfológicas) las cuales corresponden a las geoformas particulares del terreno y asociadas con las formas del relieve (definidos anteriormente), en donde se incluyen criterios genéticos, morfológicos y geométricos del relieve, luego del análisis de sensores remotos definido anteriormente, se determinaron los mapas de geomorfología con criterios geomorfogenéticos como también geomorfología con criterios edafológicos. Como se muestra en la metodología de la figura 28

Luego del análisis de fotointerpretación realizada se procedió a la clasificación de las geoformas según la propuesta establecida por Zinck 2012, como lo establece el protocolo de gestión de Riesgo insumo base para la elaboración del presente informe.

Con los datos obtenidos en las fases anteriores se procedió a efectuar el control de campo para los procesos morfodinámicos y las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

Para la definición de los puntos de control se tuvo en cuenta la categoría No 5 de la cuenca del río Risaralda determinada en el Protocolo y la cual determina que se realicen 5-6 controles de campo por cada plancha 1:25.000.

Finalmente, con los insumos anteriores se construyó el mapa final de Geomorfología a nivel de Subunidades según la clasificación propuesta por Carvajal (2011).

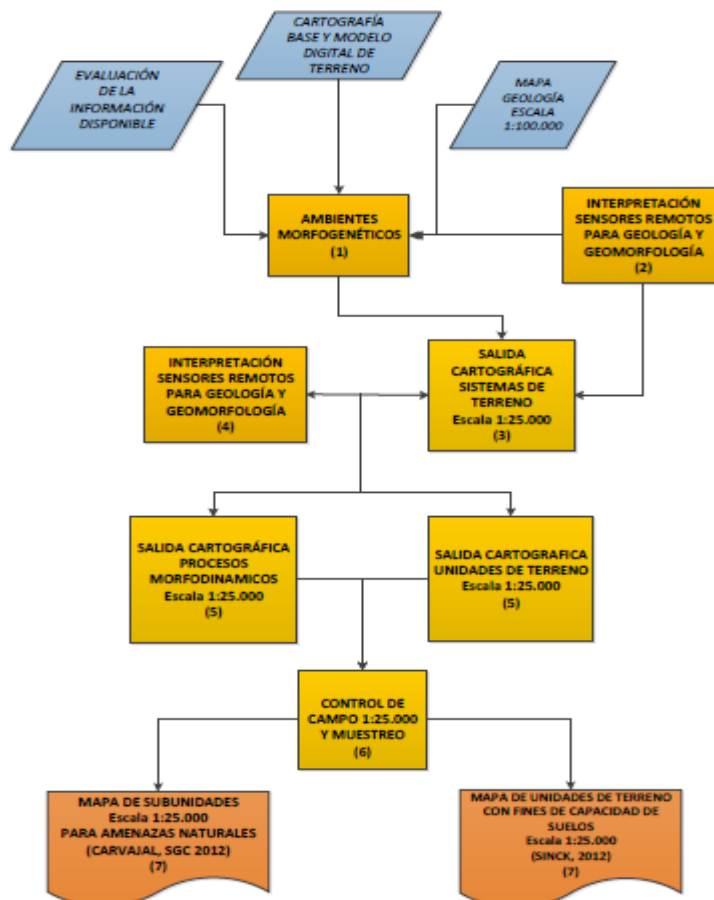


Figura 28. Diagrama del proceso para la obtención del producto de Geomorfología requerido para los POMCA

Fuente: Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA, 2014

3.3. Interpretación de Sensores Remotos.

El análisis de sensores remotos se realizó mediante la evaluación de imágenes de satélite (Google Earth) para el área de estudio, las cuales aportaron la cobertura total del área con menos detalles en sectores puntuales hacia el sector Oeste (sector de la Cuenca alta del río Risaralda), sin embargo, esto no impidió efectuar un correcto análisis en el proceso de la fotointerpretación geomorfológica, detallando el tipo de geoformas presentes, procesos morfodinámicos, morfometría, entre otros. Es preciso aclarar que según el detalle aportado por las observaciones efectuadas a las imágenes utilizadas (Google Earth) de manera general para el área, no fue necesaria la utilización de otro tipo de fotos o imágenes adicionales para el estudio.

Adicionalmente en esta etapa y mediante la utilización del Sistema de Información Geográfica (SIG.), se identificaron los sitios de interés prioritarios para iniciar el control geomorfológico de campo o puntos de Control para geomorfología.

En el Anexo 1, y específicamente en la salida cartográfica, DBF-20 se muestran las zonas de interés prioritario para control geomorfológico obtenidas por medio del proceso de fotointerpretación geomorfológica a nivel de relieve y la identificación de los procesos morfodinámicos en la cuenca, como resultado de este análisis se evaluaron cinco zonas, las cuales fueron ajustadas con base a la identificación inicial de grandes porciones del terreno o geoformas particulares que por medio de sus características intrínsecas como los materiales que la constituyen, sus disposiciones estructurales, topográficas, morfométricos entre otras, se pudo efectuar una correcta delimitación y ajuste de estas áreas conformando de esta manera las zonas de interés prioritario para iniciar el control de campo geomorfológico.

Con base a este análisis inicial de fotointerpretación de sensores remotos se logró obtener una mejor claridad de ambientes morfogenéticos presentes en la cuenca y los relieves o modelados similares predominantes; es importante precisar que entre las zonas evaluadas se destaca el municipio de Santuario, Apía, Mistrató, Belalcázar, Riosucio; debido a la presencia en esta zona de ambientes tanto denudaciones como erosionales y un relieve predominantemente montañoso debido a áreas donde aflora la Formación Barroso, Plutón de Mistrató y Formación Penderisco.

También se destaca el sector bajo de la cuenca y en general los tramos de los cauces de los ríos Mapa y Totuí, en donde se observan áreas de valle, dado por un ambiente típico de acumulación configurado por terrazas y llanuras aluviales, además del glacis de acumulación.

Otra zona de vital importancia es hacia el sector de la parte alta del municipio de Santuario, sector de San Juan, donde se observan ambientes de tipo Erosional y de laderas con alta pendiente, enmarcado por un sistema montañoso y por la presencia de rocas sedimentarias altamente deformadas y erosionadas hacia la parte más alta y occidental de la cuenca.

En la siguiente figura se evidencian los sitios de interés prioritarios para iniciar la etapa de verificación y controles de campo.

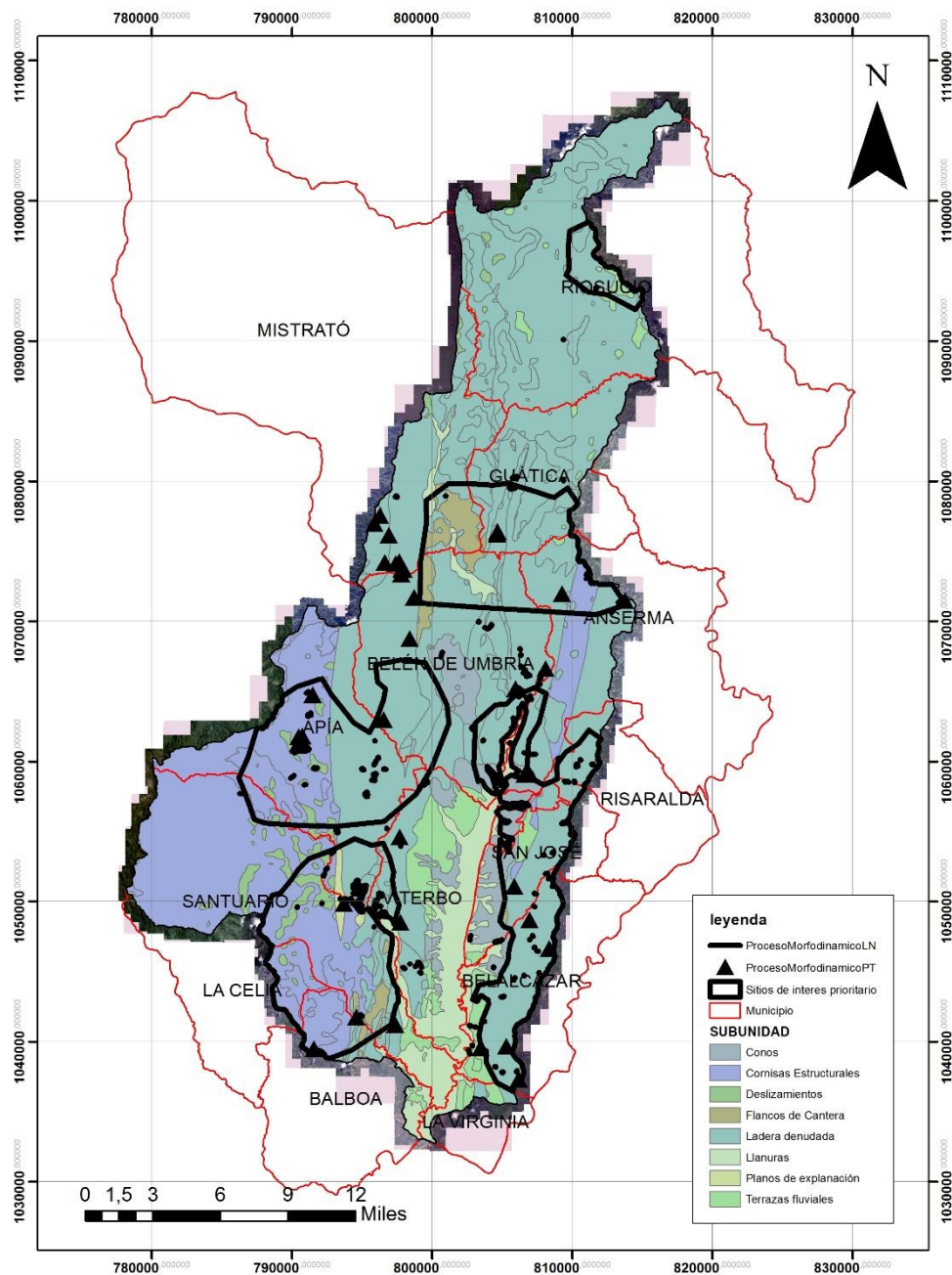


Figura 29. Identificación de sitios de interés prioritarios con base a la Fotointerpretación para geomorfología básica a nivel de Relieve
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.



Basados en la identificación de los sitios de interés prioritarios determinados a partir de fotointerpretación geomorfológica, se procedió a realizar los controles de campo para verificar, georreferenciar y caracterizar las geoformas y los procesos morfodinámicos por medio de los formatos de campo establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el Anexo 2.

En la siguiente figura se remite el análisis fotogeológico realizado basado en las fotografías aportadas por Google Earth y donde se detallan las unidades delimitadas en el proceso de fotointerpretación como también los puntos de controles de campo para las unidades evidenciadas.

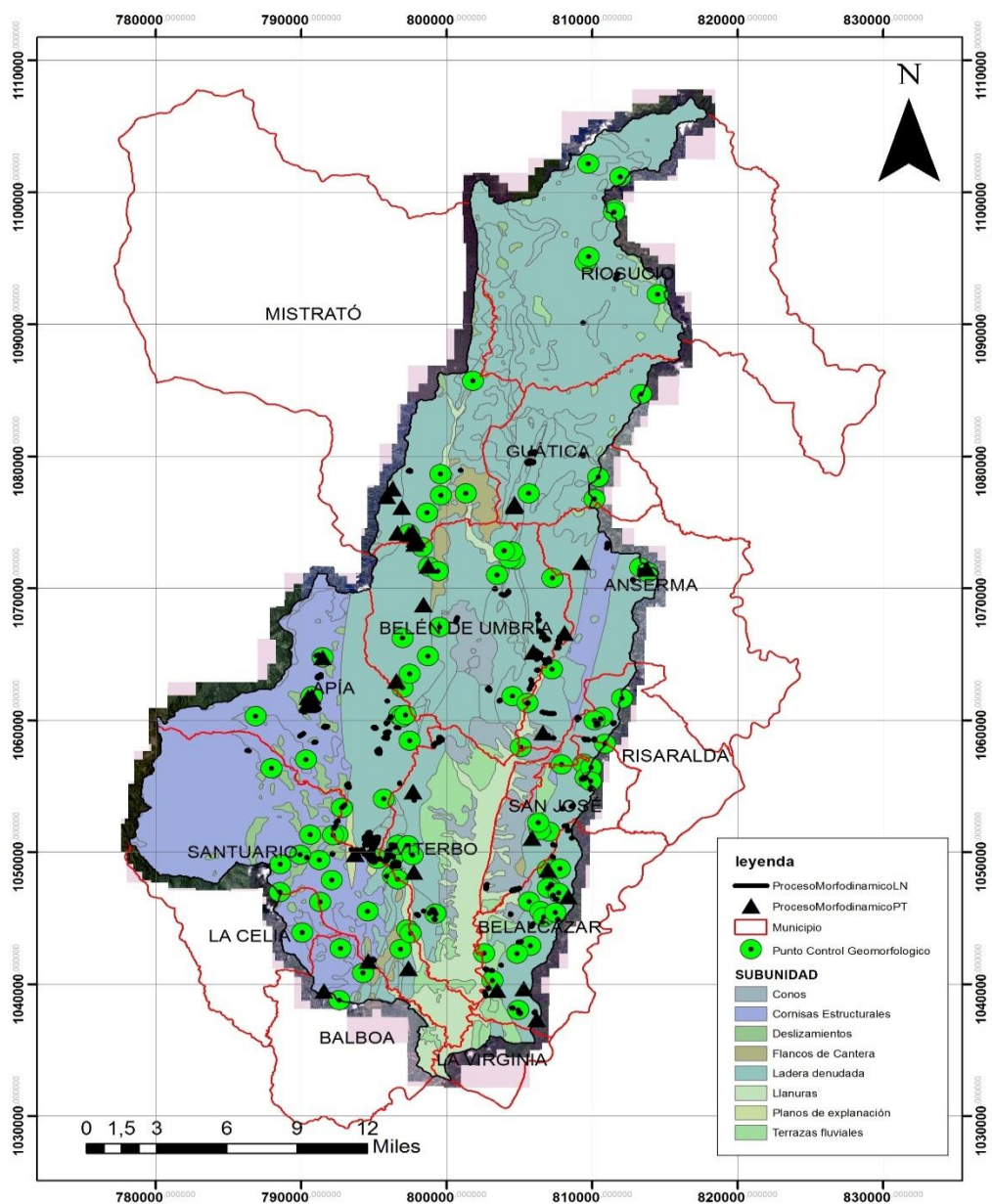


Figura 30. Análisis de fotografías aéreas detallando geoformas a nivel de relieve presentes. Obsérvese los puntos en color verde que representan los puntos de control geomorfológicos planteados.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

3.4. Análisis de pendientes

La definición de las pendientes de la Cuenca del Río Risaralda como insumo para entender muchos de los procesos dinámicos que se dan en la cuenca.

El Análisis de las pendientes, entendidas como la diferencia en grados o porcentaje de un terreno, es fundamental desde diferentes campos de análisis, (i) en lo relacionado al análisis de las geoformas y como elemento aportante a la morfometría hidráulica que es moldeadora del paisaje, dando una carácter restrictivo o por el contrario potencializando las condiciones del área de estudio; (ii) como insumo fundamental para los diferentes componentes del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca; (iii) por el papel determinante en el análisis de pendientes para la identificación de las unidades de Capacidad de uso de las tierras; y (iv) como factor aportante para la determinación de la susceptibilidad y amenazas a movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundaciones y de incendios de cobertura vegetal.

Inicialmente mediante la construcción del modelo de elevación digital (Ver informe técnico de la caracterización básica de la Cuenca) se inició el proceso para la definición de las pendientes correspondientes al área de estudio.

Posteriormente mediante el procesamiento de la información obtenida a partir del DTM (Resolución 12,5 m) se generaron los mapas de pendiente para la cuenca, los cuales fueron reclasificados según las clases definidas en la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas Anexo A Diagnóstico.

Tabla 14 Rangos de Pendientes en porcentaje

SÍMBOLO	GRADIENTE %	GRADIENTE EN GRADOS	DESCRIPCIÓN
a	0 - 3	0 – 1,72	Plano
b	3 - 7	1,72 – 4,00	Ligeramente inclinado
c	7 - 12	4,00 – 6,84	Moderadamente inclinado
d	12 - 25	6,84 – 14,04	Fuertemente inclinado
e	25 - 50	14,04 – 26,57	Ligeramente escarpado
f	50 - 75	26,57 – 36,87	Moderadamente escarpado
g	>75	> 36,87	Fuertemente escarpado

Fuente: Guía Técnica para la formulación de los POMCAS, 2013.

El análisis de las pendientes para la Cuenca del Río Risaralda dio como resultado que el 61,25 % de la zona de estudio presenta pendientes superiores al 25%, dándole un carácter de cuenca de montaña, y en consecuencia presenta limitantes para algunos de los usos; solo el 0,14% del territorio presenta pendientes inferiores al 3% potencializando usos en estas zonas y el 38,61% del territorio presenta pendientes entre 3% al 25% (Tabla 15 y Tabla 16).

Tabla 15. Rangos de Pendientes en porcentaje

RANGO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	ÁREA HA	% DEL ÁREA
0-3%	Plano	a	1460,191557	1,16%
3-7%	Ligeramente inclinado	b	5987,743724	4,77%
7-12%	Moderadamente inclinado	c	8532,550614	6,79%
12-25%	Fuertemente inclinado	d	26606,26611	21,18%
25-50%	Ligeramente escarpado	e	52077,88402	41,46%
50-75%	Moderadamente escarpado	f	23696,27545	18,87%
75-100%	Fuertemente escarpado	g	7239,158152	5,76%
TOTAL GENERAL			125600,07	100%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

Tabla 16. Rangos de Pendientes en grados

GRADIENTE EN GRADOS	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	ÁREA HA	% DEL ÁREA
0 – 1,72	Plano	a	1460,191557	1,16%
1,72 – 4,00	Ligeramente inclinado	b	5987,743724	4,77%
4,00 – 6,84	Moderadamente inclinado	c	8532,550614	6,79%
6,84 – 14,04	Fuertemente inclinado	d	26606,26611	21,18%
14,04 – 26,57	Ligeramente escarpado	e	52077,88402	41,46%
26,57 – 36,87	Moderadamente escarpado	f	23696,27545	18,87%
> 36,87	Fuertemente escarpado	g	7239,158152	5,76%
TOTAL			125600	100,0%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

El último paso metodológico consistió en la elaboración de la salida cartográfica con su respectiva leyenda. En la Figura 31 se presenta la salida cartográfica de las pendientes en porcentaje de la zona de estudio y en la Figura 32 se presenta la salida cartográfica de las pendientes en grados.

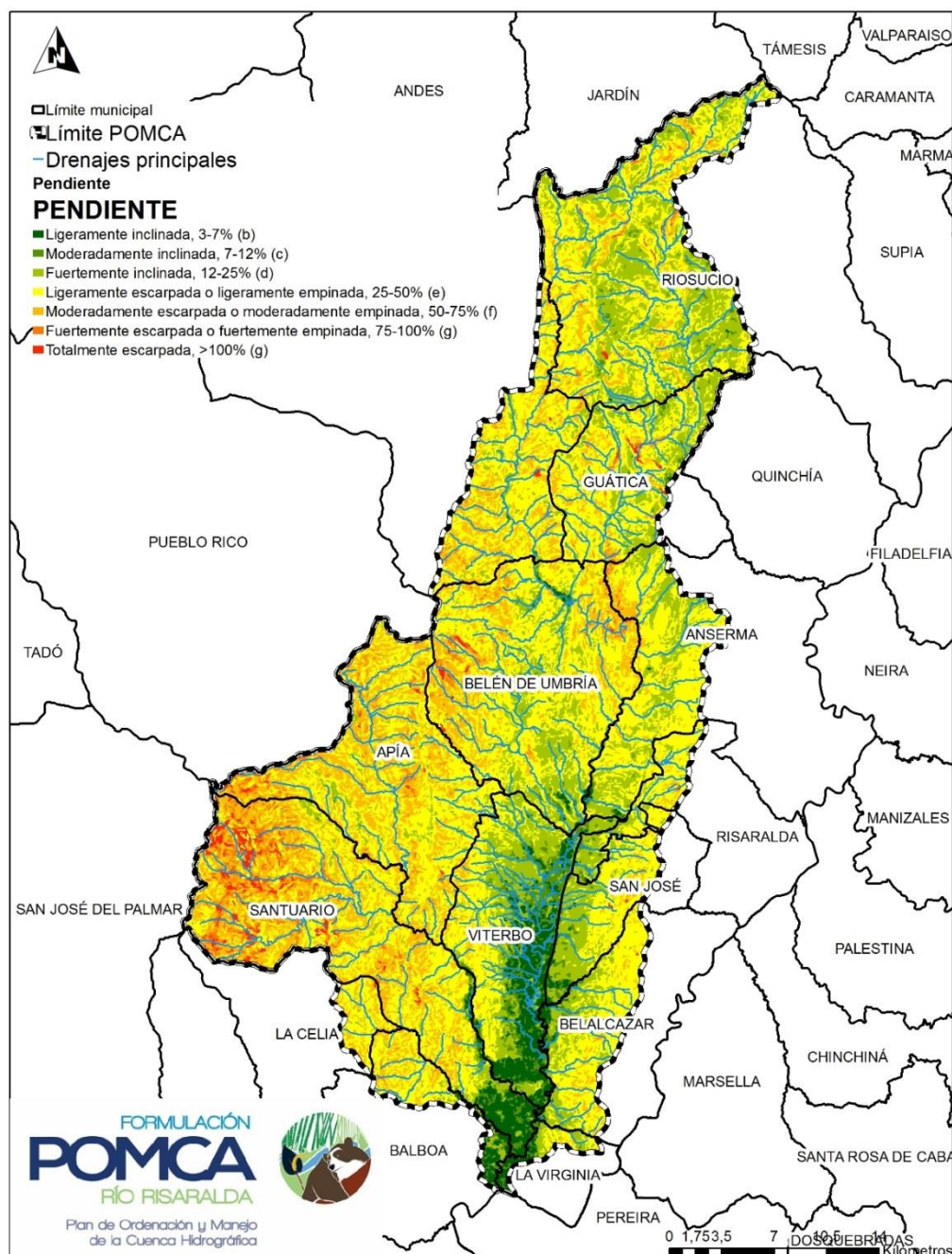


Figura 31 Pendientes en porcentaje Cuenca del Río Risaralda.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

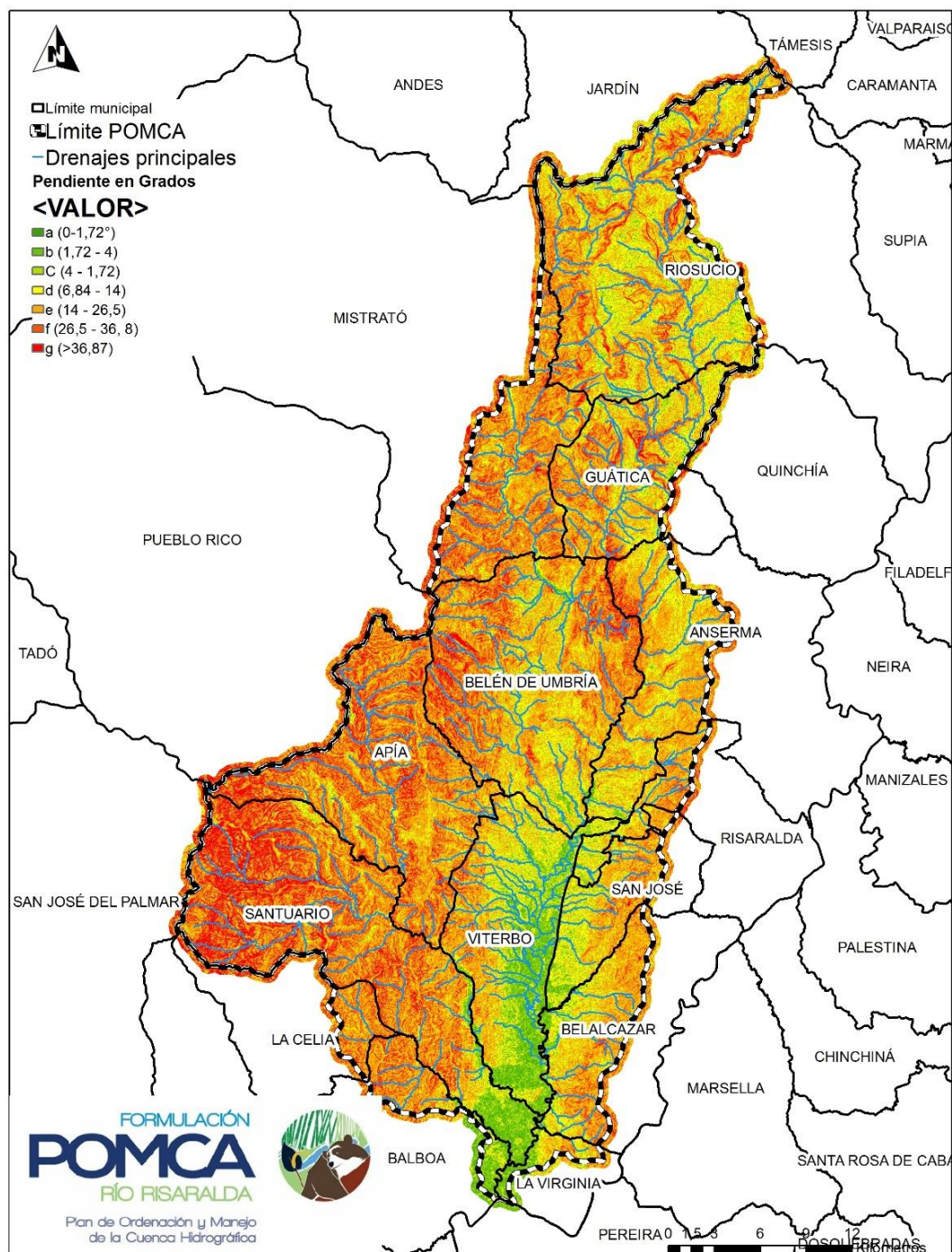


Figura 32 Pendientes en grados Cuenca del Río Risaralda

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

3.4.1. Conclusiones sobre Pendientes en la cuenca

La información de pendientes de la cuenca del Río Risaralda responde a la distribución de las formas del relieve en sus diferentes paisajes, siendo las zonas de montaña donde se evidencian la mayor cantidad o grado de inclinación del terreno, pendientes suaves en el valle y moderadas a fuertemente inclinadas en las laderas de los flancos de las cordilleras Occidental y Central.

Para la caracterización Biofísica, este subcomponente de pendientes, se consolidó como un factor determinante de la Cuenca del Río Risaralda a una escala 1:25.000 que en combinación con otros factores del territorio caracterizados en el Diagnóstico, son considerados puntos críticos y relevantes para la toma de decisiones; así mismo, esto contribuye a la construcción del análisis situacional de la cuenca, posibilitando la orientación del ejercicio de planificación de la cuenca, dando cimientos hacia un modelo de ocupación coherente a la oferta ambiental y las dinámicas sociales presentes en el territorio compartido entre los departamentos de Caldas y Risaralda.

3.5. Clasificación Geomorfológica según Zinck (2012)

Basado en el análisis fotogeológico efectuado y las evaluaciones de las geoformas efectuadas se procedió a la clasificación y definición de ambientes, paisajes, relieves y/o modelados basado en la clasificación propuesta por Zinck (2012).

3.5.1. Definición de Ambientes Morfogenéticos.

Mediante la cartografía evaluada, el mapa geológico (Esc 1:100.000) y el DTM (resolución 12,5 m) se determinan los siguientes ambientes morfogenéticos existentes en la zona de estudio según Zinck (2012) como se relaciona en la Tabla 17, adicionalmente en la tabla 17 se muestra el DTM con la localización de los principales rasgos geomorfológicos en la cuenca, y en la figura 33 después de haber hecho el procesamiento, se muestra los ambientes morfogenéticos definidos en la cuenca.

Tabla 17 Ambientes Morfoгенéticos del área.

AMBIENTES MORFOGENÉTICOS	CARACTERÍSTICA
Denudacional.	Asociado a laderas con pendiente media a alta. Presenta altas tasas de erosión laminar y por movimientos en masa.
Estructural	Relieves escarpados con marcados controles estructurales. (Formaciones geológicas denominadas Formación Barroso, el intrusivo del Tatamá y la Formación Penderisco).
Erosional (Fluvial)	Asociado a ambientes fluviales con morfología plana a suavemente ondulada y modelada sobre sedimentos aluviales (Ríos Risaralda, Mapa y Cañaveral)
Erosional (coluvial)	Localizados en las zonas de transición (zonas de piedemonte de los ríos Risaralda, Mapa, Cañaveral) entre los relieves planos y montañosos de la zona.
Deposicional (aluviales)	Zonas de baja pendiente donde se presentan materiales de origen aluvial. (valle bajo del río Risaralda y en algunos tramos del río Mapa).

Fuente: Zinck 2012

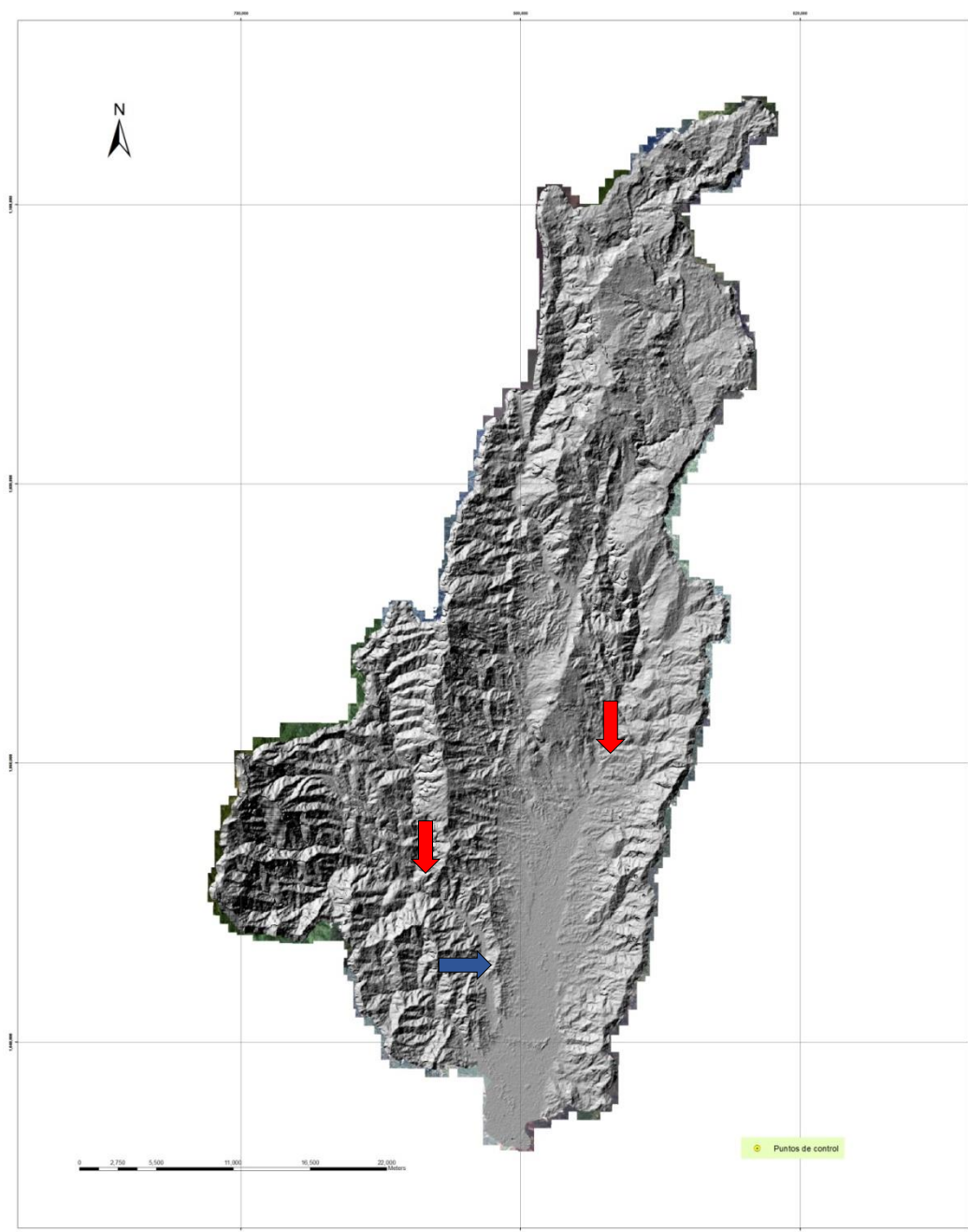


Figura 33 Mapa de sombras del área donde se detallan los ambientes morfogénicos existentes. Flecha azul ambiente deposicional y flecha roja ambiente denudaciones.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

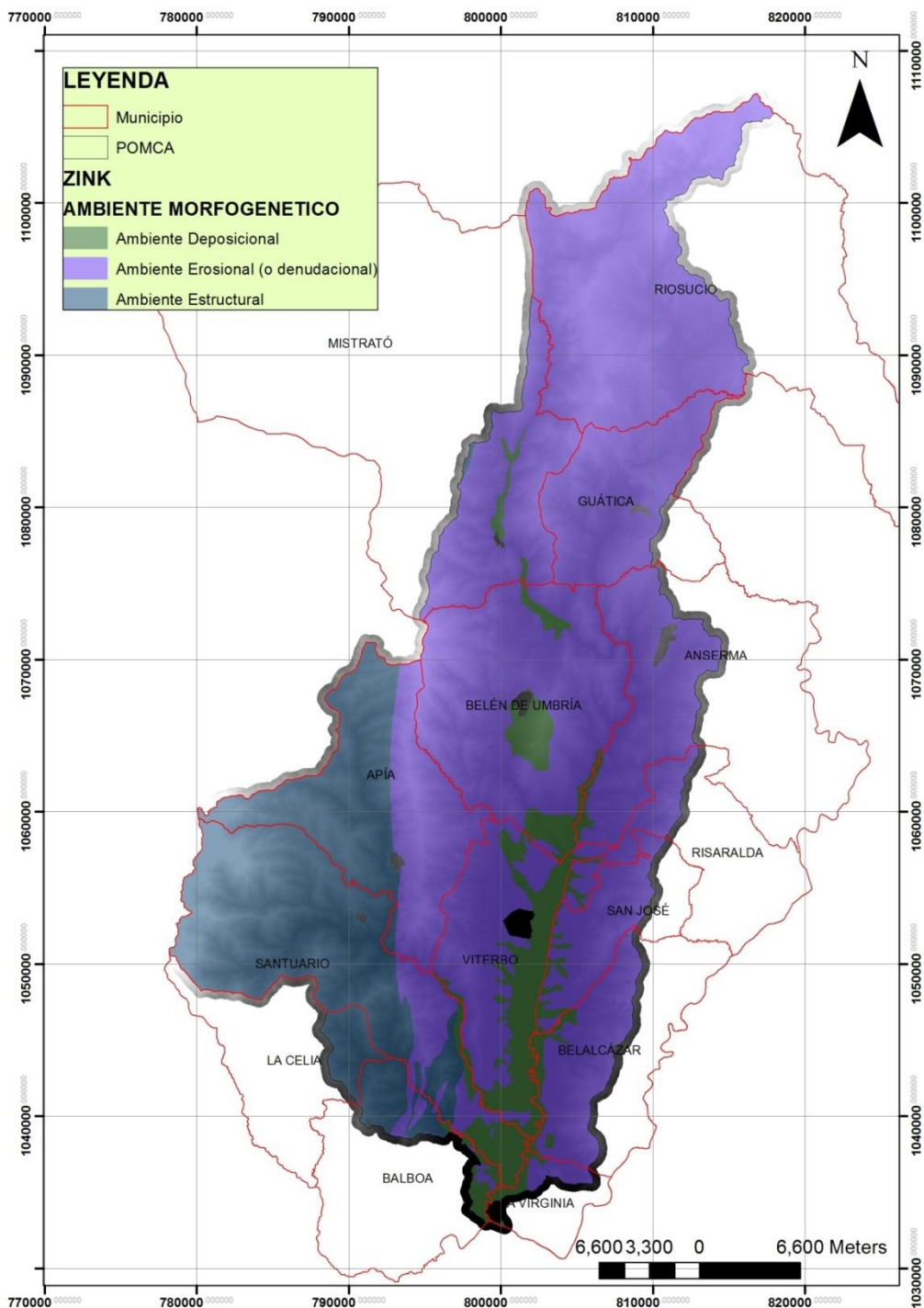


Figura 34 Ambientes morfogeneticos definidos sobre la cuenca
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.5.2. Tipos de relieve (por foto interpretación).

Se realizó el análisis de imágenes de satélite (Google earth) se identificaron las grandes porciones del terreno caracterizadas por sus rasgos fisiográficos con relieves similares según lo establecido en Zinck (2012), donde se resalta la existencia de áreas de valles, montañas, lomas. Colinas y depósitos de pendiente como se detalla en la Tabla 18.

Tabla 18 Relieves o modelados similares.

RELIEVE	CARACTERÍSTICA
Montañas	Asociado a las áreas de laderas pertenecientes a la Formación Barroso, Rocas intrusivas (stock de Mistrató), Formación Penderisco entre otros.
Valle	Zonas relacionadas con las áreas donde transcurren los ríos Mapa, Risaralda, y algunas quebradas del sector.
Lomas	Áreas que se asocian con los depósitos de la Formación La Paila y caracterizadas por presentar una superficie colinosa continua en áreas de piedemonte.
Colinas	Se localizan en las áreas adyacentes al cauce del río Risaralda y se asocian con depósitos de la Formación Zarzal, los cuales manifiestan superficie colinosa.
Lomas	Zonas de transición en las áreas de piedemonte y la zona montañosa. Se caracterizan por presentar una serie de lomas de pendiente moderada y continua.
Depósitos de pendiente	Se relacionan con áreas donde existen depósitos asociados a procesos antiguos y/o donde se han presentado depósitos de diverso origen en zonas de baja pendiente.

Fuente: Zinck 2012

En la Figura 35 se muestra una representación gráfica de los tipos de relieves definidos a partir la una fotointerpretación inicial, como fundamento para el análisis de la geomorfología con criterios edafológicos (Zinck, 2012).

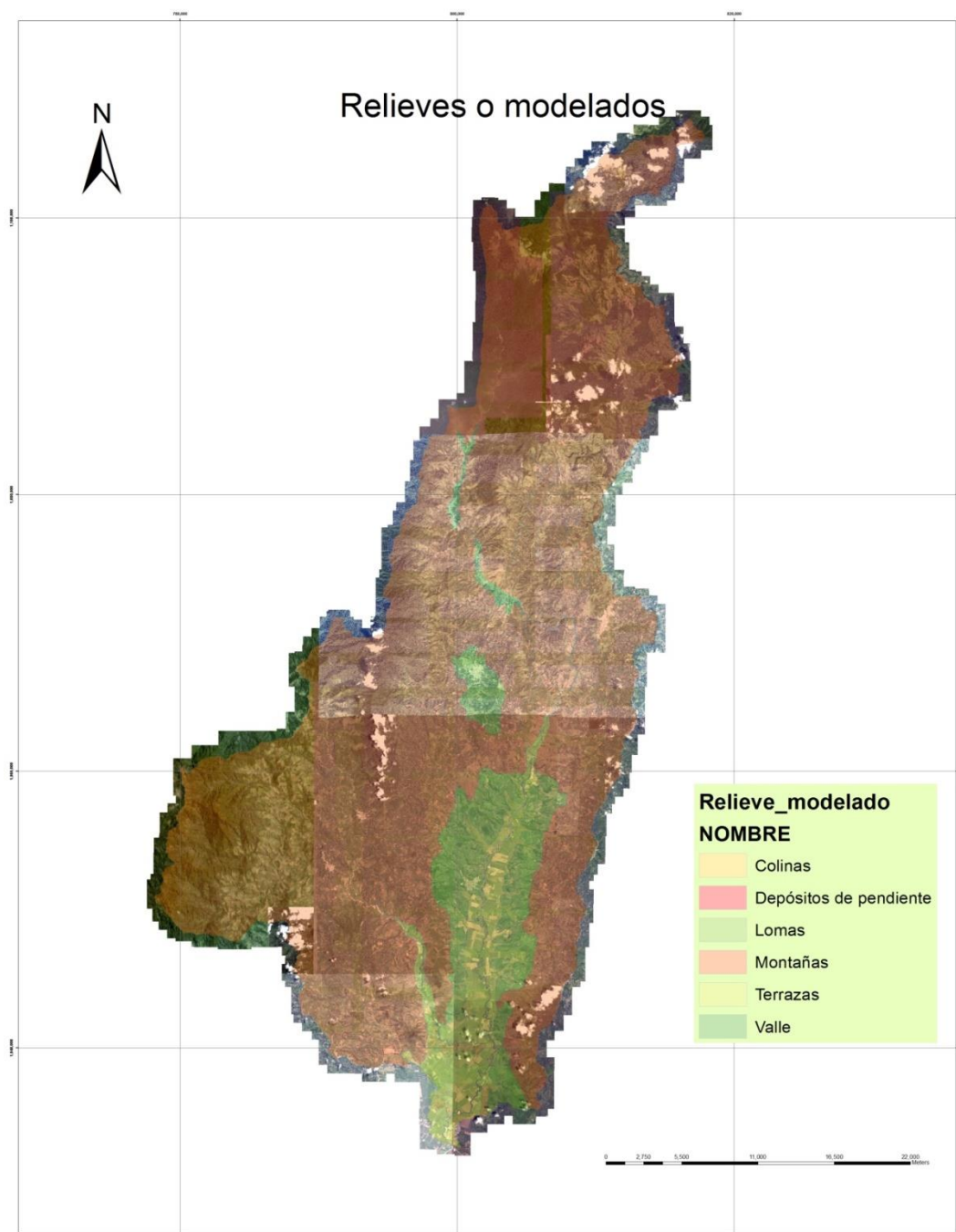


Figura 35 Relieves o modelados similares según fotointerpretación.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.5.3. Sistemas del terreno

Basado en los ambientes morfogenéticos definidos anteriormente y la fotointerpretación realizada, se definieron los paisajes fotogeológicos existentes en la cuenca mediante la superposición temática de la información obtenida según la clasificación establecida por Zinck (2012, como se describe en la Tabla 19 y mostrada en la figura 36. Los sistemas de los terrenos definitivos después de los controles de campo efectuados.

Tabla 19 Paisajes fotogeológicos.

PAISAJE	CARACTERÍSTICA
Montaña	Asociado a las áreas de laderas pertenecientes a la Formación Barroso, Rocas intrusivas (stock de Mistrató), Formación Penderisco entre otros.
Valle	Zonas relacionadas con las áreas donde transcurren los ríos Mapa, Risaralda, y algunas quebradas del sector.
Piedemonte	Zonas de transición en las áreas de piedemonte y la zona montañosa. Se caracterizan por presentar una serie de lomas de pendiente moderada y continua.
Lomerío	Áreas que se asocian con los depósitos de la Formación La Paila y caracterizadas por presentar una superficie colinosa continua en áreas de piedemonte.
Planicie	Se relaciona con las áreas de baja pendiente de los Ríos Risaralda, Mapa y Cauca, como también las zonas de terrazas antiguas y zonas de baja pendiente asociadas a quebradas y drenajes del sector.

Fuente: Zinck 2012

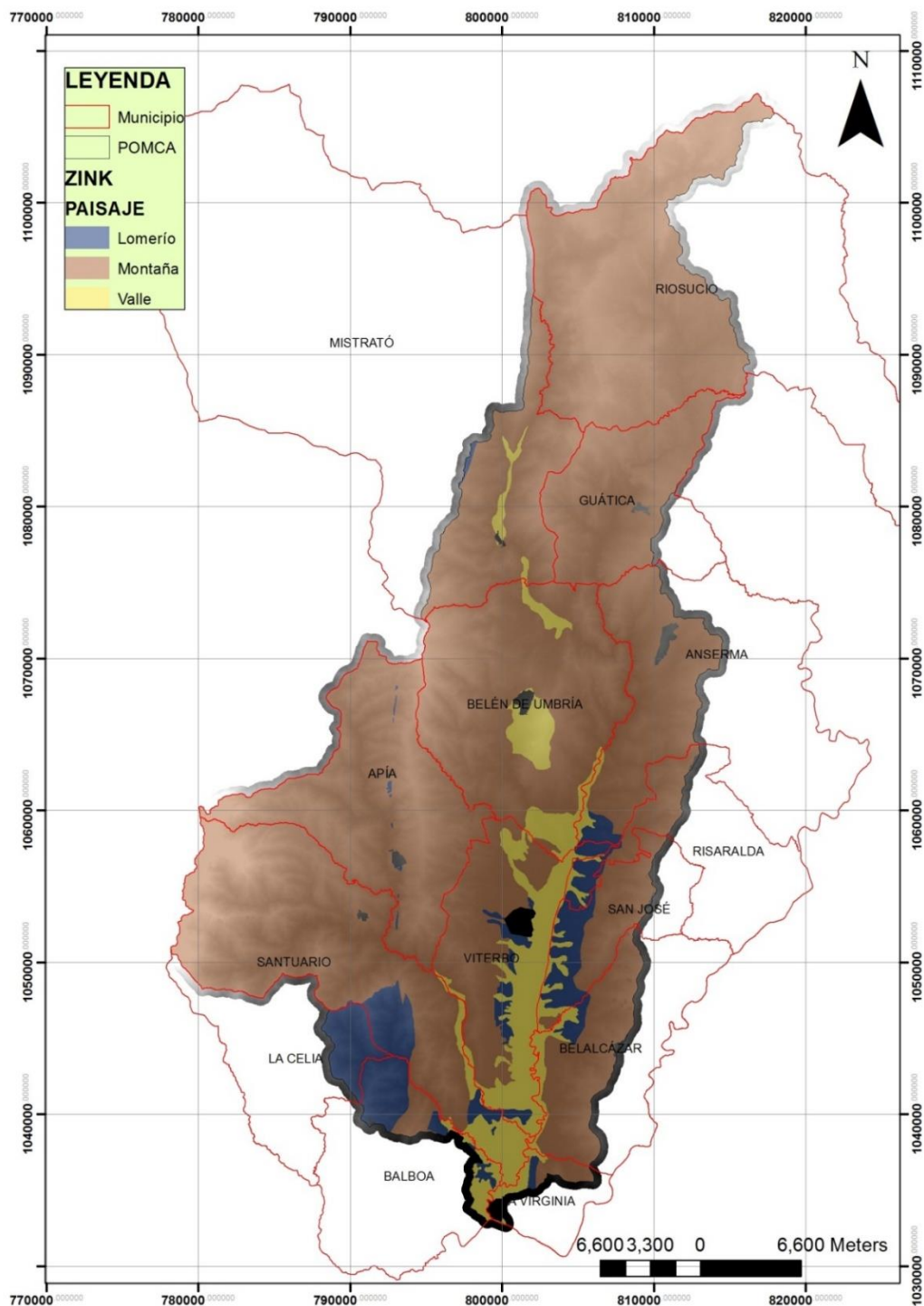


Figura 36 Sistemas del terreno.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

3.5.4. Unidades del terreno (Sensores remotos)

Se realizó una segunda fase de fotointerpretación haciendo uso de imágenes de satélite de Google earth se definieron y delimitaron los procesos morfodinámicos y las Unidades del terreno (Zinck 2012) según el tipo de relieve o modelado como se detalla en la Tabla 20.

Tabla 20 Unidades según el tipo de relieve o modelado

TIPO DE RELIEVE	MODELADO
Espinazo	Cadena Montañosa. Relacionado con las laderas de pendiente media a alta.
Filas y Vigas	Cadena montañosa, Relacionado a laderas de pendientes altas y cauces estrechos
Lomas	Lomas. Zonas con superficie colinosa continua en áreas de piedemonte.
Vallecitos	Colinas. Superficie colinosa asociada a depósitos terciarios (Formación Zarzal).
Terrazas	Terrazas. Zonas de baja pendiente donde se presentan antiguos depósitos aluviales en antiguas terrazas en zonas de baja pendiente.
Conos de derrubios	Asociado a zonas con depósitos tipo coluvial y zonas de baja pendiente.
Planos de inundación	Valle. Comprende las áreas principales donde transcurren los ríos principales Mapa y Risaralda en modelado de valle aluvial.

Fuente: Zinck 2012

En la Figura 37 se muestra el esquema de las unidades de terreno definidas, en 7 formas del terreno, distribuidas a lo largo de la cuenca, teniendo en cuenta las variaciones morfológicas del territorio de análisis en cuestión.

En la Figura 38 se muestra el mapa definitivo de la geomorfología según Zinck (2012) a partir de la simbología, donde se resume cada uno de los ambientes definidos.

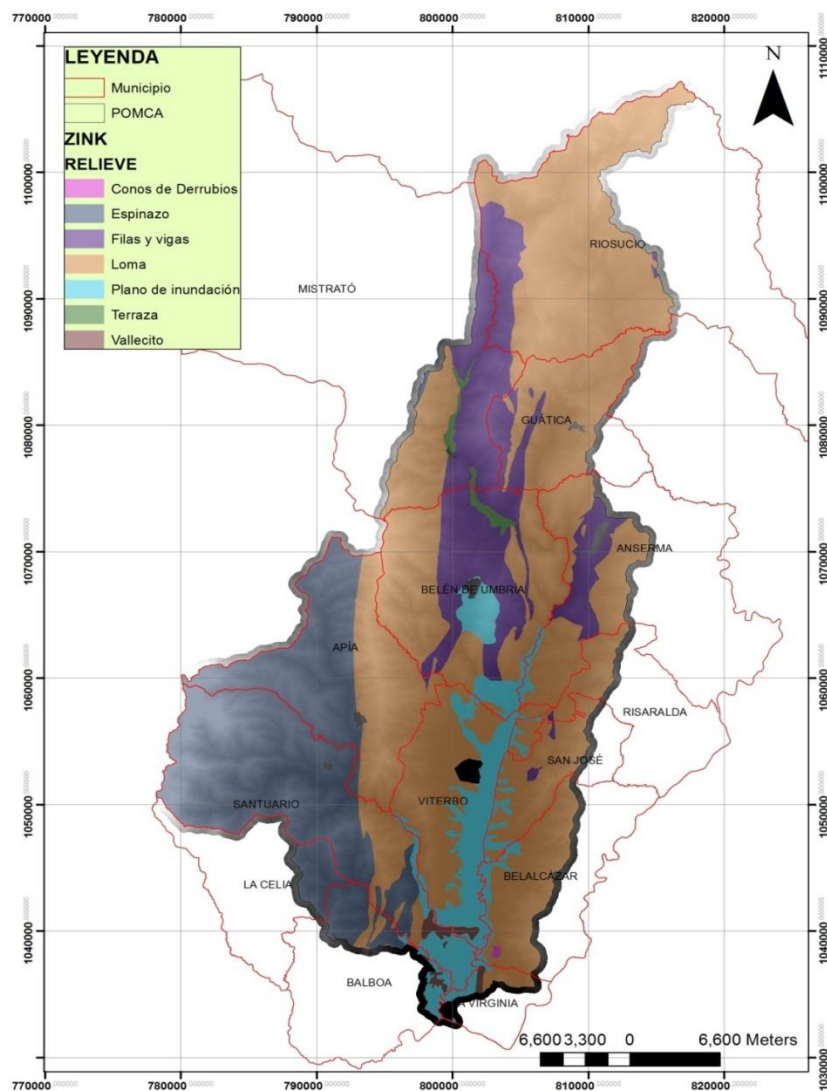


Figura 37 Unidades del terreno (Tipos de relieve). (Zinck 2012).

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 21 tabla de Jerarquización según Zinck con criterios edafológicos

Leyenda Geomorfológica Cuenca del Río Risaralda					
PAISAJE	AMBIENTE MORFOGENETICOS	TIPO DE RELIEVE	SÍMBOLO	SUP	%
MONTAÑA	EROSIONAL	Filas y vigas (f)	EMf5	49,82	0,19
		Lomas (l)	EMI7	187,62	0,15
			EMI8	3758,2	3,04
		Filas y vigas (f)	EMf1	2204,45	1,75
		Filas y vigas (f)	EMf2	1647,62	1,31
		Filas y vigas (f)	EMf3	245,68	0,002
		Filas y vigas (f)	EMf4	12533,08	9,93
		Lomas (l)	EMI1	38819,51	30,84
		Lomas (l)	EMI2	1058,75	0,04
		Lomas (l)	EMI3	23113,85	18,38
		Lomas (l)	EMI4	24,25	0,02
		Lomas (l)	EMI5	92,97	0,08
	ESTRUCTURAL (ES)	Espinazos (e)	ESMe1	21275,15	19,12
		Espinazos (e)	ESMe2	1236,45	0,98
	DEPOSICIONAL (D)	Conos de derrubios (c)	DMc1	51,22	0,04
LOMERÍO (L)	ESTRUCTURAL (ES)	Espinazos (e)	ESLe1	4168,76	20,22
	EROSIONAL (E)	Vallecito	ELv1	600,74	5,2
		Lomas (l)	ELI1	3109,86	2,5
VALLE (V)	DEPOSICIONAL (D)	Terrazas (t)	DVt1	704,33	0,54
		Plano de inundación (p)	DVp1	9731,94	7,74
ZONA URBANA (Tejido urbano continuo y discontinuo)			ZU	986,13	0,92
TOTAL				125.600,38	100

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

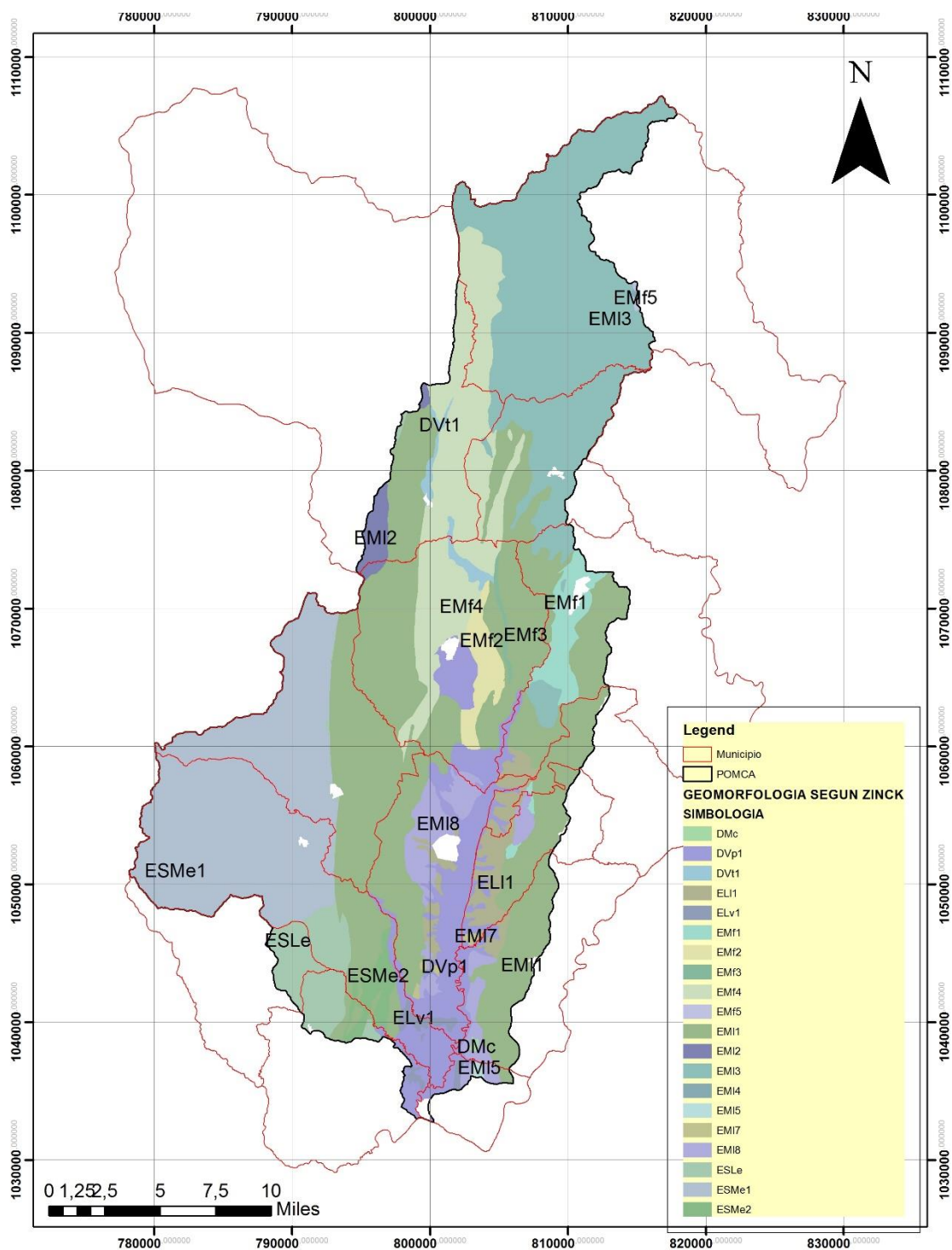


Figura 38 Mapa geomorfológico con criterios edafológicos según Zink
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

3.6. Control de campo

Con los datos obtenidos en las fases anteriores se procedió a efectuar el control de campo para los procesos morfodinámicos y las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

Para la definición de los puntos de control se tuvo en cuenta la categoría No 5 de la cuenca del Río Risaralda determinada en el Protocolo y la cual determina que se realicen 5-6 controles de campo por cada plancha 1:25.000.

En el área de estudio se realizaron 99 puntos de control (Figura 39 y Figura 40) de campo distribuidos de manera estratégica según lo establecido anteriormente y de esta manera se garantiza el cubrimiento de la zona como lo determinan los lineamientos técnicos relacionados anteriormente.

Para cada punto de control se definieron las unidades geomorfológicas diligenciando el formato 7 y tablas establecidas en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014)”.



Figura 39 Controles de Campo para geomorfología. Nótese la socavación lateral del cauce y un sistema de deposición fluvial originado por acción del río mapa.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 40 Controles de Campo para geomorfología. Nótese la presencia de valles en V, con laderas morfométricamente cortas y rectas, hacia la parte central del área
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.7. Procesos morfodinámicos.

A continuación, se relacionan los procesos morfodinámicos evaluados preliminarmente en la fase de fotointerpretación y confrontados de manera directa en la etapa de campo, los cuales fueron plasmados en el mapa de Unidades del terreno (tipos de relieve); adicionalmente en los anexos 3 y 4 se remiten los formatos de procesos evaluados y la base de datos asociada a dichos eventos.

Es preciso destacar que si bien la escala de trabajo y salida cartográfica solo permitiría la ubicación de procesos con dimensiones específicas y de gran tamaño, para el área de estudio se evaluaron y mapificaron los diversos tipos de procesos y que serán analizados con formato de punto para el análisis posterior de susceptibilidad con el fin de evitar el sesgo de omitir algún tipo de evento ocurrido o activo y que represente importancia para el análisis.

En el Anexo 14 se suministran el registro fotográfico de los fenómenos evaluados.

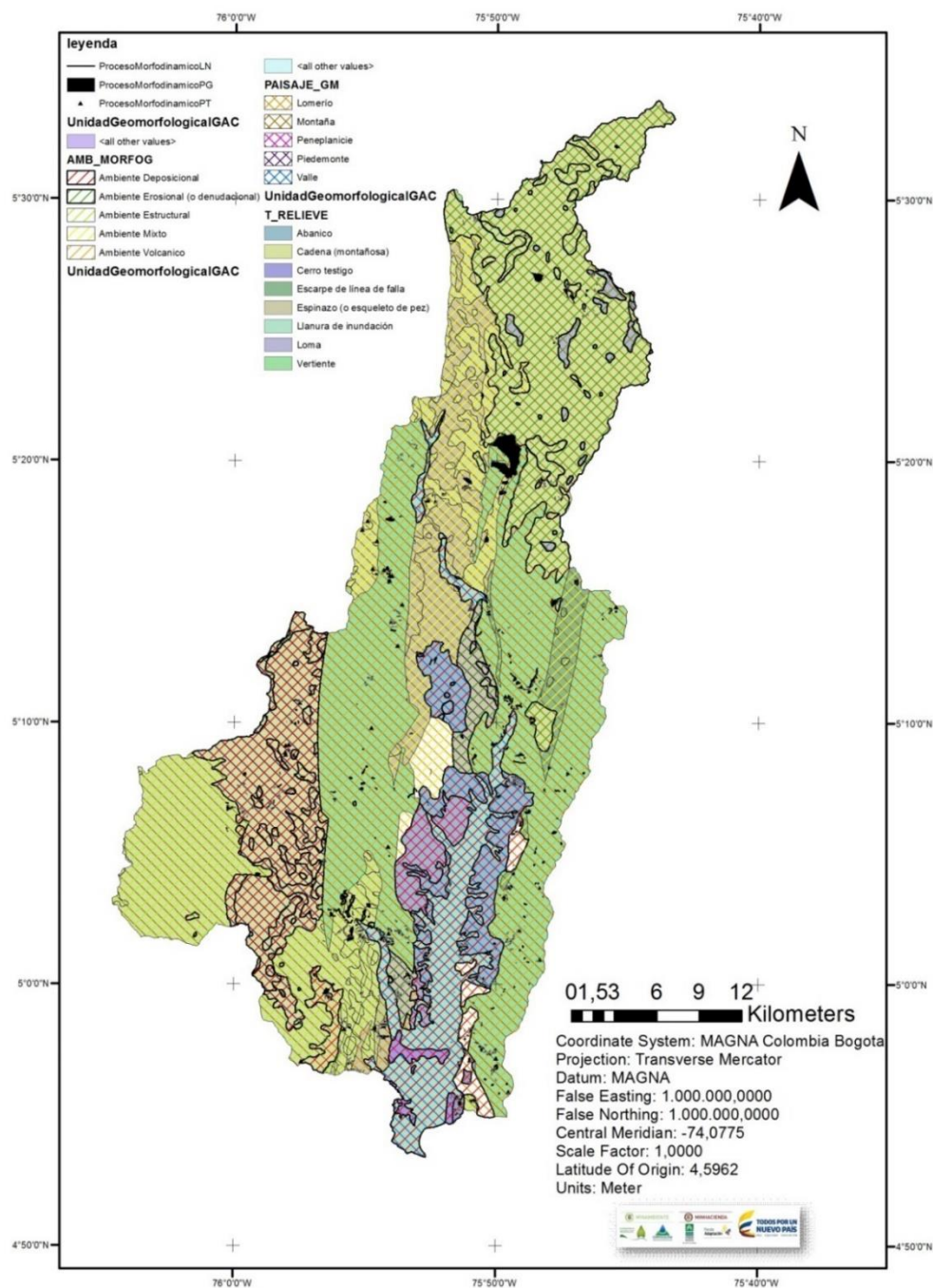


Figura 41 Mapa de procesos morfodinámicos en relación con los sistemas del terreno según Zinck

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

3.7.1. Cicatrices de antiguos deslizamientos.

Se evidencian fundamentalmente hacia la zona centro-sur de la cuenca entre las laderas principales oriental y occidental, en donde se aprecia la transición de sistemas del terreno de piedemonte a montañoso, algunos de los sectores con mayor incidencia en este tipo de procesos corresponde a la ladera Belalcázar - San José – Risaralda, la microcuenca del río Totuí y las zonas de piedemonte de los municipios de Belén, Viterbo y Santuario en donde las vertientes se catalogan como inclinadas a fuertemente inclinadas (35%-60%). Presentan una expresión cóncava en planta e irregular en perfil y con revegetalización natural.

Estos procesos se catalogan de secuencia retrogresiva, estado inactivo o suspendido, estilo sencillo a complejo, involucrando suelo y rocas y con humedad seco a húmedo para algunos sitios.



Figura 42 Movimiento antiguo registrado en zona rural del municipio de San José. Nótese La superficie cóncava de su corona.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 43 Movimiento en masa antiguo registrado en la vereda Buenos Aires perteneciente al municipio de Belalcázar, Caldas. Nótese la superficie cóncava de la corona y su estado revegetalizado

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.7.2. Deslizamientos activos

Este tipo de procesos se encuentran distribuidos en toda el área de la cuenca, pero se denota una mayor concentración hacia la zona central en sectores donde predomina el sistema de terreno montañoso de alta pendiente, destacando los vientos ocurridos en el municipio de Guática en donde recientemente se presentaron aproximadamente 70 movimientos en las veredas Santa Teresa, Ocharma, Las Lomas y Ospirma.

Otros sectores con una fuerte incidencia de deslizamientos tanto rotacionales, planares y flujos de lodos y escombros se observan hacia la vía rural que de Anserma conduce al municipio de Risaralda, también se presentan cerca al municipio de Belalcázar, más exactamente en la vereda Buenos Aires, y en zona montañosa del municipio de Belén de Umbría, hacia las veredas palo redondo, providencia, la llorona y la cuchilla de San Juan que abarca las veredas alturas, El Abejero y Dosquebradas

Como rasgo importante se evidencia que la mayoría de estos procesos están asociados a reptación y terracetos desencadenados por inadecuado uso del suelo

en fuertes pendientes y una fuerte infiltración de agua en el subsuelo, Los procesos involucran tanto roca como suelo y detritos; y las afectaciones principales se han presentado en viviendas y en vías primarias como secundarias.



Figura 44 Movimiento en masa afectando vía secundaria (Belén de umbría – Mistrató), entre las veredas providencia – La Llorona
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 45 Movimiento en masa de tipo combinado, en el sector de la cuchilla de San Juan, vereda Dosquebradas.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.7.3. Erosión superficial en surcos

La erosión superficial en surcos corresponde a un tipo de erosión concentrada por la acción de flujos turbulentos se puede evidenciar en las áreas desprovistas de vegetación donde la acción del agua permite la generación de canales y surcos. Las mejores expresiones de estos procesos se visualizan hacia el Sur y el parte central del área.



Figura 46 Vía san José – Risaralda, sector Quiebra de varillas. Proceso activo con erosión concentrada en surcos hacia la parte baja.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 47 Vía Mateguadua - vereda Al Abejero (Vía Belén-Mistrató), movimiento rotacional con presencia de erosión laminar por acción de escorrentía superficial, se observa fuerte carcavamiento

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.7.4. Taludes verticales antrópicos y desprendimientos de materiales.

A lo largo de la zona de trabajo se presentan una serie de procesos tipo “desprendimientos” de materiales (rocas, cenizas volcánicas, rocas y limo vegetal) en taludes verticalizados desprovistos de vegetación generados para la ejecución de vías y/o adecuación de viviendas generando superficies verticalizadas.

Los procesos visualizados varían en magnitud y en general presentan alturas variables desde 1 m hasta 5 m y en algunos casos se aprecian los materiales movilizados por efectos de la gravedad en la base de dichos taludes. El tamaño de los materiales sujetos a desprendimiento es variable, dependiendo si es modelado en suelo, roca, detrito o la combinación de estos.

La mejor expresión de este tipo de procesos se presenta en el tramo vial Santuario – Apía, sector La Marina, en donde se evidencian taludes verticalizados que han sufrido desprendimiento de materiales.



Figura 48 Taludes verticalizados que ha sufrido desprendimientos de materiales en el tramo vial Santuario – Apía
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 49 Desprendimiento de roca en macizo rocoso, hacia el sector de Belén de Umbría – La Isla
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 50 Cantera ubicada sobre la vía San José – Risaralda. Nótese el flujo de detritos que forma depósitos tipo talus.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.7.5. Erosión en Terracetas.

Se caracterizan por su expresión en planta y perfil irregular (terraces and steps) and by the inclination of the vegetation. They are localized in some sites located to the South and in the central part of the area where uses of the soil as pastures dedicated to overgrazing are presented.

These processes are visualized with medium intensity and of a punctual character.

The terrain systems where they have greater incidence are related to piedmont and lomeríos located near the municipalities of Viterbo and over the sector of La Isla (via Asia – San José) where a magnitude of events of this type of morphodynamic processes is observed.



Figura 51 Presencia de terracetos sobre la Vía Asia – San José, Vereda El Contento
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.7.6. Reptamientos.

Hacen parte de movimientos lentos del terreno (casi imperceptibles: 1cm/año), teniendo como contribuyentes el tipo de material y los cambios de humedad experimentados en cada sitio. Se presentan de manera irregular a lo largo de la zona de trabajo con intensidad y magnitud variable.

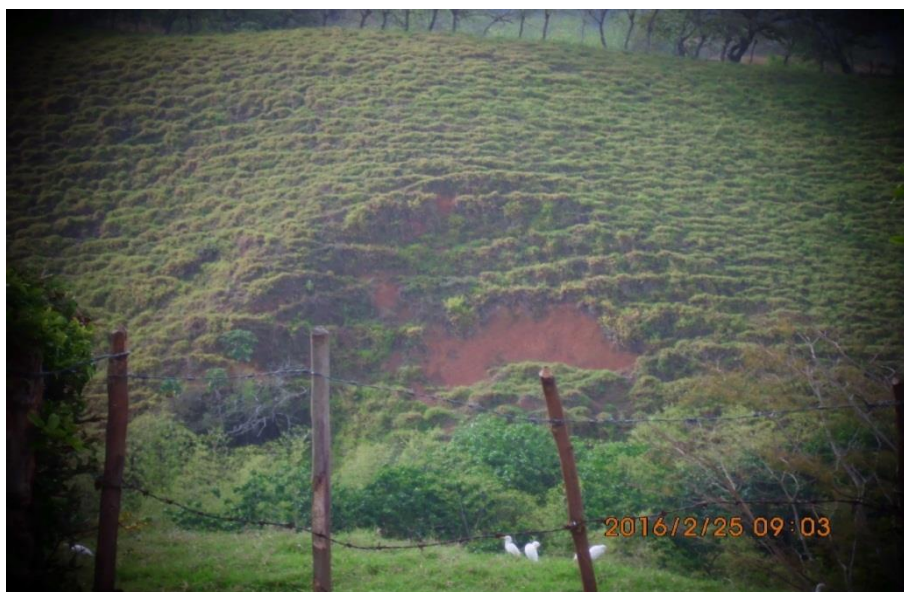


Figura 52 Reptamiento y erosión pluvial registrada en el sector la isla – vereda Taparcal
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Tabla 22 se hace un resumen de la cantidad de procesos evaluados en este capítulo.

Tabla 22 Cantidad de procesos morfodinámicos por tipología

Tipo de proceso	Cantidad de procesos.
Constructivo	2
Sedimentación coluvial	1
Sedimentación marina o lacustre	1
Denudativos	183
Erosión antrópica	16
Erosión fluvial	13
Erosión pluvial	21
Meteorización de las rocas	9
Remoción en masa	124
Total general	185

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.8. Jerarquización geomorfológica según Carvajal

Las propuestas de zonificación del terreno en categorías de unidades geomorfológicas son variadas tanto en número como en nombres, y dependen del objetivo perseguido y la especialidad del proponente. Esta misma situación, se presenta con los rangos de escala para cada categoría y los criterios de definición y diferenciación cartográfica.

Particularmente el SGC en sus estudios de evaluación del medio ambiente y Ordenamiento Territorial, propone retomar la jerarquización propuesta por (VELÁSQUEZ, 1999), modificando los nombres para darle un sentido estrictamente geomorfogenéticos.

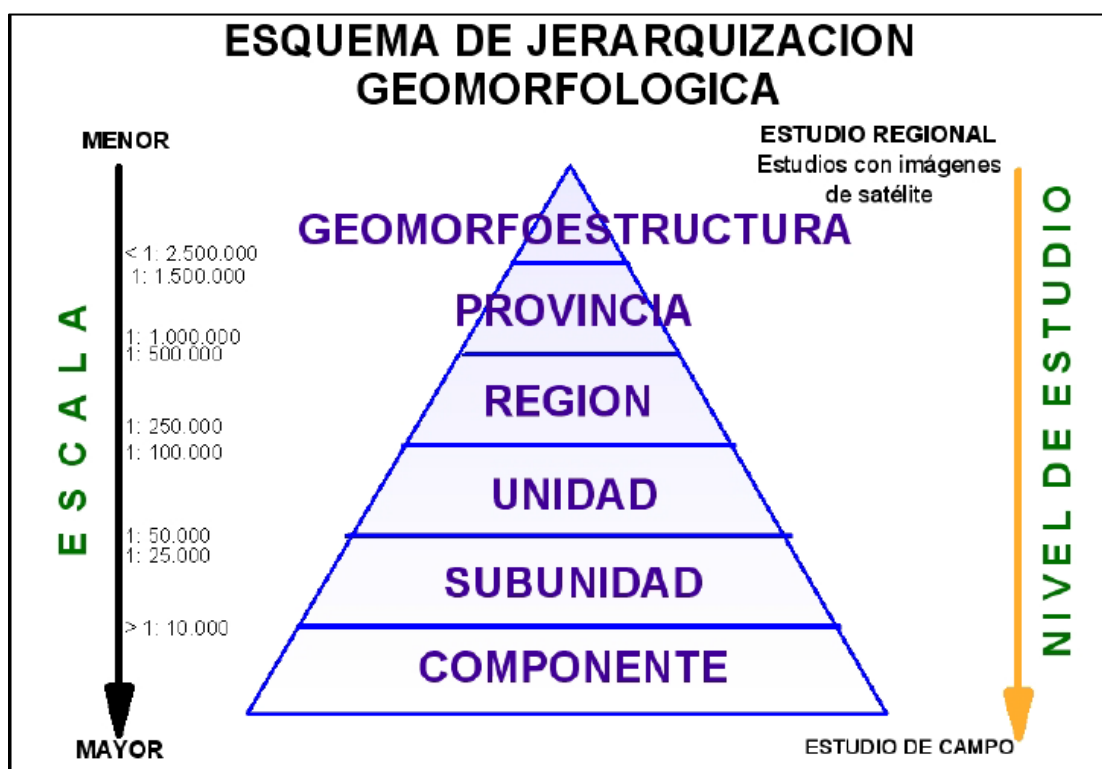


Figura 53 Jerarquización Geomorfológica propuesto para Ingeominas

Fuente: Tomado y modificado de Velásquez (1999) e Ingeominas (1999), Carvajal (2002-2008)

3.8.1. Geomorfoestructura

Se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intra continentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea (Megageoformas de origen tectónico). (Propuesta de estandarización de la cartografía Geomorfológica de Colombia. Carvajal 2011).

El nombre propuesto para las Geomorfoestructura es compuesto y consiste del término Sistema asociado a un término Morfológico de macrorrelieve combinado con un nombre geográfico regional reconocido.

Se puede denotar que, debido a la localización geográfica y las características fisiográficas y topográficas dadas a este nivel de detalle, el 100% de la cuenca corresponde a una Geomorfoestructura denominada Sistema Orogénico Andino.

3.8.2. Provincia Geomorfológica

Corresponde a un conjunto de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. (Propuesta de estandarización de la cartografía Geomorfológica de Colombia. Carvajal 2011).

Se diferencian y delimitan las formas del relieve tomando como base sus características geológicas, morfológicas y geográficas.

En la cuenca se observa de manera general la presencia de dos provincias, la de mayor predominio corresponde a la Cordillera Occidental con un cubrimiento del 97,91% y una segunda provincia que corresponde al Valle Interandino Cauca – Patía con un porcentaje de 2,09% en la cuenca y el cual está asociado al valle aluvial del Río Risaralda.

3.8.3. Región Geomorfológica

Es la agrupación de geoformas relacionadas genética y geográficamente.

Están definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos geomórficos parecidos. La escala de trabajo está definido entre 1:250.000 y 1:500.000. (VELÁZQUEZ 1999, INGEOMINAS 1999 VERSTAPPEN Y VAN ZUIDAM 1992, CARVAJAL 2011).

El ambiente morfogenéticos hace alusión a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se generaron las geoformas. Se determina con base en la interpretación de los procesos geomorfológicos registrados (origen tanto endógeno como exógeno), que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de las mismas.

Los ambientes morfogenéticos presentes en la cuenca se agrupan de manera general en:

- **AMBIENTE DENUDACIONAL (D):** Determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente producto de

procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, sobre geoformas pre existentes.

Este tipo de ambiente se presenta de manera directa sobre todo el sistema de las serranías denudaciones de la cordillera occidental abarcando un porcentaje de 81.42%.

- **AMBIENTE FLUVIAL Y LAGUNAR (F):** Corresponde a las geoformas generadas por procesos (erosión – sedimentación), generadas por corrientes de agua tales como ríos y arroyos, y lagos y lagunas respectivamente.

El ambiente fluvial está relacionado en la cuenca con la planicie aluvial del Río Risaralda, Río mapa y afluentes principales, abarcando un porcentaje de 4.92%.

- **AMBIENTE MORFOESTRUCTURAL (S):** Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente la asociada a plegamientos y fallamientos.

Representados en la cuenca en un 10.93% hacia la parte media central y occidental de la cuenca.

- **AMBIENTE ANTROPOGÉNICO (A):** Corresponde a las formas del terreno, productos de la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre.

Representados en la cuenca en un 2.73% principalmente localizados sobre los municipios del municipio de Belén de Umbría y de Santuario sobre los cortes viales que llevan a este municipio, se localizan los planos de explanación, y sobre las vías principales con las canteras de lomas (vía a Balboa) y el toro (vía Pacífico 3).

3.8.4. Unidad Geomorfológica

Esta categoría se propone como la unidad básica de la cartografía geomorfológica. El término Unidad geomorfológica se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórficos construccional o destruccional (Acumulación o erosión), típico de un ambiente morfogenéticos dado.

Las unidades geomorfológicas asociadas a ambiente denudaciones corresponden a Espinazos con un 63.39%, abarca en gran parte el sistema cordillerano y las unidades de mayor predominio en la cuenca dado sobre la Formación Barroso presentan geoformas significativas tipo Espinazo; la otra unidad geomorfológica de ambiente denudaciones lo constituyen los Cerros Residuales con un 5.46% encontrándose inmediatamente en el cambio topográfico del valle hacia el sistema montañoso y hacia la parte norte de la cuenca, al igual que las cuestas que se

localizan hacia la parte media de la cuenca abarcando formaciones sedimentarias como La Formación La Paila, Formación Zarza, Formación Combia y tramos de la Formación Barroso y el Plutón de Mistrató con un 12.57% de representación en la cuenca.

Las unidades geomorfológicas asociadas a ambientes fluviales constituyen depósitos cuaternarios recientes y corresponden a Abanico Fluvial con un porcentaje de 1,64% se encuentra en forma coalescente sobre el valle del Río Risaralda y constituyen los Sedimentos de Viterbo y Llanuras de inundación con un 1,09% localizadas sobre gran parte del cauce del Río Risaralda y las planicies aluviales de otros afluentes principales como el Río Mapa. Al igual que terrazas localizadas sobre las partes bajas del valle, con espesores de 4 m y representados en 2.19%.

Las unidades geomorfológicas asociadas a ambientes estructurales constituyen el sector más occidental de la cuenca sobre los municipios de Santuario y Apía, y en específico sobre la formación Penderisco caracterizado por espinazos y sierras homoclinales, característicos de ambientes con mucha actividad tectónica y que por consiguiente generan deformación de las rocas y plegamiento fuerte sobre estas unidades sedimentarias. Estas dos unidades están representadas en 0.55% y 10.38% sobre la cuenca respectivamente.

Las unidades geomorfológicas asociadas a ambientes antropogénicos constituyen canteras asociadas a la acción de explotación minera como también a los terraplenes realizado para la intervención vial tanto sobre material rocoso como suelo, localizados sobre la vía hacia el municipio de balboa, pacifico 3, y el municipio de Santuario. Representando 2.73% de la cuenca.

3.8.5. Subunidad Geomorfológica

Esta categoría corresponde a una subdivisión de las Unidades geomorfológicas. Está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos, con la correspondiente topografía del terreno. Igualmente está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos o determinados. La escala de trabajo está definida entre 1:10.000 y 1:25.000.

La nomenclatura de las Subunidades está definida por la posición dentro de la unidad o por el proceso geomorfológico dominante, ejemplo: Ladera estructural de espinazo o de cuesta, laderas denudativas o residual. La notación cartográfica propuesta, corresponde a abreviaturas de hasta 6 caracteres: El primero hace alusión al ambiente morfogenético, la segunda y tercera para definir la unidad

correspondiente y las restantes para especificar la disposición estructural o la posición dentro de la unidad geomorfológica.

De manera general en la cuenca del Río Risaralda, la subunidad con mayor predominio corresponde a Laderas denudadas con un porcentaje de 76.50% adicionalmente se presentan deslizamientos que se encuentran distribuidos sobre toda la cuenca en general, pero por su dimensión y escala son cartografiables. Representados en la cuenca en un 3.83% y las cornisas estructurales están sobre la cuenca en un 12.02% localizadas sobre los municipios de Santuario y Apía, como también sobre el municipio de Anserma, se presenta sobre toda la cuenca, exceptuando el valle aluvial del Río Risaralda y demás planicies aluviales, tiene un marcado predominio dado el relieve montañoso característico de la cuenca la cual abarca tanto el flanco occidental de la cordillera central como el flanco oriental de la cordillera occidental; seguido por Terrazas Fluviales las cuales se encuentran con un porcentaje de 2,19% está relacionada con la Formación La Paila y Zarzal y constituyen depósitos cuaternarios aluviales recientes, en un tercer lugar aparecen Conos de origen aluvial interdigitados con la planicie aluvial del Río Risaralda, asociado a los Sedimentos de Viterbo con un porcentaje de 1,64% y por último Llanuras con un 1,09% asociada con la planicie aluvial del Río Risaralda y afluentes principales.

Es importante aclarar que los factores antropogénicos han sido un modelador importante en la geomorfología debido a las ampliaciones y mejoras viales, al igual que las acciones mineras, representando un 2.73% de la cuenca estas subunidades antropogénicos.

La Tabla 23 se incluye la tabla resumen de la clasificación de Carvajal con fines geomorfogenéticos para el análisis de la cuenca del río Risaralda. Adicionalmente en la Figura 54 se muestra el mapa final de la geomorfología de Carvajal con criterios morfogeneticos.

La Tabla 24 se muestra un análisis de la cuenca con respecto a la morfogénesis, morfoestructura, morfometría, morfología y morfocronología asociada a cada una de las 8 unidades identificadas en la cuenca del río Risaralda.

Tabla 23 Jerarquización Geomorfológica en la Cuenca del Río Risaralda según Carvajal

GEOMORFOES	PROVINCIA	REGION	UNIDAD	SUBUNIDAD	HECTAREAS	PORCENTAJE
Cordillera, Orógeno	Cordillera Occidental	Ambiente Antropogénico	Canteras	Flancos de Cantera	2.277,72	1,64%
				Planos de explanación	484,71	1,09%
		Ambiente Denudacional	Cerros Residuales	Deslizamientos	2.609,67	3,83%
				Ladera denudada	20.117,08	1,64%
			Cuestas	Ladera denudada	38.750,74	12,57%
				Espinazos	Cornisas Estructurales	38,43
		Ambiente Estructural	Espinazos		Cornisas Estructurales	2.038,53
				Sierras homoclinales	Cornisas Estructurales	23.988,03
		Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Conos	4.101,61	0,55%
			Terrazas fluviales	Terrazas fluviales	5.217,68	2,19%
	Valle interandino Cauca - Patía	Ambiente Fluvial	Abanico Fluvial	Conos	1.433,57	1,09%
	Llanuras Inundación		Llanuras	8.965,11	1,09%	
Total general					125.600,03	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

Tabla 24 jerarquización según morfocronología

Unidad Geomorfológica	Morfogénesis	Morfometría	Morfología	Morfocronología (Época)	Morfodinámica	Morfoestructura (Litología)	Observaciones
Canteras	procesos denudacionales producidos por la acción antrópica sobre el terreno, tales como obras de ingeniería como también acciones mineras a cielo abierto localizadas sobre la cuenca	pendientes con gradientes de 50 a 70%, fuertemente inclinadas.	localizadas entre la parte baja y media de la cuenca, laderas entre cortas a largas. Superficies onduladas y planos	Cretácico Superior	erosión antrópica ingeniería y minera	localizados sobre unidades cretácicas como lo son la Fm. Penderisco, Fm. Barroso, y Pluton de Mistrato	representan un 2,73% del área total de la cuenca, localizados hacia la parte baja y media de la cuenca.
Cuestas	procesos denudativos producidos por la acción erosiva de suelo residual principalmente volcánico, por poca resistencia de los materiales.	Pendientes con gradientes de 12 a 25%, fuertemente inclinadas en sistemas de montaña.	Elevación aislada de relieve montañoso conformado por laderas empinadas y cimas planas	Cretácico Superior a paleogeno	Erosión pluvial, inclinación y orientación de las laderas	Rocas volcánicas y rocas plutónicas de la Formación Barroso como del pluton de Mistrato, altamente meteorizado y con una capa de suelo de espesores de hasta 3m	localizados sobre los municipios del departamento de Caldas y sobre algunos municipios del departamento de Risaralda, sobre los sistemas de montaña. Representadas en 12,57% de la cuenca
Sierras homoclinales	procesos denudativos producidos por la acción erosiva de suelo altamente deformado y meteorizado de la Fm. Penderisco, con la ayuda de agentes externos como la pluviosidad	Pendientes con gradientes de 12 a 25%, fuertemente inclinadas en sistemas de montaña.	sistemas montañosos fuertes y elevados de la cordillera occidental, con alta actividad tectónica y por conguente deformadas y plegadas	Cretácico superior	Erosión pluvial, inclinación y orientación de las laderas	Sobre la Formación Penderisco altamente deformada y meteorizada por acciones antrópicas y naturales como la pluviosidad	representan un 10,38% de la cuenca, principalmente hacia el sector suroccidental del sistema montañoso presente. Sobre los municipios de Santuario y Apía.
Terrazas fluviales	Procesos fluviales, río con modificaciones en su nivel base por causas tectónicas o climáticas	Pendiente con gradiente de 3 a 7% (Ligeramente inclinado), bajo densidad de drenaje, drenaje rectilíneo	Terrenos bajos y planos, presentan tramos extensos	Pleistoceno a Holoceno	Erosión fluvial, textura del suelo, densidad de drenaje	Depósitos aluviales recientes (inconsolidados) y sedimentos de viterbo	Corresponde a un 2,19% del área total de la cuenca; se encuentran localizadas sobre gran parte del cauce del Río Risaralda y las planicies aluviales de otros afluentes principales como el Río Mapa

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

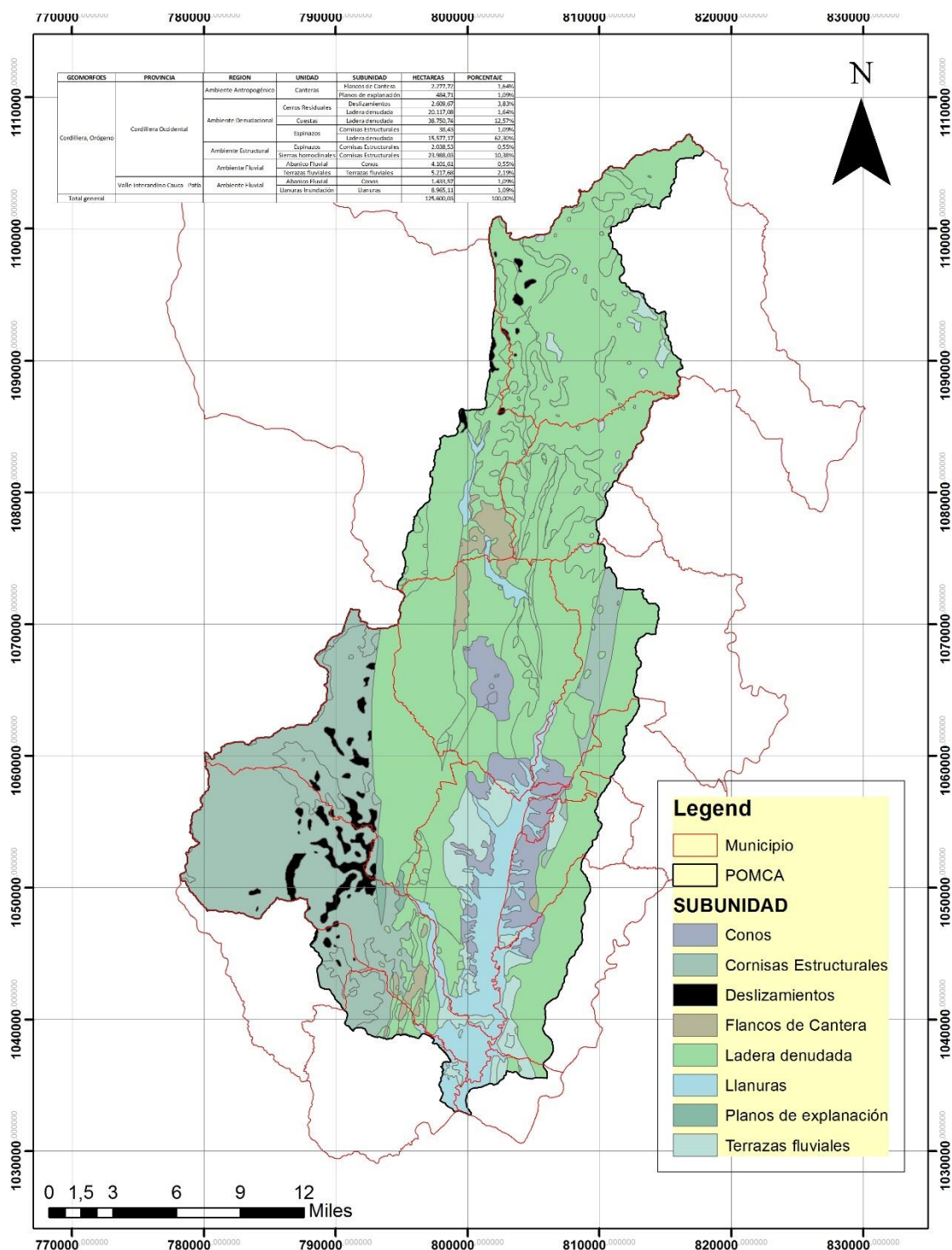


Figura 54 Mapa Geomorfológico con criterios morfogeneticos (Carvajal, 2012)
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3.9. Conclusiones y Dominio Geomorfológico.

Las condiciones determinadas anteriormente permiten establecer que dichas unidades de la cuenca, presentan un dominio de laderas con altas pendientes debido a las condiciones tectónicas de la cuenca, en relación con los procesos geomorfológicos que intervienen en la cuenca, hacia la vertiente oriental, norte y occidental de la cuenca sobre los municipios que presentan afluentes directos sobre la cuenca (Santuario, Apía, Mistrató, Belalcázar, Guática, Riosucio, San José y Risaralda) con un predominio de 76,50% representados en 74444,99 Ha, lo que muestra una cuenca con condiciones morfométricos y de pendientes altas desde unos 4000msnm hacia el sector del valle san Juan hasta una altitud de 900msnm en el sector del municipio de Viterbo. Estas condiciones de valles y de geoformas asociadas a depósitos aluviales representan un 5,5% de la cuenca con una extensión areal de 19717,93Ha.

4. GESTIÓN DEL RIESGO

4.1. Introducción

La gestión del riesgo pretende la ordenación y manejo de la cuenca mediante una zonificación ambiental basado en estudios de susceptibilidad, amenaza y riesgo para diversos eventos amenazantes, buscando la protección y correcto aprovechamiento de los recursos naturales renovables, ocupación apropiada del territorio y prevenir nuevas condiciones de riesgo, mediante la definición de acciones y medidas que puedan ser incluidas y articuladas en los procesos de ordenación del territorio en las diversas áreas estudiadas.

Las actividades planteadas para el correcto desarrollo del presente capítulo están basadas en lo establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Min. Ambiente, Minhacienda, Fondo de Adaptación 2014)”:

1. Análisis de susceptibilidad ante: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.
2. Evaluación de la amenaza en las zonas críticas obtenidas a partir de los estudios de susceptibilidad como zonas de susceptibilidad media y alta.
3. Análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante los diferentes eventos amenazantes.
4. Análisis del riesgo teniendo en cuenta la amenaza y vulnerabilidad analizadas anteriormente.

El análisis de susceptibilidad ante movimientos en masa, incluyo diferentes variables aportadas por el Modelo Digital del terreno, como también las que involucraron recolección de información primaria en campo tales como procesos morfodinámicos, cobertura de suelos entre otros. Que permitieron definir las áreas del territorio que presentan algún grado de susceptibilidad ante movimientos en masa.

Este mapa se convierte en una herramienta que permite incorporar en los procesos actuales de revisión y ajustes del ordenamiento territorial locales y el actual proceso de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Risalda, a su vez dicho insumo posibilitará un mejor aprovechamiento de los territorios desde cualquiera de los ámbitos sectoriales y fortalecerá el conocimiento de las restricciones ambientales territoriales desde la dimensión de la gestión del riesgo de desastres.

Según el protocolo se plantea el uso de la metodología de función discriminante la cual involucra diversos parámetros, entre ellos: vegetación y/o cobertura, espesor, origen, densidad de fracturamiento, pendiente, orientación de las laderas, insolación, densidad de drenaje, distancia a cauces, distancia a vías, relieve relativo; sin embargo los resultados obtenidos no fueron acordes con las condiciones de la zona, por consiguiente se efectuaron los ajustes respectivos a la metodología para obtener un resultado acorde con la realidad del territorio.

Para incendios forestales se realizó el análisis de susceptibilidad teniendo en cuenta los parámetros tipo de cobertura, tipo de combustible y carga total de combustible, generando el respectivo mapa de susceptibilidad ante incendios forestales.

Con respecto a la susceptibilidad ante inundaciones la evaluación se efectuó mediante criterios geomorfológicos que permitieron identificar las áreas con geoformas susceptibles a inundaciones.

Para el análisis de la susceptibilidad ante avenidas torrenciales se realizó a partir de la identificación de microcuencas susceptibles a estos eventos a partir del cálculo del IVET

El análisis de amenaza ante movimientos en masa, fue adelantado mediante la obtención del factor de seguridad mediante el uso de método de talud infinito, basado en las caracterizaciones geomecánicas de los materiales involucrados y para los diferentes escenarios planteados (seco, saturación, sismos y la combinación de ellos). Con estos insumos se procedió a la valoración de la vulnerabilidad y riesgo de los elementos expuestos en cada zona.

4.1.1. Resumen.

La evaluación de la amenaza se realizó concretamente en las áreas determinadas y establecidas como de susceptibilidad MEDIA Y ALTA ante los diferentes eventos analizados, para así realizar una zonificación del territorio con respecto a los eventos amenazantes.

Los estudios de amenaza por inundaciones incluyó el análisis de la información disponible en las áreas críticas previamente identificadas, como también la definición de las características topográficas y de alteración antrópica de las mismas. Con base en lo anterior se efectuó el análisis hidráulico de los afluentes en función del orden de los drenajes desde orden 1 hasta orden 5.

La evaluación de la amenaza de incendios forestales fue realizada a partir de la zonificación y calificación de los factores propios del territorio que inciden directamente o son causantes a la producción de estos eventos, tales como susceptibilidad de la cobertura vegetal, factores climáticos, factores de relieve,

factores históricos y accesibilidad al territorio, los cuales le confieren una mayor o menor probabilidad de ser afectados por incendios.

El análisis de vulnerabilidad es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica de acuerdo a los elementos expuestos a un evento determinado, y para el presente estudio se han tomado diferentes elementos expuestos tales como Población, viviendas, líneas vitales, zonas ambientales entre otras. La vulnerabilidad social (Involucra factores asociados a la población involucrada), La vulnerabilidad económica (caracteriza a la población de acuerdo a los ingresos económicos), y la vulnerabilidad ambiental y/o ecosistémica (se refiere a la extensión de la degradación de la naturaleza y sus recursos). Todos estos análisis realizados para cada uno de los eventos amenazantes encontrados sobre la cuenca.

Para la determinación del ICV (Índice de calidad de vida) que es requerido en los análisis de vulnerabilidad, involucra los escenarios urbano y rural para cada uno de los 14 municipios que tienen jurisdicción en la cuenca; sin embargo para la elaboración del estudio de vulnerabilidad se requería niveles más específicos tal como veredas, por lo que la fragilidad social fue calculada mediante un ponderado entre los parámetros salud, vivienda, educación, equipamientos y servicios de cada municipio.

El 99,02% de las edificaciones representado en 5456 unidades y/o construcciones se encuentra en una amenaza ALTA. En relación a un 0,8% (44) viviendas que representan una amenaza BAJA.

Con respecto a las vías se establece que los municipios de Santuario (26,27%), Apía (16,75%) y Belén de Umbria (16,45%) son los municipios con mayor afectación vial, incluyendo vías desde tipo 1 hasta de tipo 7, lo que representa condiciones de amenaza ALTA Y MEDIA preponderantemente cubriendo el sector occidental de la cuenca.

Del total de 107 bocatomas que se tienen en la cuenca, el 100 % se encuentran en nivel de amenaza ALTA. Estos localizados hacia la parte occidente, norte y oriente de la cuenca.

Para todos los escenarios de amenaza se puede concluir que las variaciones son pocas, independientemente de las condiciones que presente el territorio, ya que se presenta una amenaza ALTA en general para toda la cuenca, a excepción de las zonas 17, 18, 19 y 21, localizadas hacia la parte norte de la cuenca y específicamente sobre el municipio de Guatica y Río Sucio, que presentan

variabilidades de BAJA en los escenarios 1, 2, 5 y 6, como MEDIA en los escenarios 3, 4, 7, 8, 9, 10

La evaluación del riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad para determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios eventos en las áreas ocupadas. Para este análisis de riesgo se detallan las actividades como también los métodos tales como la determinación de las zonas de amenaza identificadas previamente, definición de los diferentes elementos expuestos y su nivel de vulnerabilidad calculado y la evaluación del nivel de riesgo según la combinación de la amenaza y vulnerabilidad arrojando que la mayoría de elementos expuestos se encuentren con una condición de riesgo MEDIA ante fenómenos de remoción en el escenario actual y que aumentan su grado para en los escenarios de combinación de sismo y saturación establecidos.

Finalmente se realizó el análisis de priorización de escenarios de riesgos donde se establecen el grado de prioridad de atención de cada una de las zonas evaluadas teniendo en cuenta los diferentes eventos analizados, lo cual permite establecer de manera preventiva cuales sectores serán los de atención prioritaria.

4.1.2. Generalidades

Con respecto al personal detallado que hizo el analisis del plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del rio Risaralda (POMCA), fue realizado por tres Geólogos, uno de cabecera, y dos de apoyo tanto para la etapa de verificación de la información tanto cartográfica como de eventos, como también para la parte de análisis y elaboración de resultados.

Tabla 25 Datos básicos Cuenca Risaralda

ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	
Geográficos	Departamentos	Risaralda y Caldas
	Municipios	Los municipios que tienen jurisdicción dentro del POMCA de Risaralda, son para el departamento de Caldas: Anserma, Belalcázar, Riosucio, Risaralda, San José y Viterbo. En el departamento de Risaralda son los municipios en la cuenca son: Apía, Balboa, Belén de umbría, Guática, La Celia, La Virginia, Mistrató y Santuario.
	Área	La cuenca del río Risaralda ostenta un área total de 125.600 ha., de las cuales 51.281,32 ha. Corresponden al departamento de Caldas y el restante 74.318,32 ha. Al departamento de Risaralda.
	Ubicación	La cuenca hidrográfica del río Risaralda se desarrolla en el flanco occidental de la cordillera Central, entre las coordenadas 777,000W y 817,000W, y las coordenadas 1°034,000N y 1°105,000N, en los
	espacial	

ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	
		departamentos de Caldas y Risaralda, donde el 60 % corresponde al Departamento de Risaralda y el 40% al de Caldas; tiene un área de drenaje de 1470 km ² , hasta su desembocadura en el Río Cauca, y se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental.
Fisiográficos	Zona Alta	Hacia la parte alta de la cuenca, se encuentran las zonas del sector de Riosucio, que representa la menor parte del área, con condiciones altas de susceptibilidad, cabe destacar que la mayor afectación del municipio de Mistrató se encuentra en zona rural, afectando también la zona urbana, y condicionadas por usos del suelo y pendientes altas, hacia el municipio de Guática, parte alta.
	Zona Media	La parte media de la cuenca, corresponde principalmente hacia el casco urbano del municipio de Santuario, y veredas aledañas como el sector de la marina. Representando el municipio de tiene mayor susceptibilidad.
	Zona Baja	La parte baja de la cuenca, a pesar de tener condiciones topográficas correspondiendo a valles, espinazos y Peneplanicie, presenta condiciones altas condiciones susceptibles en su mayoría por los lineamientos y fallas que se presentan dentro de la cuenca.
Hidrográficos	Nacimiento	Arroyohondo a una altura de 3.250 m.s.n.m.
	Desembocadura	Río Cauca a los 900 m.s.n.m.
	Afluentes (Subcuencas).	R. Risaralda, R. Mapa, R. Arroyohondo, R. Guática. Q. Serna, Q. Chapatá, R. Guarne, Q. Samaria, R. Totuí, Q. el Águila (Q. El Guamo), Q. Apía (Alta), R. Peñas Blancas, R. San Rafael, R. del Oro.
Clima	Temperatura	El clima de la cuenca es cálido y húmedo, en virtud de su localización en el valle interandino de los ríos Risaralda y Mapa. Tiene una temperatura media máxima de 24°C que se encuentra en la cota 900 m en el valle del Río Risaralda, al tiempo que se registra una temperatura mínima de 6°C en el cerro de Tatamá. Como consecuencia de las variaciones de temperatura y altitudinales. La variedad altimétrica de la Cuenca influye de manera directa sobre el régimen de distribución de las lluvias, la temperatura y la humedad del territorio.
		La región presenta una gran variedad de climas, desde las zonas bajas con temperaturas superiores a 22° C, en la planicie del Valle del Cauca, hasta zonas más altas, con temperaturas medias de 15° C en la zona montañosa.
		La parte alta de la cuenca, se presentan temperaturas medias de 14 °C, posteriormente hacia la parte media de la cuenca la temperatura promedio es de 22 °C y hacia la parte baja se presentan valores que oscilan entre 26 y 30 °C.
	Precipitación	La precipitación media anual para la cuenca es de 2.086 mm, con valores que oscilan entre los 2900 y 1600 mm. La cuenca se caracteriza por presentar dos periodos de relativa sequía y dos periodos húmedos. Esta distribución corresponde a un régimen de precipitación tipo ecuatorial (bimodal) con influencia mitigada de los alisios norte que penetran en la región desde el Chocó por el

ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	
		boquerón que corta la Cordillera Occidental entre los cerros Tatamá y Caramanta, influencia ésta que se advierte porque el periodo seco de principio de año es más prolongado que el de mitad de año.
	Humedad	La humedad relativa, al igual que la precipitación crece en la medida en que se asciende por las montañas que limitan la cuenca presentando valores medios que, en su mayoría, oscilan entre 70% en los meses secos (enero a marzo) y 85% en los periodos en que aumentan las lluvias (mediados de abril hasta el mes de noviembre).
	Evaporación	La evaporación en la cuenca del río Risaralda, hacia la parte alta se presentan valores de 950 mm, hacia la parte media valores de 1200 mm y hacia la parte baja valores de 1400 mm
	Radiación Solar	En la estación La Camelia, se registran valores medios mensuales multianuales que oscilan entre 110 horas en el mes de abril (el menor valor) y 160 horas en el mes de agosto (el mayor valor), se observa un comportamiento bimodal.
Vegetación	Usos y Coberturas del Suelo	En la cuenca del río Risaralda las coberturas de bosque ocupan el 31,66% del área total de la cuenca, mientras que los territorios destinados a desarrollo agropecuario ocupan el 65,27% del área total de la cuenca.
		Para el año 2000-2004, se destaca el predominio de las coberturas naturales como: Bosque denso con 22.29%, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 16.08% y pastos limpios con 12.67%. Para el año 2015 predomina las coberturas naturales de Bosque denso con 23.56%, Cultivos permanentes arbustivos con 15.82%, Mosaico de pastos y cultivos con 11.35% y Pastos limpios con 11.33%
		Se destaca el incremento significativo del área de cobertura natural de Cultivos permanentes arbustivos (cultivos de café), seguido de la cobertura de Mosaico de pastos y cultivos, bosque denso y los tejidos urbanos continuos y discontinuos.
		Las coberturas que presentaron disminución de área correspondieron a 9 destacando la pérdida de área de Bosque abierto, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Bosque fragmentado, Tierras desnudas y degradadas y Cultivos permanentes herbáceos.
Población	Dinámica Poblacional en la cuenca.	La población de la cuenca para el año 2015 está estimada en 185.535 habitantes. La Cuenca Risaralda tiene un área de 125.600 has, y su territorio es compartido por los departamentos de Caldas y Risaralda con 6 y 8 municipios respectivamente cada jurisdicción. Está conformada por 340 veredas, 120 de Caldas y 220 de Risaralda.

ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	
	Densidad Poblacional	La densidad poblacional total promedio de la cuenca es de 147,72 hab./Km ² , pero como ya se dijo, este valor se desvirtúa al ser un promedio entre valores tan extremos, por tanto es necesario obtener la densidad poblacional urbana, y la rural independientemente. La densidad poblacional urbana en la cuenca es de 10.326,89 hab./Km ² . El municipio con mayor densidad poblacional urbana, es La Virginia, seguido por Santuario y Risaralda. La densidad poblacional rural en la cuenca es 67,14 hab./Km ² . El municipio con mayor densidad poblacional rural es Guática, seguido por Riosucio. La cuenca se caracteriza por ser el de mayor densidad poblacional urbana y el de menor densidad poblacional rural.
	Comportamiento Poblacional por Edades.	La cuenca presenta una muy buena base piramidal de 0 a 15 años, a partir de la cual se observa como poco a poco se va disminuyendo, hasta alcanzar su máxima disminución en el rango de 30 a 45 años. A partir de los 45 años, vuelve y se amplía la pirámide hasta volver nuevamente a estrecharse con tendencia de punta en las edades de los adultos mayores.
		En este sentido, se pueden inferir tres procesos diferentes, el primero para las edades de 0 a 26 años, grupo que representa el 47% del total de la población en 2015.
		El segundo para la población de 30 a 50 años, y el tercero para la población de 50 años hasta más de los 80.
	Comportamiento Poblacional por Sexo	De los 185.535 habitantes de la cuenca, el 50,16% son hombres, equivalentes a 93.056, y el 49,84% son mujeres equivalentes a 92.479.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.2. Variables temáticas.

Susceptibilidad a Movimientos en Masa

La evaluación de la susceptibilidad a MM se realizó según los criterios establecidos en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minhacienda, Fondo de Adaptación 2014)” y haciendo uso de análisis discriminantes planteado por Nuria (2001).

En el proceso metodológico de la inclusión de variables para el cálculo de la susceptibilidad del territorio ante movimientos en masa, se establecieron variables primarias y variables derivadas del modelo de elevación digital del terreno (MDT) las cuales se presentan a continuación:

Variables Primarias

- Zonas inestables.
- Vegetación.
- Roc-sue. Presencia de roca –suelo
- Espesor: Espesor del depósito.
- Origen: clasificación del depósito por su origen
- Densidad de fracturamiento: Asociado a fallas.

Variables derivadas del modelo digital de elevación.

- Pendiente de ladera
- Pendiente senoidal de la ladera
- Rugosidad
- Curvatura
- Curvatura longitudinal
- Curvatura transversal
- Orientación de la ladera
- Insolación
- Distancia a drenajes
- Distancia a vías
- Distancia a fallas y lineamientos
- Acumulación de cuenca
- Longitud de cuenca acumulada
- Pendiente media de cuenca vertiente

Susceptibilidad a Incendios Forestales

Para la aplicación de la metodología recomendada, propuesta por el IDEAM, se deben evaluar los siguientes aspectos:

- **Tipo de combustible:** Es entendida como la duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1 hr, 10 hr, 100 hr).
- **Tipo de Cobertura:** Es definida como tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante.
- **Carga total de combustible:** Entendida como la caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en t/ha y humedad media de la vegetación

obtenida a través de una distribución cualitativa de los rangos obtenidos a partir del índice de vegetación NDII.

Susceptibilidad a Inundaciones y Avenidas Torrenciales

Para la evaluación de la susceptibilidad ante inundaciones se deben integrar las siguientes variables:

- **Análisis de eventos históricos:** A partir de establecer un estudio evolutivo del medio fluvial mediante análisis multitemporales de imágenes de sensores remotos o fotografías aéreas que estén disponibles por el proyecto, realizar un trabajo de campo con comunidades de la zona, recopilar y jerarquizar eventos de inundación a partir de diferentes fuentes.
- **Análisis Geomorfológico:** considerando las salidas cartográficas de la temática y que se describen en el respectivo apartado del presente protocolo. Tener en cuenta las siguientes subunidades geomorfológicas o formas del terreno asociadas a procesos de avenidas torrenciales: De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de Zinck (2012) considerar formas del terreno como: abanicos, fondos de valle, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, comparables con la unidad geomorfológica tipo abanico aluvial y sus respectivas subunidades geomorfológicas de la metodología de Carvajal (2011), que son equivalentes a los “Sistemas de Terreno” y “Unidades de terreno” definidos para la jerarquía del POMCA.
- **Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET):** De acuerdo con los lineamientos definidos por el IDEAM para la escala de trabajo (IDEAM, 2013) el cual tiene como entrada el Índice Morfométrico de Torrencialidad (obtenidos desde el insumo de caracterización geomorfológica de la fase de diagnóstico) e Índice de Variabilidad (obtenido desde la curva de duración de caudales obtenida en la caracterización hidrológica de la fase de diagnóstico). En el protocolo de estimación de indicadores se presenta un resumen del procedimiento de cálculo de este indicador.

Identificación de unidades inundables: consideradas para la definición de tres grados de susceptibilidad a partir de los siguientes criterios:

- **Susceptibilidad Alta:** Geoformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas

- bajas, albardón, trenzado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.
- Susceptibilidad Media: Geoformas que denotan procesos intermitentes (ej. terrazas medias, meandros, entre otras), y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificada.
 - Susceptibilidad Baja: Geoformas que denotan procesos antiguos (ej. terrazas altas).

Amenaza Ante Movimientos en Masa

Dentro de la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se tuvo en cuenta el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA, el cual sugiere un procedimiento determinístico y la valoración de diversos escenarios con presencia de agua y sismo en diferentes periodos de retorno:

- Determinación de los parámetros geológico – geotécnicos de las áreas en estudio (A).
- Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: niveles freáticos (B) y amplificación sísmica (C).
- Cálculo del Factor de Seguridad (FS) para las áreas en evaluación (D).
- Generación del mapa de amenaza en función de probabilidades, teniendo en cuenta la afectación del material debido a la ocurrencia de sismos y al cambio del volumen de infiltración de aguas en los taludes (agentes detonantes) (E).

Amenaza Ante Incendios Forestales

La evaluación de la amenaza se realiza siguiendo la metodología del IDEAM a partir de la zonificación y calificación de los siguientes factores propios del territorio, los cuales le confieren una mayor o menor probabilidad de ser afectados por incendios:

- Susceptibilidad
- Factores climáticos (Temperatura, precipitación y anomalías climáticas niño y niña)
- Factor de relieve. En sentido pendiente mayor influencia

- Factor Histórico. Frecuencia de eventos
- Accesibilidad. Densidad vial para acceso a las áreas forestales y generar incendios.

Amenaza Ante Inundaciones y Avenidas Torrenciales

La evaluación de amenaza por inundaciones está mediada, tanto por la información disponible en las áreas críticas previamente identificadas, como por las propias características topográficas y de alteración antrópica de las mismas, a continuación, se establecen las variables evaluadas para el cálculo de la amenaza por inundaciones:

- **Modelación hidrológica (Caudales extremos):** Para definir la hidrología de extremos de una cuenca extensa, se utiliza normalmente el llamado análisis regional de frecuencias, (Ref 00); de acuerdo con este análisis, si se conoce el comportamiento de caudales extremos, (máximos y/o mínimos). En el presente caso se utilizaron todas las estaciones de corrientes disponibles en el IDEAM con registros de máximos y mínimos anuales
- **Modelación hidrológica – hidráulica:** En donde se evalúan las zonas críticas a fin de prever los caudales máximos para diferentes períodos de retorno y obtener una idea sobre la magnitud del evento en la zona inundable con las características hidráulicas fundamentales de nivel máximo alcanzado por la lámina de agua, velocidad máxima, duración, carga de sedimentos, etc., (modelación hidráulica).

4.3. Caracterización histórica de eventos amenazantes

El acercamiento inicial al tema de la ocurrencia histórica de los eventos de desastre y su contexto y significado en la amenaza, principalmente en el aporte en términos de distribución temporal y espacial de eventos amenazantes, a partir de bases de datos con diverso enfoque, incluyó diversas categorías definidas para el análisis, que tuvo como referente inicial fundamental, la base de datos de Desinventar, construida y administrada por la Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente – Corporación OSSO, y disponible en plataforma web, se contó también con otro tipo de inventarios o validación de otras fuentes de información, en función de su aplicación al análisis a nivel del POMCA río Risaralda como se puede apreciar en la Tabla 26.

Tabla 26 Tipos de eventos diferenciados inicialmente para efectos del análisis de registros históricos de desastres.

Amenaza	Tipos
Deslizamientos	Deslizamientos
Hidrometereológicos	Granizada, Lluvia, Tempestad, Tormenta eléctrica, vendaval
Incendio Forestal	Incendio Forestal. Quema
Inundaciones	Inundaciones, avenidas torrenciales y sedimentación
Sismo	Sismo

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En razón, de que resulta de particular interés, como parte de la caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes, definir la relativa abundancia espacial y temporal de diversos eventos, con énfasis en eventos de deslizamiento, inundaciones y avenidas torrenciales, y cuyas densidades aportan la mejor información para definir tendencias particulares con referencia a la Cuenca Hidrográfica del Río Risaralda.

Los inventarios históricos de desastres en el departamento de Risaralda, cuentan con varias generaciones de bases de datos, que ha permitido un eficiente acercamiento inicial, sin embargo en la depuración inicial se ha descartado eventos que no cuentan con información suficiente o confiable en lo que respecta a su localización e impactos derivados, e incluso en algunos casos en lo que concierne a la tipología de eventos, mostrando actualmente deficiencias que incluyen aspectos metodológicos de captura y procesamiento, que han conducido a seleccionar cerca del 40 % de los registros originales.

Inicialmente, se inició con una base de datos en la plataforma DESINVENTAR, para el Departamento de Risaralda, a partir de 16.898 registros iniciales, que fueron secuencialmente depurados de tal forma que excluyeran eventos relacionados con accidentes de diverso orden, como son incendios estructurales, plaga, contaminación, también se depuro los registros que no permitían su ubicación por la descripción identificada.

Posteriormente a la exclusión de eventos no requeridos en el análisis, se procedió a seleccionar los municipios, cabeceras municipales, veredas y zonas rurales, que permitieran una eficiente asociación con la Cuenca Hidrográfica objeto de análisis.

Esta labor, fue de alta complejidad, dado que las unidades geográficas de referencia no cuentan en muchos casos con información suficiente para discriminar la localización, en un alto porcentaje, por debajo del nivel de municipio, lo que en

particular para los casos de índole rural, se ampliaba evidentemente la gama de imprecisión para la efectiva localización de los eventos, que obedece a un área geográfica de referencia (municipio, vereda, corregimiento, cauce, etc.), más en muchos casos no representa un sitio específico.

Para esto, se asignaron inicialmente los puntos centrales de las veredas y zonas urbanas asociados a eventos específicos, identificándose así la geolocalización, proceso para el cual resultó de gran utilidad la base geográfica de Google Maps (2015), cuando según la tabla de atributos de los eventos, era posible asignar o seleccionar área o sector específico.

Con los puntos geo localizados se seleccionaron, de tal forma que la asignación o descarte de los puntos que correspondiera al interior del área del POMCA, hasta llegar a un total de registros de 895.

Así, los inventarios históricos de desastres en el departamento de Risaralda, cuentan con varias generaciones de bases de datos, que ha permitido un eficiente acercamiento inicial, sin embargo en la depuración inicial se ha descartado eventos que no cuentan con información suficiente o confiable en lo que respecta a su localización, que han conducido a seleccionar cerca del 40 % de los registros originales.

A partir de la información de eventos previamente discutida, se seleccionaron algunas tipologías de los mismos, de mayor relevancia para el análisis de densidad al interior del POMCA río Risaralda, buscándose los criterios de geoposicionamiento disponibles en la información allí contenida.

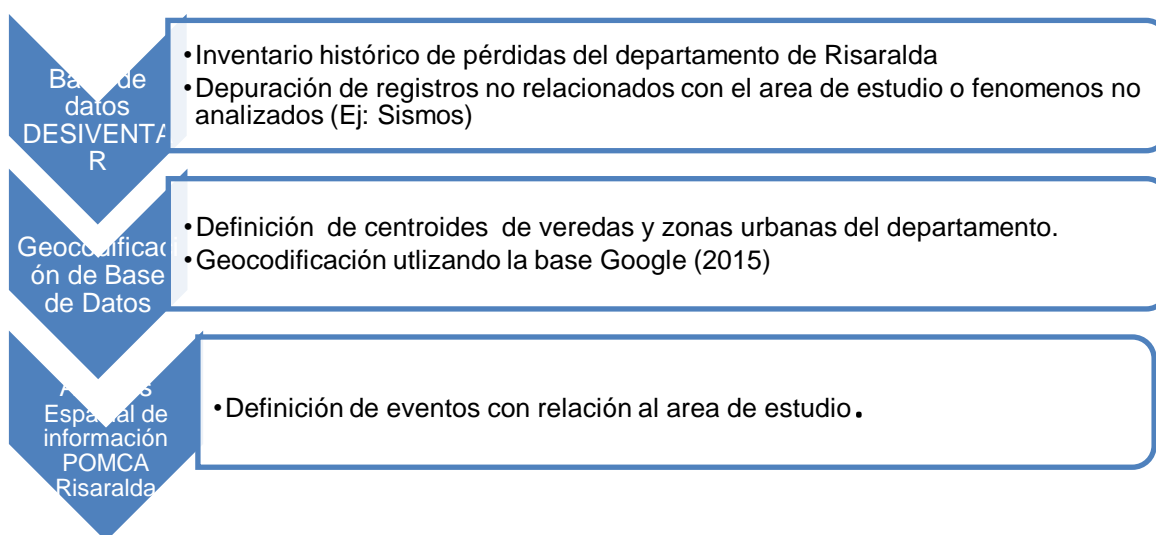


Figura 55 Metodología de geolocalización preliminar de eventos históricos del POMCA del Río Risaralda.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Se ha dado énfasis, bajo la categorización de eventos señalada antes, y a través de un proceso de geocodificación y depuración de los datos de localización, a la valoración de afectaciones a través de consolidados de afectaciones bajo las siguientes categorías. Ver Tabla 27.

Tabla 27. Síntesis de afectación y tipos de afectación evaluados

Afectación	Tipos de afectación
Afectación Humana	Muertos, desaparecidos, heridos-enfermos, damnificados, afectados, evacuados, reubicados
Afectación de vivienda	Viviendas destruidas, viviendas afectadas
Afectación Sectorial-Servicios	Vías afectadas, transporte, comunicaciones, acueducto, alcantarillado, energía

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

La sistematización respectiva se entrega en formatos digitales donde se incluye serial, fecha de inicio, tipo de evento, municipio, sector – sitio y sus afectaciones según los expresado antes.

El avance de los productos cartográficos derivados de la depuración de dicho inventario, consiste de los puntos asociados, diferenciados por tipo de evento y articulados a los demás datos contenidos en la tabla de atributos, de tal forma que permita la consulta de cualquiera de los parámetros o variables que contiene. Bajo este primer nivel de análisis se obtiene los siguientes resultados para la cuenca del Río Risaralda se sintetizan en la Tabla 28.

Tabla 28. Distribución de eventos según tipo y área urbana o rural afectada

Tipo de Evento	Urbano	Eventos con mayor afectación urbana	Rural	Eventos con mayor afectación rural
Deslizamiento	136	13	361	16
Hidrometereológicos	85	11	357	31
Incendio Forestal	13	0	103	0
Inundación	281	25	95	6
Sismo	41	8	15	0



Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Estos eventos, fueron validados en una etapa de campo posterior, donde se hizo una encuesta con las comunidades de los municipios de Santuario, Apía, Mistrato, Balboa, Guatica, La virginia y Viterbo, con el fin de hacer la identificación de las zonas de riesgo donde se han registrado la mayoría de eventos, en su mayoría, inundaciones y movimientos en masa, este inventario se registró en el anexo 12, de acuerdo a lo entregado por la comunidad, se identificó la zona de Dosquebradas (Mistrato), al igual que Santa Teresa (Guática) como unas de las zonas con mayor incidencia de fenómenos de remoción en masa, debido a los cambios y las condiciones de usos del suelo como lo reportan. De igual modo en el municipio de la Virginia (rio Risaralda), y en zona límite entre el municipio de Santuario y Balboa sobre la microcuenca del rio Totui, se identificó como una de las principales zonas de influencia en riesgo a inundaciones torrenciales debido a las condiciones antrópicas y expropiaciones inadecuadas del suelo sobre los cauces de estos afluentes.

Se resalta dentro de la base de datos, el dominio de eventos de deslizamiento en lo rural, en particular en las zonas urbanas de La Virginia, Mistrató y La Celia, mientras los deslizamientos e inundaciones se destacan en lo urbano para la Cuenca del río Risaralda, mientras en un segundo nivel de número de evento se encuentran los fenómenos Hidrometereológicos y las inundaciones.

De otro lado, es evidente la deficiencia de información para los eventos históricos anteriores a la década del 90 para la cuenca del río Risaralda, lo que amerita una revisión específica de dicho período, y en particular para valorar la evolución en el tiempo de las afectaciones a dicho nivel.

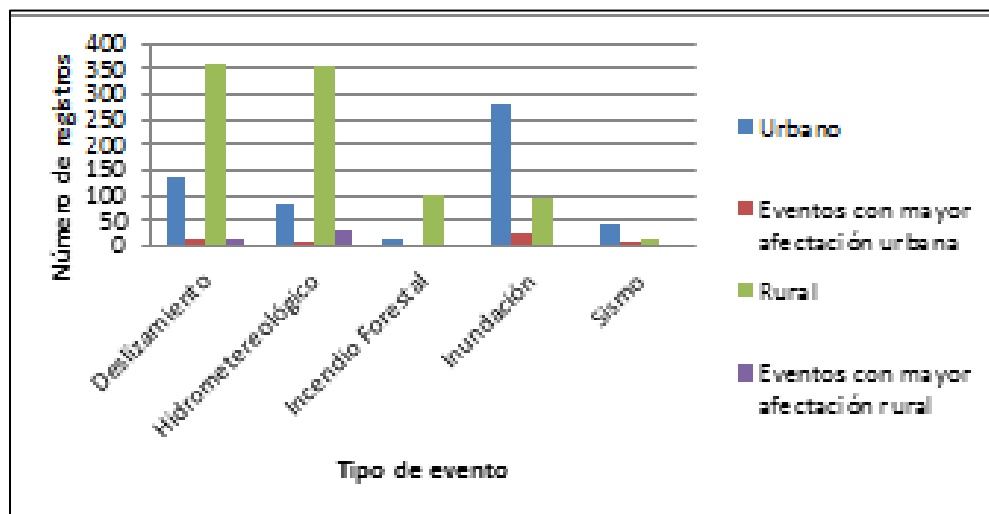


Figura 56 Distribución de tipo de eventos con afectación urbana y rural para el POMCA del Río Risaralda.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

De cualquier forma, y con la óptica de generar análisis de densidad de eventos en consideración de escala temporal y espacial, y a partir de dicha base de datos inicial de referencia, se procedió a su depuración con base en la disponibilidad y suficiencia de la información que permitiera asignar inequívocamente los siguientes tópicos:

- Diferenciación del tipo de evento, de tal forma que permitiera asociar mecanismos de ocurrencia particulares, en particular para inundaciones, eventos torrenciales y deslizamientos.
- Asignación específica de fecha de ocurrencia del evento (día-mes-año), dato que aunque en términos generales, cuenta con adecuada asignación, aunque en algunos casos aislados, la información descriptiva, permitió corroborar o incluso asignar fechas que pudieran estar erróneas en la base de datos original, o en algunos casos eliminar registros duplicados.
- Diferenciación confiable y libre de ambigüedades del lugar de ocurrencia del evento, de tal forma que permitiera definir una localización cartográfica aceptable de referencia, de importancia para realizar una acertada estimación de densidad de eventos por unidad de área, en consideración de escala 1:25.000.

Se enuncian los elementos evaluados y que se referencian en las Figura 57, Figura 58, Figura 59, de las salidas cartográficas incluidas en el anexo 1, donde se detallan los eventos históricos ocurridos por evento, resaltando que dada la escala de las figuras y los puntos de eventos su visualización se hace más clara en anexo referenciado.

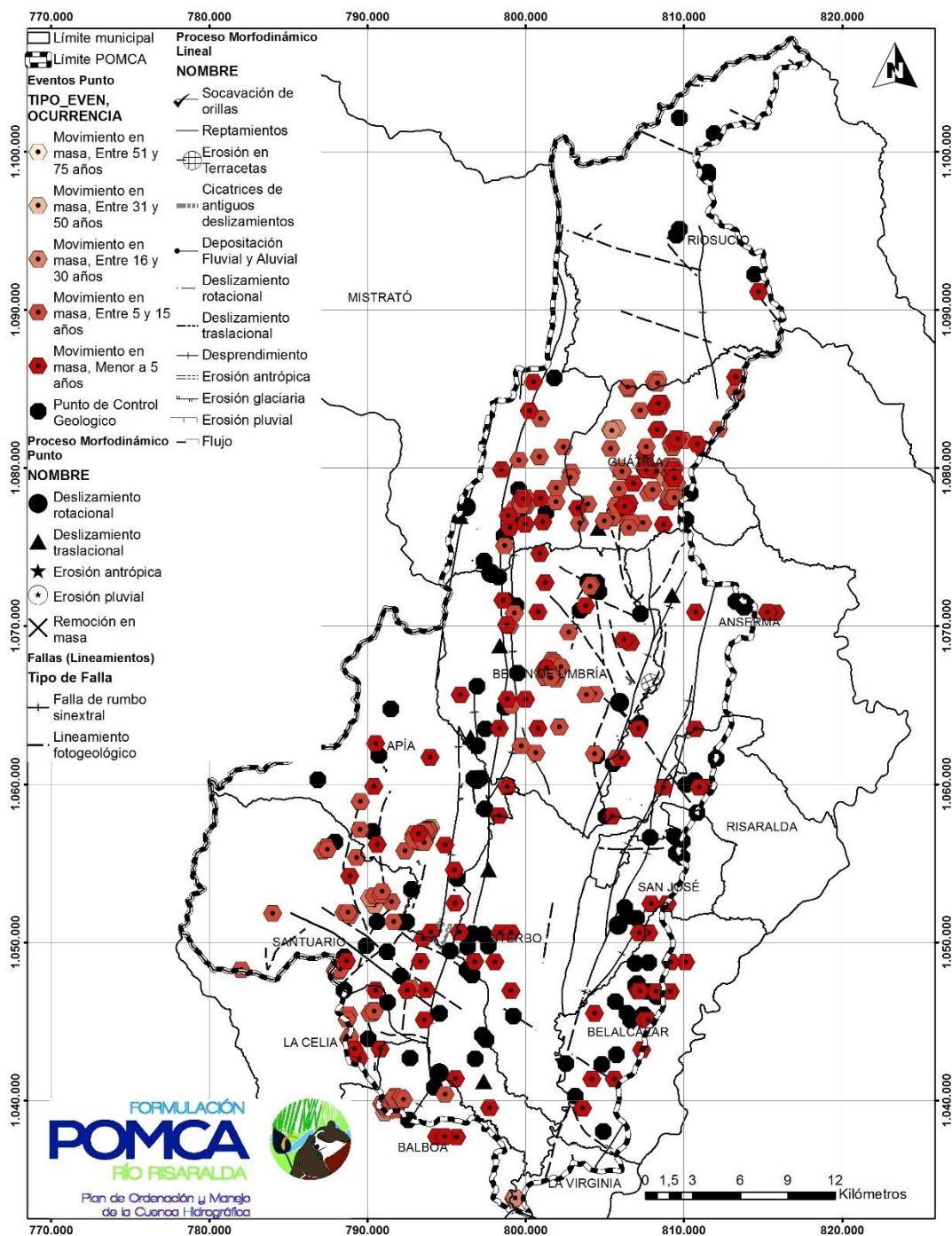


Figura 57 Eventos históricos asociados a Movimientos en masa para la cuenca del Río Risaralda.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

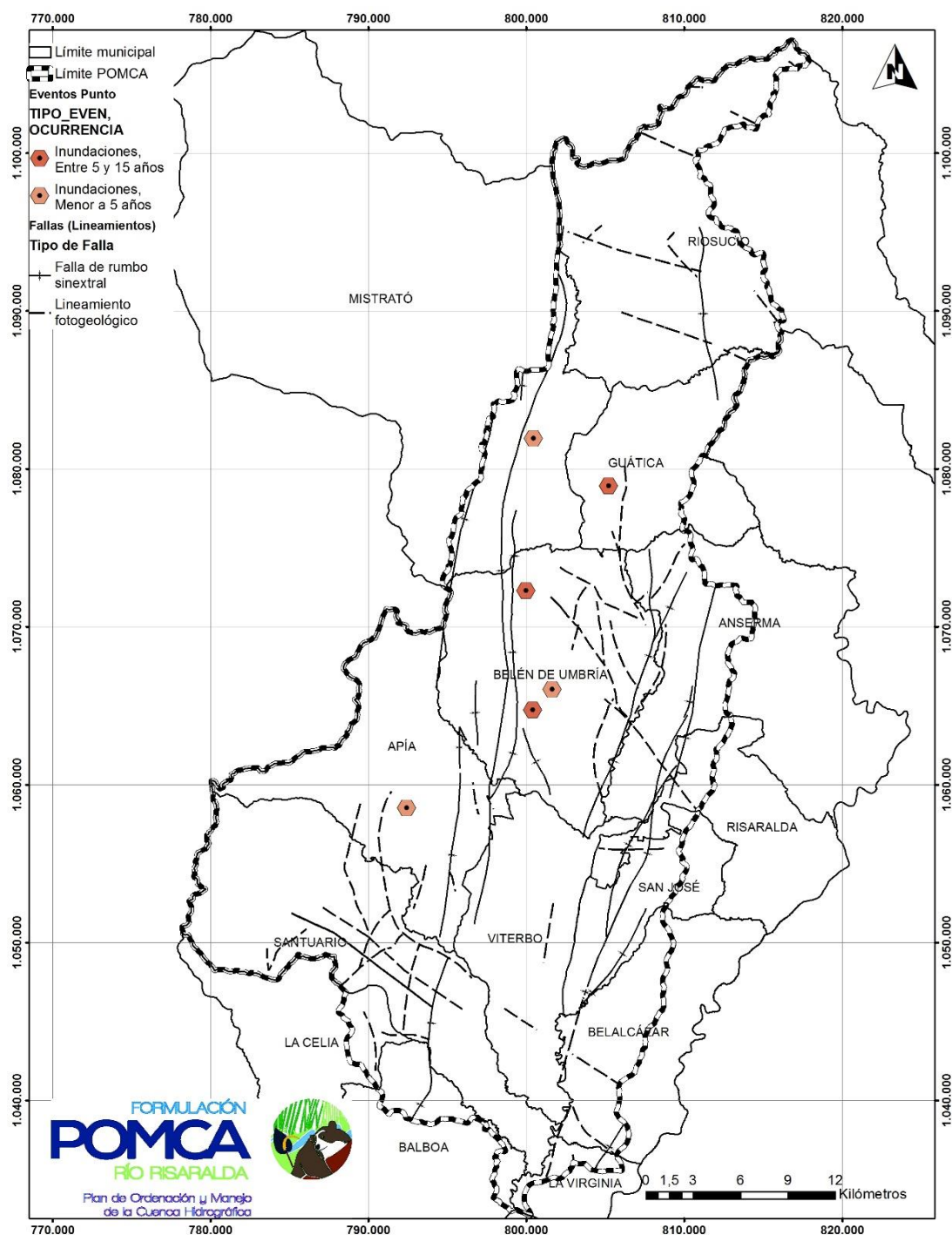


Figura 58 Eventos históricos asociados a inundaciones para la cuenca del Río Risaralda.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

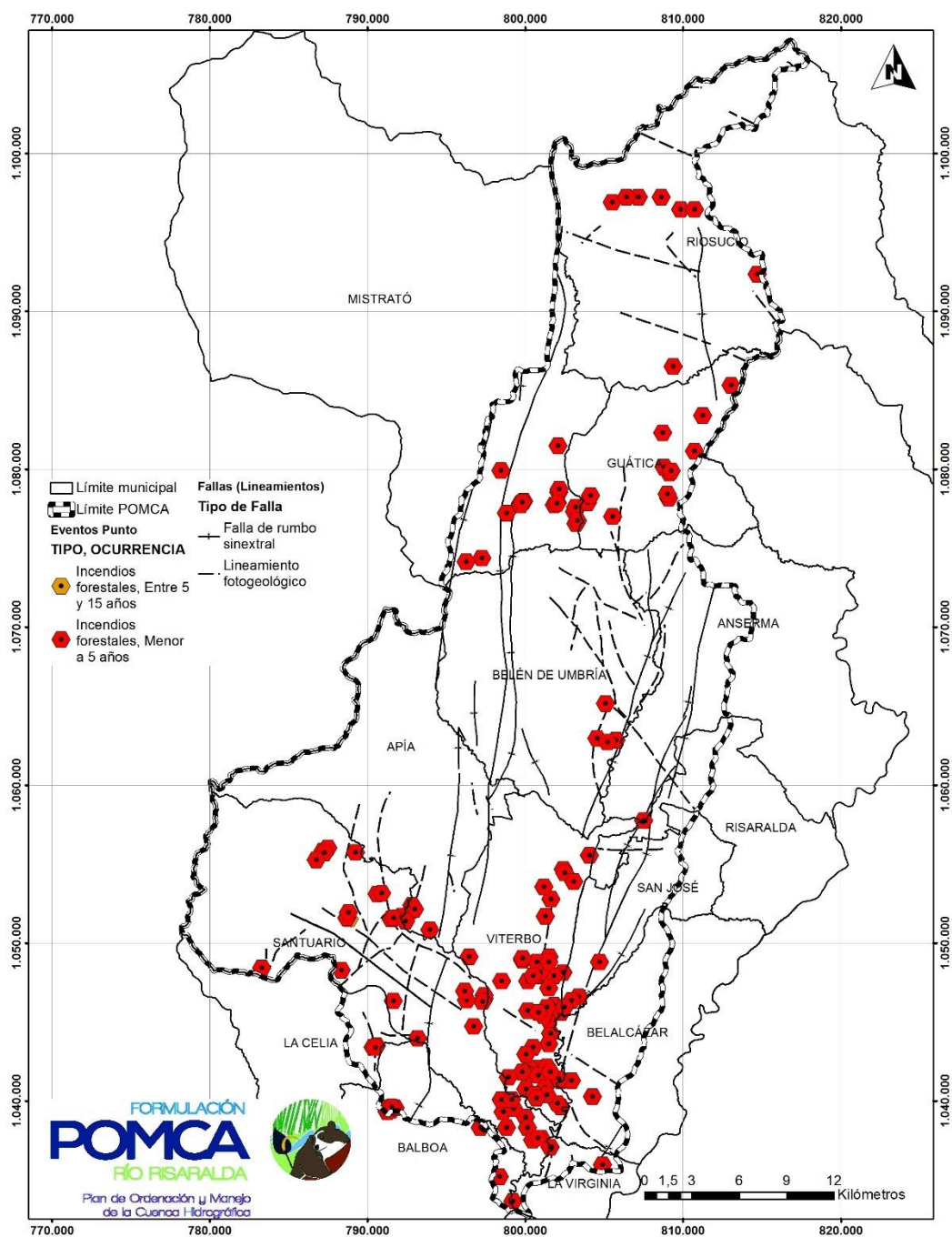


Figura 59 Eventos históricos asociados a incendios forestales para la cuenca del Río Risaralda.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.3.1. Densidad de eventos espacio – temporal.

A partir del inventario de eventos históricos ocurridos en la cuenca del Río Risaralda, discriminados según la base de datos depurada y complementada a partir de otras fuentes de información, se estimó la densidad de eventos en el marco de las escalas espacial y temporal.

Con base en los eventos de deslizamiento, avenidas torrenciales e inundación se corrigieron problemas de localización de las fases anteriores para dar lugar a salidas cartográficas que permitieran definir y delimitar la incidencia espacio – temporal de eventos de alto significado en cuanto a afectación en la cuenca del Río Risaralda, y que incluyeran eventos recientes y afectaciones históricas.

Conforme a la distribución de eventos, expresados como puntos se seleccionaron 3 períodos de referencia para discriminación de recurrencias, basados tanto en la disponibilidad de información como de discriminación de proporcionalidad en el establecimiento de rangos, que correspondieron a los siguientes:

- 0 – 15 años (2000 – 2015)
- 15 – 50 años (1950 - 2000)
- > 50 años (1900 – 1950)

De igual forma, se establecieron de densidades por km² para cada uno de los rangos anteriores, así:

- 0.0 – 0.3 eventos / km²
- 0.3 – 1.0 eventos / km²
- >1 evento/km²

Las densidades se calcularon mediante la función kernel, estableciéndose valores por unidad de área, para el caso por km², para los puntos representativos de eventos, de tal forma que se calcula la densidad de puntos para cada celda de salida, a través de un análisis de vecindad para un radio definido, que posteriormente el mapa raster obtenido, es reclasificado y polinizado para su edición final.

Se discriminó cada rango para eventos de deslizamiento e inundaciones, para un total de 3 subproductos de densidad intermedios, correspondientes a cada uno de los rangos referidos, y otorgar una recategorización final, con la asignación de colores, donde se establecieron los siguientes niveles:

- **Rojo:** Eventos más recurrentes y con mayor densidad espacial por km² durante los últimos quince años. En algunos casos se presenta repetitividad de eventos para los demás periodos en consideración.
- **Naranja:** Hasta un evento en los últimos quince años o los ocurridos en un período de tiempo comprendido entre los 15 a 30 años.
- **Amarillo:** Para los eventos pasados que no manifiestan reincidencia durante periodos posteriores, es decir, para los ocurridos por encima de los 30 años.

Es preciso destacar que la ocurrencia de fenómenos reportados no supera el periodo de 50 años, por lo tanto, se optó por incluir el máximo rango el periodo de 30 años para el presente análisis para poder obtener una mejor discriminación de los datos obtenidos.

Resalta que la frecuencia espacial de eventos para los diferentes periodos en consideración, no guarda necesariamente una proporcionalidad al pasar de un rango a otro, y los valores máximos para el periodo más no muestran un incremento que sugieren deficiencias en la disponibilidad de información, que deberá considerarse en futuras investigaciones sobre eventos históricos de desastre, dentro de las diversas escalas de análisis en referencia a unidades geográficas.

Tabla 29. Frecuencia máxima de eventos por unidad de área (km²) para los diferentes periodos de referencia.

Eventos	1900 - 1950	1950 – 2000	2000 - 2014
Deslizamiento	19,00	22,63	8,85
Inundación	12,37	9,83	10,9

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Es evidente la asociación de eventos históricos de desastre sobre el sector sur-occidental de la cuenca, en relación las condiciones geomorfológicas y la concentración de cabeceras urbanas y centros poblados, y en relación con las actividades agropecuarias.

En la Tabla 30 se remite el consolidado de eventos según el registro Desinventar.

Tabla 30 Consolidado registro Desinventar para el departamento de Risaralda y municipios circunscritos en la cuenca hidrográfica del río Risaralda

Municipio	Número de fichas	Muertos	Desaparecidos	Afectados	Reubicados	Viviendas afectadas	Evacuados	Damnificados	Viviendas destruidas
Pereira	6188	410	30	49752	76	15909	3432	17656	988
Apia	452	14	0	342	27	433	17	66	12
Balboa	420	6	2	238	0	380	74	209	45
Belén de U	452	7	0	346	0	323	77	191	24
Dosquebra	3397	238	35	11447	95	4362	990	17044	448
Guática	305	6	0	1172	0	300	54	69	43
La Celia	448	1	2	949	0	574	20	50	20
La Virginia	576	16	0	8785	6	978	1617	18682	45
Marsella	646	27	0	233	10	438	43	324	22
Mistrató	312	64	4	266	113	212	157	280	31
Pueblo Rico	125	2	1	570	0	404	37	0	12
Quinchía	214	75	16	154	4	220	173	140	38
Santa Rosa	3529	137	72	781	520	2369	432	7315	814
Santuario	237	7	0	105	10	169	19	61	23
Totales	17301	1010	162	75140	861	27071	7142	62087	2565

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Basado en lo anteriormente expuesto y con el fin de efectuar un análisis apropiado para la evaluación de susceptibilidad y riesgo, se procedió a la depuración de los eventos inicialmente recopilados excluyendo los de áreas urbanas y otros que no permitieron su correcta especialización, los cuales fueron incluidos en la base de datos anexa para un total de 895 eventos en la cuenca para el análisis.

En dicha base de datos se consignan los eventos aportados por CARDER, CORPOCALDAS, Desinventar, y por el Consorcio.

Mediante la función Kernel Density en Argis 10, se procedió a efectuar el análisis la densidad de eventos, el cual calcula la magnitud por unidad de área de cada punto evaluado, obteniendo sectores de afectaciones para cada punto en diversos contornos o colores el cual representa los sitios de mayor densidad de afectaciones por los eventos ocurridos como un aproximación inicial de los sitios con mayores afectaciones como se detalla en las siguientes figuras, donde los colores rojos manifiestan las mayores concentraciones de eventos ocurridos seguidos de los colores amarillos a verdes.

En el anexo 1 se remiten las salidas cartográficas de los eventos históricos ocurridos por fenómeno (inundaciones, movimientos en masa e incendios) ver Figura 60, Figura 61, Figura 62.

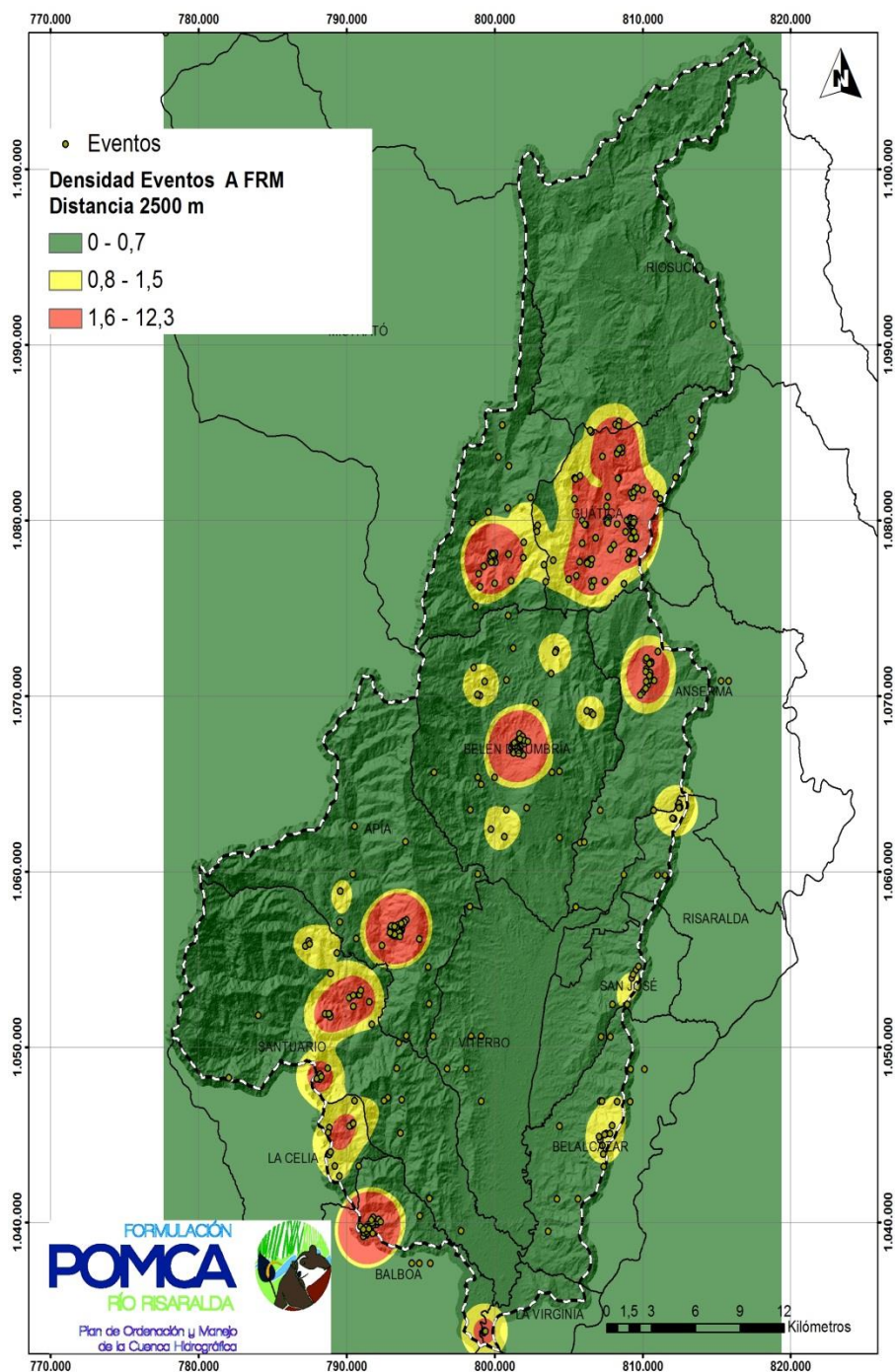


Figura 60 Densidad de eventos deslizamiento por unidad de área (km²) para la cuenca del Río Risaralda.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

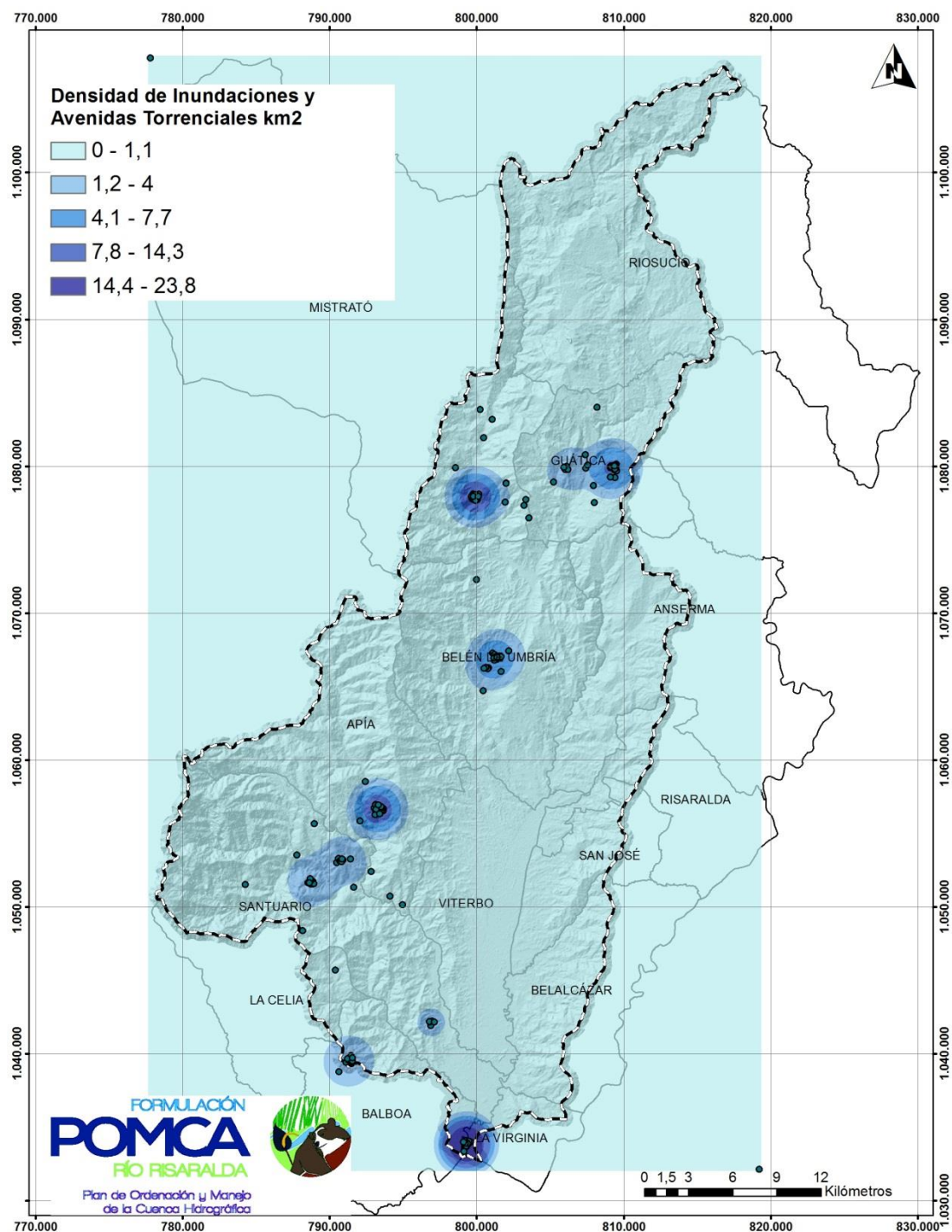


Figura 61 Densidad de eventos de inundación por unidad de área (km²) para la cuenca del Río Risaralda

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

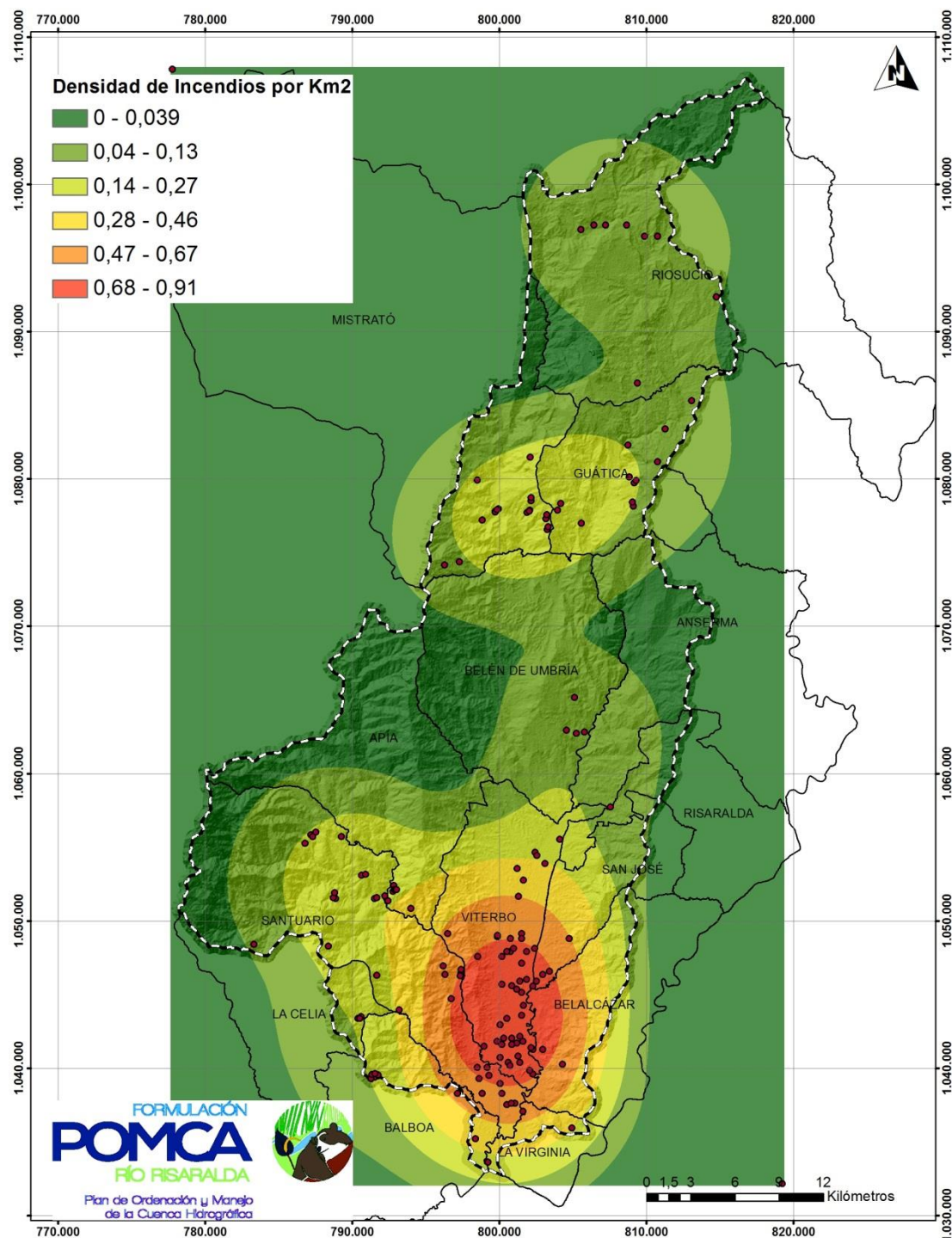


Figura 62 Densidad de eventos de incendios por unidad de área (km²) para la cuenca del Río Risaralda

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4. Análisis de la susceptibilidad.

4.4.1. Introducción

Los análisis de susceptibilidad permiten establecer áreas críticas o que presenten algún grado susceptibilidad a la ocurrencia de un evento determinado. El análisis permite sectorizar áreas que posteriormente deben ser abordadas mediante estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, que permitirán incorporar acciones para un correcto ordenamiento del territorio bajo las potenciales restricciones relacionadas con los riesgos evaluados.

En el presente capítulo se remiten los análisis de susceptibilidad ante los diversos eventos evaluados (movimientos en masa, incendios forestales e inundaciones) según la metodología particular para cada evaluación.

4.4.1.1. Resumen general.

Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio está cualificada como Media, la cual ocupa 22924,25ha y que representan el 40,33% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las zonas cualificadas como Muy Baja, que ocupan 4115,39ha que representan el 7,24% del territorio. Es de anotar que luego de las ponderaciones, no se encuentran zonas cualificadas como Baja sobre el territorio de la cuenca.

La susceptibilidad a movimientos en masa está condicionada principalmente por las variables que representan las características geométricas de la ladera, principalmente la pendiente media de la ladera y la curvatura del terreno con respecto al plano horizontal. Respecto a las variables de función de proximidad, la cercanía a vías, fallas y drenajes cuentan con una calificación equivalente y adecuada aunque no muy relevante en función del peso ponderado para el modelo de susceptibilidad, por esto se tiene una zonificación alta en sectores de la parte alta de la cuenca hidrográfica principalmente en los municipios de Santuario, Apía y Belén de Umbría que coincide con la mayor concentración de eventos inestables en la cuenca (aproximadamente 11% de la Cuenca). Por otra parte sectores aledaños a los municipios de Belalcázar, Viterbo, San José y Riosucio alcanzan una susceptibilidad baja principalmente por las condiciones geométricas de la ladera y la cercanía al valle del río Risaralda (aproximadamente un 39% de la cuenca). Para el resto de la cuenca se estima una susceptibilidad media (aproximadamente el 50%). En la cuenca se observa una gran tendencia a susceptibilidad media, exceptuando en el límite oeste de la misma.

Para la cuenca hidrográfica del río Risaralda, la zonificación de la susceptibilidad ante inundaciones se encuentran en la parte baja de la cuenca sobre los afluentes del Río Risaralda, Río Mapa y Río Totuí, que confluyen hacia el municipio de la Virginia Risaralda, presentando niveles bajos y medios de amenaza con porcentajes de 3% y 2%, respectivamente, mostrando una amenaza alta de 12% esto sobre el río Mapa y Totuí principalmente sobre el municipio de Santuario (Risaralda), donde se muestra la mayor extensión de las manchas de inundación analizadas.

Para la zonificación de la susceptibilidad ante avenidas torrenciales, después de haber realizado el análisis de índice de vulnerabilidad ante avenidas torrenciales (IVET), se puede concluir que el IMT osciló entre 2 y 3, es decir entre alto y medio y el IV fue muy alto para todas las unidades hidrográficas de análisis localizadas sobre toda la cuenca, por lo que el IVET dio como resultado vulnerabilidad entre Alta y Muy Alta frente a eventos torrenciales.

4.4.2. Inundaciones.

La cuenca hidrográfica del río Risaralda se desarrolla en el flanco occidental de la cordillera Central, entre las coordenadas 777,000W y 817,000W, y las coordenadas 1'034,000N y 1'105,000N, en los departamentos de Caldas y Risaralda, donde el 60 % corresponde al Departamento de Risaralda y el 40% al de Caldas; tiene un área de drenaje de 1470 km², hasta su desembocadura en el Río Cauca, y se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental.

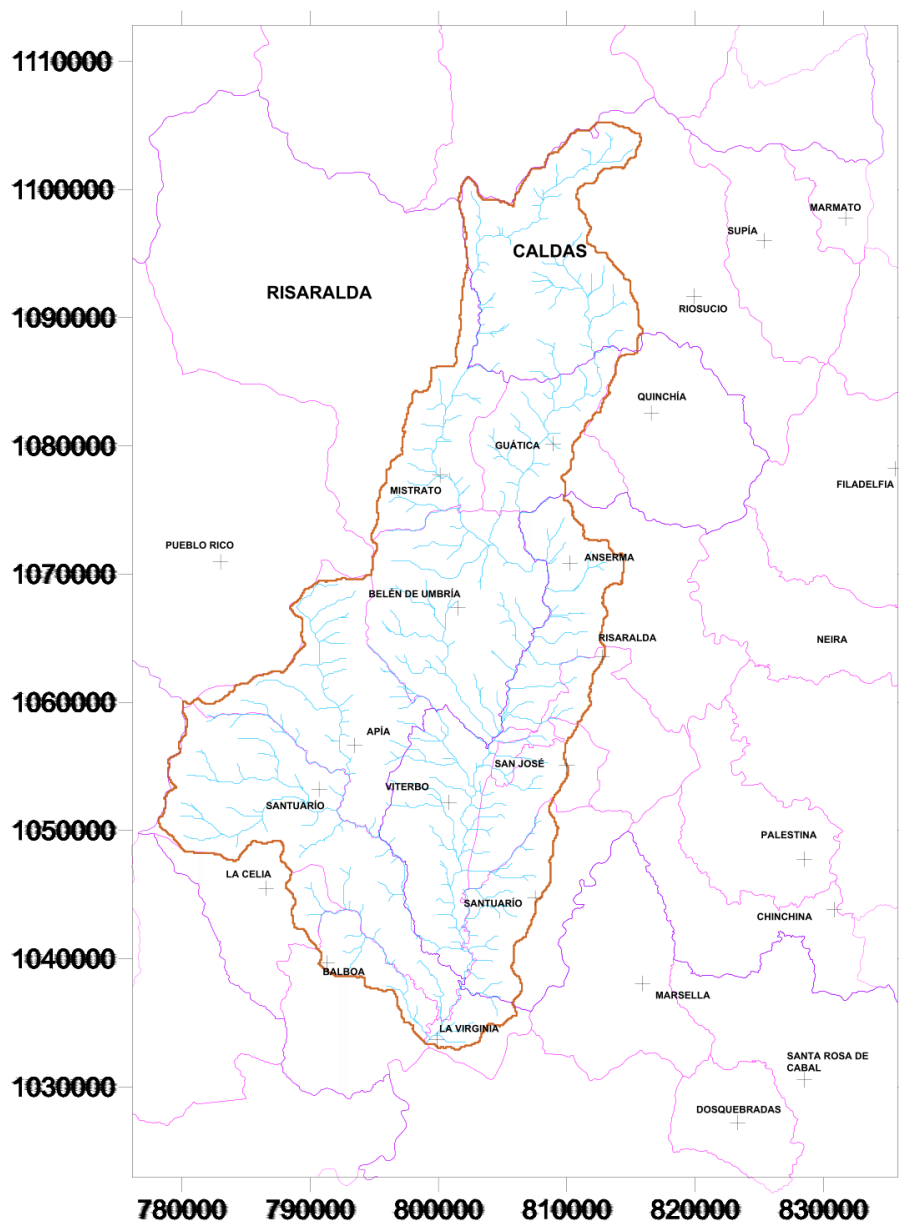


Figura 63. Aspectos Generales de la Cuenca
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Las máximas elevaciones alcanzan alturas de 1.400 m.s.n.m. y en general se presenta un clima seco ecuatorial de tierras bajas, con temperaturas que oscilan entre los 15°C y 22°C, con dos períodos de lluvias al año: Abril-Mayo y Octubre-Noviembre, y un promedio de precipitaciones estimado en los 2.000 mm por año.

De acuerdo a la situación regional en Colombia y sus condiciones climáticas y topográficas, el valle del río Risaralda se puede considerar como un apéndice geográfico del valle del río Cauca. Comprende parte de los municipios de Belén de Umbría, Viterbo, Santuario y Balboa por la margen derecha del río Risaralda, y de los municipios de Risaralda, Belalcázar y la Virginia por la margen izquierda.

4.4.2.1. Resumen.

Para la cuenca hidrográfica del río Risaralda, la zonificación de la susceptibilidad ante inundaciones se encuentran en la parte baja de la cuenca sobre los afluentes del Río Risaralda, Río Mapa y Río Totuí, que confluyen hacia el municipio de la Virginia Risaralda, presentando niveles bajos y medios de amenaza con porcentajes de 3% y 2%, respectivamente, mostrando una amenaza alta de 12% esto sobre el río Mapa y Totuí principalmente sobre el municipio de Santuario (Risaralda), donde se muestra la mayor extensión de las manchas de inundación analizadas.

4.4.2.2. Geomorfología

El valle del río Risaralda está conformado por dos regiones topográficas: La parte plana que corresponde a los valles propiamente dichos, y la parte montañosa que está constituida por dos ramales de la cordillera occidental que se desprenden aproximadamente a la altura del municipio de Anserma y van más o menos paralelas al río Risaralda rodeando el valle hasta morir en la ribera izquierda del río Cauca.

- **Zona Plana:** Predominan las pendientes de 0-1% y 1-3% pero también hay pendientes de 3 a 7% que corresponden a las terrazas más altas y limitan con las estribaciones de las lomas adyacentes. Las terrazas se pueden clasificar en la zona de la siguiente forma, de más joven a más antigua.

- **Terraza Baja, (plano de inundación Qal):** está situada en los márgenes del río y está constituida por los aluviones recientes, y sujeta a inundaciones periódicas.

- **Terraza Intermedia, (Qt2):** Ocurre inmediatamente después de la baja, tiene los mejores suelos, debido a su posición, a las características físicas y a sus condiciones de drenaje.

- **Terraza alta, (Qt1):** Esta colindando con las zonas montañosas adyacentes, es un plano inclinado de anchura y longitud variable, con suelos espesos y con un drenaje interno lento, no sufren inundaciones periódicas ni encharcamiento debido a su posición y a su relieve. Hacia el sur del valle esta sucesión de terrazas no es

tan característica ya que la terraza alta desaparece y la intermedia llega hasta las estribaciones de las lomas.

Conviene resaltar que en el sector SW, entre el río Cauca, la cordillera y la desembocadura del río Risaralda, existe una zona más baja con depresiones inundables en una extensión considerable, creando un problema, particularmente en las haciendas San Francisco y Bohíos.

• **Zona Montañosa:** De la parte montañosa occidental se prolongan dos pequeños ramales que se internan en el valle : el primero de ellos se observa más o menos paralelo al río Mapa y lo limita por su margen izquierda, con pendientes moderadas, terminando cerca de su desembocadura en el río Risaralda; el segundo se encuentra un poco más al sur, tiene pendientes suaves con elevaciones menores, y está constituido por una cadena de pequeños montes testigos que va a morir cerca de la antigua confluencia del río Risaralda con la Quebrada Totuú, al norte de la Virginia; en esta zona se encuentran sectores con pendientes de 12 a 25%; 25 a 50%, 50 a 75% y más de 75%; en las lomas del costado occidental suelen encontrarse terrazas de extensiones variables con pendientes suaves, entre 3 y 12 %.

Tabla 31 Análisis geomorfológico para el Departamento de Caldas en relación a las áreas inundables.

DEPTO	MUNICIPIO	SUBUNIDAD	HECTAREAS	PORCENTAJE
Caldas	ANSERMA	Conos	8,38	0,11%
		Ladera denudada	42,54	0,55%
		Llanuras	89,15	1,15%
	BELALCÁZAR	Ladera denudada	1,47	0,02%
		Llanuras	306,67	3,97%
		Terrazas fluviales	42,12	0,55%
	RIOSUCIO	Deslizamientos	1,30	0,02%
		Ladera denudada	42,65	0,55%
	RISARALDA	Conos	11,49	0,15%
		Llanuras	45,84	0,59%
	SAN JOSÉ	Conos	23,45	0,30%
		Llanuras	134,03	1,74%
		Terrazas fluviales	5,45	0,07%
	VITERBO	Conos	403,30	5,22%
		Ladera denudada	22,03	0,29%
		Llanuras	3511,69	45,48%
		Terrazas fluviales	302,85	3,92%
Total Caldas			4994,42	64,69%

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 32 Análisis geomorfológico para el Departamento de Risaralda en relación a las áreas inundables.

DEPTO	MUNICIPIO	SUBUNIDAD	HECTAREAS	PORCENTAJE
Risaralda	APÍA	Cornisas Estructurales	0,81	0,01%
		Deslizamientos	0,41	0,01%
		Ladera denudada	7,14	0,09%
		Planos de explanación	9,27	0,12%
	BALBOA	Ladera denudada	0,06	0,00%
		Llanuras	381,30	4,94%
		Terrazas fluviales	33,35	0,43%
	BELÉN DE UMBRÍA	Conos	196,62	2,55%
		Ladera denudada	87,12	1,13%
		Llanuras	250,92	3,25%
		Terrazas fluviales	2,14	0,03%
	GUÁTICA	Ladera denudada	0,07	0,00%
	LA VIRGINIA	Llanuras	285,98	3,70%
		Terrazas fluviales	15,70	0,20%
	MISTRATÓ	Deslizamientos	5,59	0,07%
		Flancos de Cantera	3,93	0,05%
		Ladera denudada	70,29	0,91%
		Llanuras	66,66	0,86%
	SANTUARIO	Cornisas Estructurales	1,53	0,02%
		Deslizamientos	1,53	0,02%
		Ladera denudada	11,55	0,15%
		Llanuras	1249,61	16,18%
		Planos de explanación	4,47	0,06%
		Terrazas fluviales	40,69	0,53%
Total Risaralda			2726,69	35,31%

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tras hacer el análisis geomorfológico con respecto a las zonas inundable para la cuenca, esta cubre 7721.11 Ha del área total de la cuenca representados en 6.14%, las zonas con alta susceptibilidad está asociada a zonas de llanuras aluviales con extensiones laterales desde 2m hasta 7m hacia la parte baja de la cuenca, las zonas de susceptibilidad media, están asociadas a terrazas aluviales más recientes con espesores de 1 m sobre el nivel del rio y extensiones laterales de hasta 10 m, para las zonas de susceptibilidad baja son terrazas aluviales, más antiguas y zonas de alta y media montaña tipo laderas denudadas donde el rio presenta mayor estrechamiento del valle. Esto también relacionado a la influencia de actividad

antrópica, influenciando estas directamente sobre avenidas torrenciales e inundaciones en las partes más bajas por recarga de material.

4.4.2.3. Hidrografía.

La red hidrográfica de importancia corresponde al río Risaralda y sus afluentes, dentro de los cuales se encuentra el río Mapa que corta el área en dirección SE - N, y atraviesa la parte oriental del valle, siendo un río consecuente que hoy está rejuvenecido excavando los depósitos aluviales antiguamente depositados a manera de terrazas.

El patrón de drenaje es de enrejado rectangular, unido a un relieve suave en la parte sur del área, donde afloran rocas ígneas volcánicas que conforman un relieve fuerte. La posición de la corriente en el río está influenciada por diferencias en la resistencia de los depósitos que conforman su lecho. Otro patrón de drenaje dominante en el área de estudio es sub-rectangular a sub-angular formado en diferentes partes y casi siempre relacionados con las rocas sedimentarias terciarias las cuales presentan formas suaves y redondeadas del relieve.

4.4.2.4. Perfil de equilibrio de los ríos.

El concepto de equilibrio de un río está íntimamente ligado al estado de desarrollo morfológico de la cuenca hidrográfica y del paisaje. Mackin definió con precisión este concepto así:

“Un cauce en equilibrio es aquel en el cual, durante un periodo largo de años, la pendiente se ha ajustado delicadamente para proveer a cada descarga dada, exactamente la velocidad necesaria para transportar la totalidad de la carga de sedimentos aportada por la cuenca”.

Un aspecto importante de esta definición, es que el equilibrio natural de un río no es necesariamente una condición estática, (no socavación- no depositación), sino un estado dinámico dentro de los ciclos hidrológico y geomorfológico de la cuenca.

Numerosas teorías se han escrito para calcular el perfil de equilibrio de un río, de forma que sea posible comparar el estado actual del mismo con su estado final, probable, de desarrollo morfológico. En general, se considera que los perfiles de equilibrio deben ser de tipo logarítmico, parabólico o hiperbólico, de acuerdo con cada teoría, y se supone que es posible determinar los parámetros matemáticos de estos perfiles, asociándolos al perfil de ríos que se encuentren en equilibrio aparente. Estos perfiles son usualmente tan difíciles de obtener, como difícil resulta la selección de un tramo de río verdaderamente en equilibrio.

En 1971, Yang¹, desarrollo una teoría general sobre la morfología fluvial, que arroja luz sobre problemas tan complejos como el origen de los meandros, y que en particular permite el cálculo directo de perfiles de equilibrio de tipo exponencial. La teoría se basa en dos postulados que se demuestran matemáticamente por analogía entre la entropía de un sistema de drenaje fluvial, y la de un sistema termodinámico. En dicha analogía, la energía potencial del agua en el sistema de drenaje corresponde a la energía térmica, mientras que la elevación, a lo largo del perfil del río, corresponde con la temperatura absoluta des sistema termodinámico.

Según Yang, en condiciones de equilibrio dinámico, la caída promedio entre dos corrientes de orden consecutivo diferente es constante; además, durante su evolución hacia el equilibrio, un río construye su cauce de modo que minimice la tasa temporal de gasto de energía potencial por unidad de masa del agua. El valor mínimo, está sujeto a las restricciones externas, como la estructura geológica, la carga sedimentológica, y otras.

El cálculo de los perfiles de equilibrio requiere una descripción matemática previa del sistema de drenaje, que Yang obtiene de las “leyes de Horton”², que se expresan de acuerdo con el ordenamiento topológico de Strahler, adoptado por Horton, por las ecuaciones (1) a (4):

$$\ln Nu = A - B \cdot u \quad (1)$$

$$\ln Lu = C - D \cdot u \quad (2)$$

$$\ln Su = E - F \cdot u \quad (3)$$

$$\ln Au = M - N \cdot u \quad (4)$$

Nu el número de corrientes de orden **u**, **Lu** su longitud, **Su** pendiente y **Au** su área de drenaje. Si la cuenca es “Hortoniana”, la relación de estos parámetros, individualmente con **u**, da líneas rectas en papel semilogaritmico. A, B, C, D, E, F, M, N son constantes que se obtienen de esas relaciones.

De las ecuaciones para **Lu** y **Su**, se puede deducir el perfil promedio de los ríos de la cuenca, cuyo orden es el del mayor valor obtenido de **u**. Yang llama a este perfil, el perfil “Teórico” de la cuenca Hortoniana, el cual implica que la caída promedio de todas las corrientes de orden **u** es:

$$yu = e^{(C+E)-(D+F) \cdot u} \quad (5)$$

¹ Yang, C.T. “Potential Energy and Stream Morphology”. Water Resources Research 7, Vol. 2, April, 1971.

² Horton, R.E. “Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrological approach to quantitative morphology”. Bulletin of the Geological Society of América, 56, pp. 275-370, 1945.

Y que, la caída total desde el principio de la corriente de orden 1, hasta la corriente de orden m , es:

$$Z_m = \sum_1^m y_u = e^{(C+E)} \cdot \sum_1^m e^{-(D+F)} \quad (6)$$

Igualmente, la abscisa total del orden 1 al m será:

$$X_m = \sum_1^m Lu = e^C \cdot \sum_1^m e^{-u \cdot D} \quad (7)$$

Las ecuaciones (6) y (7) definen el perfil teórico del río y también el perfil promedio de todo el sistema de drenaje de la cuenca, siempre que éste pueda representarse por las ecuaciones de Horton-Strahler. Si además de esto se cumplen también los postulados de yang, al alcanzar el sistema su estado de equilibrio, se debe obtener también que:

$$\frac{y_u}{y_{u+1}} = e^D \cdot e^F = 1 \quad (8)$$

Con lo cual la ecuación (5) se convierte en:

$$y'_u = e^{C+E} \quad (9)$$

Y la ecuación (6) se transforma en

$$Z'_m = m \cdot e^{(C+E)} \quad (10)$$

Las ecuaciones (7) y (10) definen entonces el perfil de equilibrio del sistema de drenaje. La diferencia entre este perfil y el perfil teórico es una medida de la madurez o del estado de desarrollo morfodinámico del sistema de drenaje, mientras que la diferencia entre el perfil real y el teórico revela la existencia de restricciones geológicas locales o de eventos geológicos pasados.

4.4.2.5. Ordenamiento del sistema de drenaje.

La caracterización del sistema de drenaje parte de su ordenamiento mediante la metodología de Strahler, (Ref tt), Plano xx, en la cual la cuenca del río Risaralda, (escala 1:50,000) presenta un orden 6, al final de su recorrido en el río Cauca. Sus afluentes principales, como los ríos Guática, Mapa, Totuí, Guarne y Chapata tienen orden 5; en total se contabilizaron 1067 afluentes de orden 1, 252 de orden 2, 50 de orden 3 y 25 de orden 4, y dos de orden 5; el orden 6 solo se obtiene a partir de la

confluencia del río Mapa. Aproximadamente en el Km 45 del río Risaralda, de acuerdo con el perfil que se presenta en la figura 6.

Los gráficos de las figuras 61 a 62 indican las relaciones de Strahler, que categorizan la cuenca del río Risaralda como una cuenca Hortoniana, (Ref mm), permitiendo teorizar los perfiles teóricos y de equilibrio de la cuenca de acuerdo con la metodología de Yang.

La tabla 33 muestra el ordenamiento del sistema de drenaje desde el punto de vista de longitud de los afluentes, pendiente de los mismos, de área de las cuencas de cada orden, etc.

Tabla 33 Ordenamiento de Strahler para el sistema de drenaje del río Risaralda

ORDEN	No. de ríos	Longitud (m)	Pendiente (%)	Área (Km ²)
1	1067	2950	37-5	1,42
2	252	5615	27.9	10,84
3	50	10102	13-9	30,77
4	9	19500	7.25	88,56
5	2	36,000	4	591,36
6	1	10,500	0,36	1256,00

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 64 Tendencia del número de orden de los ríos

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 65 Numero de orden y longitud promedio de los drenajes
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

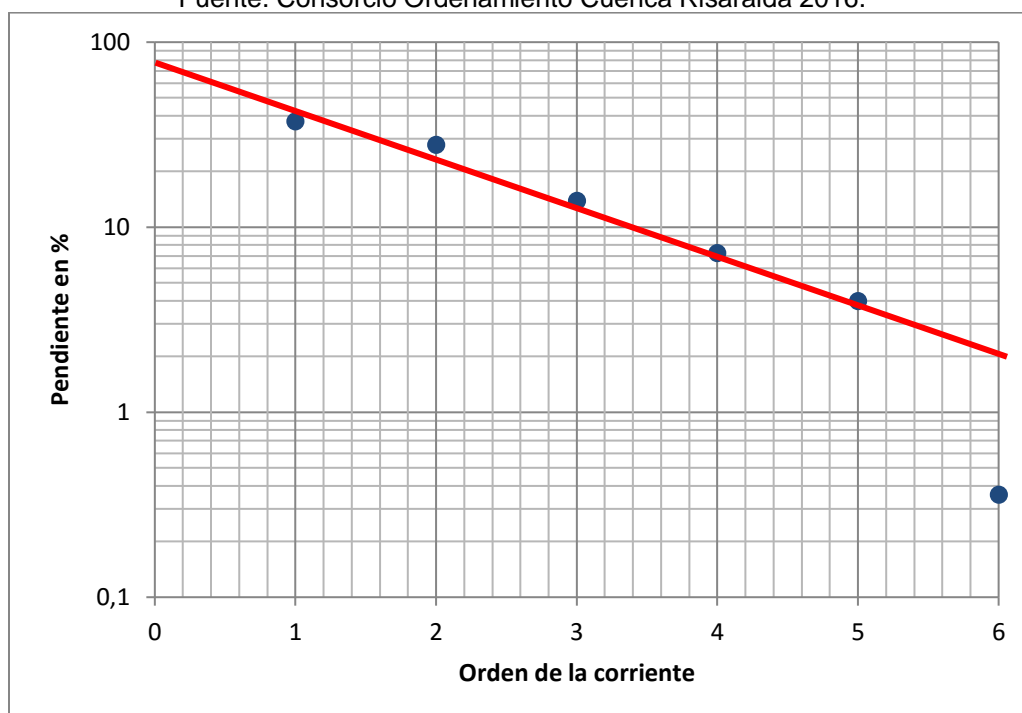


Figura 66 Gráfico de Strahler para la pendiente de los ríos en el sistema de drenaje.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

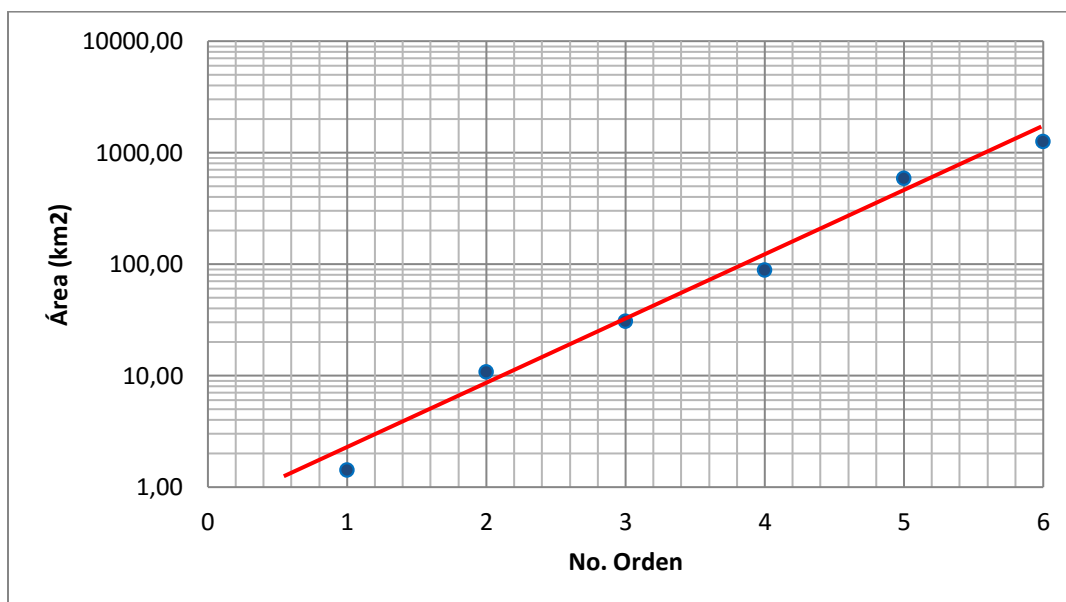


Figura 67 Gráfico de Strahler para el área de la cuenca de los ríos en el sistema de drenaje
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Los gráficos sugieren que la cuenca es Hortoniana hasta el orden 6 en términos de Áreas, pero no así particularmente en términos de longitudes de ríos, donde hay un desfase solo en el orden 6, en la zona más plana, cerca de la unión con el río Cauca; un desfase más pequeño ocurre en número de ríos.

Este tipo de ordenamiento permite caracterizar el sistema de drenaje desde varios puntos de vista así:

1. La cuenca hidrográfica presenta un sistema de drenaje de tipo Hortoniano.
2. Los parámetros principales cumplen relaciones de Horton así:
 - Número de afluentes de cada orden: $\ln Nu = 8,460 - 1,540 \cdot u$
 - Longitud de cada orden: $\ln Lu = 7,390 + 0,620 \cdot u$
 - Pendiente de cada orden: $\ln Su = 4,430 - 0,690 \cdot u$
 - Área de cuenca en cada orden: $\ln Au = -0,710 + 1,360 \cdot u$
3. Las anteriores permiten dibujar el perfil teórico y el perfil de equilibrio del sistema de drenaje según Yang:

$$Xm = e^{7.39} \cdot \sum_{1}^m e^{0.62 \cdot u}$$

$$Zm = e^{11.82} \cdot \sum_{1}^m e^{-0.07}$$

$$Z'm = m \cdot e^{11.82}$$

4.4.2.6. Condiciones morfodinámicos.

La Figura 68, muestra los perfiles teóricos y de equilibrio de la cuenca; estos se pueden comparar con los perfiles reales de los afluentes principales y del propio río Risaralda, para sacar conclusiones sobre su estado de desarrollo morfodinámicos.

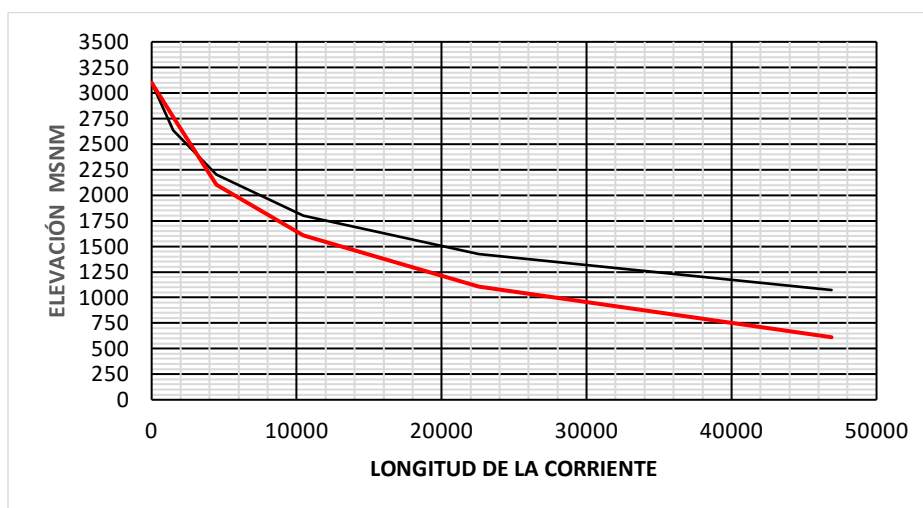


Figura 68 Perfiles teórico, (negro) y de equilibrio, (rojo), en la cuenca del Río Risaralda.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En general los perfiles de la cuenca muestran procesos de erosión del cauce bastante pronunciados en la parte alta, en los órdenes 1 y 2, pero no tanto así en los órdenes 3, a 6, donde el nivel teórico o promedio se encuentra aún por encima del nivel de equilibrio y en proceso de alcanzarlo por erosión del cauce.

Rio Risaralda.

El río Risaralda es un cauce torrencial de montaña a lo largo de la parte alta de su recorrido, desde su nacimiento, hasta la unión de la quebrada Papayal; en su último trayecto, hasta su desembocadura en el río Cauca, la pendiente es del orden de 0.36%, y el comportamiento del río sigue siendo torrencial, con números de Froude del orden de 0.5 a 0,6 para caudales menores, y números de Froude entre 1 y 2 para caudales mayores.

Desde el punto de vista geológico-geomorfológico, los ríos presentan características diferentes a lo largo de su recorrido, iniciándose como cauces de montaña, con altas pendientes y cauces encajonados, donde la capacidad de transporte supera siempre a la tasa de abastecimiento de la cuenca, en lo que se acostumbra llamar desde el punto de vista de “Estado”, su sector juvenil; a continuación viene la zona de piedemonte, donde se presenta una transición en la pendiente, disminuyendo, hasta llegar al valle fluvial, donde el cauce se considera en estado de madurez.

La zona de transición del piedemonte generalmente es una zona de abanicos aluviales, que se considera aun como parte del trayecto juvenil, por su gran variabilidad, aunque es una zona de neta depositación, donde prima la producción de sedimentos sobre la capacidad de transporte de los cauces; es un trayecto de cauces trenzados con un sistema de drenaje típicamente distributivo, que puede generar varios alineamientos diferentes de naturaleza alternante, hasta llegar al valle aluvial donde se alcanza la “madurez”, con cauces meandrinosos de baja velocidad, cuya capacidad de transporte es igual a la producción neta de sedimentos de la cuenca. Finalmente, ya llegando a la zona estuarina, cuando el río desemboca en el mar, se dice que los ríos adquieren su estado de “senectud”, en el cual los procesos son nuevamente de sedimentación, y donde las velocidades y la capacidad de transporte de los cauces son muy bajas.

El cauce del río Risaralda, en la parte alta, de comportamiento torrencial, muestra una conformación rugosa, de materiales gruesos en los rangos de gravas guijarros y grandes piedras, con escaso contenido de arenas a cauce de la intensidad de su transporte, que esencialmente lava esos materiales durante las avenidas y genera acorazamiento de los lechos con material grueso.



Figura 69 Cauce del Río Risaralda aguas arriba de Mistrató, cauce torrencial, sin contaminación.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Hidrológicamente, los cauces de montaña con altas pendientes en sus cauces y también en las vertientes y taludes, tienen tiempos de concentración muy cortos que generan avenidas súbitas y muchas veces, por la inestabilidad de los suelos bajo condiciones de humedad, flujos de lodo y fenómenos de avalancha de condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas críticas. Todas estas características se aprecian a lo largo del río Risaralda y la mayoría de afluentes.



Figura 70 Característica Torrencial del Río Mapa, afluente principal del Río Risaralda

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En las siguientes fotos tomadas desde el puente de La isla, sobre el río Risaralda, se aprecia aguas abajo el balneario del mismo nombre, al inicio del tramo de menor pendiente del Río.



Figura 71 Cauce del río Risaralda arriba del Puente de La Isla, nótese la cobertura vegetal de la cuenca alta.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 72 Cauce del río Risaralda abajo del Puente de La Isla, nótese la característica torrencial del sector.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

El perfil que se muestra en la siguiente figura, indica que existe un sector típicamente montañoso con pendientes que superan el 3%; una zona de transición con pendiente del 1%; y un sector bajo, relativamente plano, con pendiente del 0.36%, que aunque aun relativamente alta, genera todavía condiciones de flujo torrencial para todo el rango de caudales.

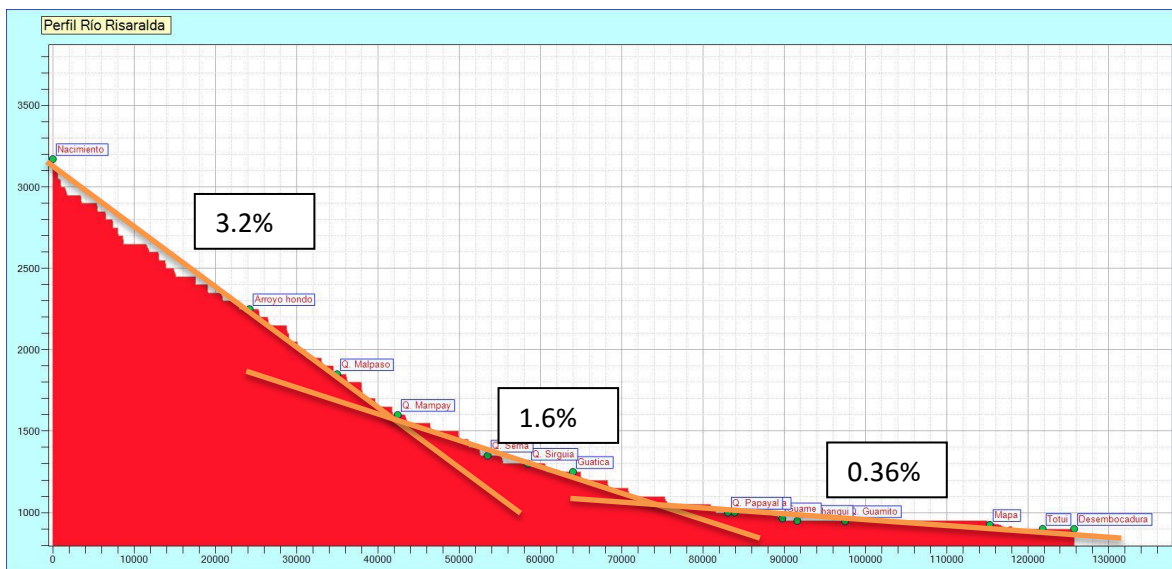


Figura 73 Perfil del Río Risaralda

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Aguas arriba de su desembocadura, el cauce es meandrinoso y se comporta como un río de llanura, disectando sobre depósitos de terraza formados por el mismo en tiempos antiguos lo cual se evidencia por la presencia de paleo cauces, y meandros abandonados.

El río Risaralda es estrecho aguas arriba del sector de La Isla, donde se comporta como cauce de montaña, y amplio desde éste punto hasta su desembocadura.

Tiene su origen en la cordillera occidental, cerca del municipio de Mistrató. Su caudal se aumenta por numerosas corrientes que tributan sus aguas y carga sólida desde las cabeceras hasta su desembocadura en el río Cauca. Presenta un valle aluvial relleno, con material grueso de grava y gravillas depositados por acciones denudacional y Tectónica que aportaron material de las partes altas.

En La Isla, el río deja de correr encañonado para empezar a formar su valle a través del cual toma un curso bastante sinuoso o meándrico tocando en ciertos puntos las estribaciones de las serranías que lo limitan por el oriente y occidente.

A partir del norte los tributarios más importantes del río por la margen derecha, son el río Guática, la quebrada Chapata, río Guarne, río Mapa y la quebrada Totuí. Los ríos Mapa y Guarne son los más caudalosos y en épocas de invierno aumentan el caudal del Risaralda.

Por la margen izquierda el río Risaralda recibe algunas quebradas de importancia entre las cuales se encuentran: Tamesí, Palogordo, Argelia, Golconda, Changuí,

Sirirí el Águila, el zancudo, la Calera, Génova y el Cairo. Debe hacerse notar que fuera de las corrientes ya citadas, tanto en una como en otra margen existen arroyos que en los períodos de lluvias, al descender al valle se distribuyen sin cauce definido en la parte plana, creando encharcamientos y zonas de humedales.

El río Mapa drena su propio valle y fluye en dirección NW a SE, presentado también un valle estrecho y profundo desde su nacimiento a la altura de Santuario-Apía, con una gran microcuenca de numerosos tributarios, aportando, al igual que el Risaralda, una gran cantidad de sedimentos gruesos, (por efecto de la actividad tectónica y denudacional), en proceso de explotación.

De acuerdo con la duración, las inundaciones pueden ser: súbitas o de tipo torrencial; lento o de tipo aluvial; y encharcamiento. Las inundaciones súbitas o de tipo torrencial suelen producirse en ríos de montaña o en corrientes cuyas áreas de drenaje presentan fuertes pendientes y suelen ser producidas por crecidas repentinas y de corta duración, (minutos a horas). Las inundaciones lentas o de tipo aluvial se producen por el desbordamiento del cauce anegando áreas planas aledañas al mismo y suelen ser originadas por lluvias progresivas y de larga duración, (horas a días, inclusive meses en algunas zonas del país).

Las inundaciones pluviales, o encharcamientos, se producen por: la acumulación de agua precipitada en una determinada superficie, (generalmente plana o cóncava), sin que esta provenga del desbordamiento del cauce; también pueden ser producidas por la incapacidad de los sistemas de alcantarillado o canales de desagüe en eventos de lluvia de gran magnitud o intensidad; otro tipo de inundaciones puede ser el producido por eventos extraordinarios como: terremotos, erupciones volcánicas, rotura de infraestructuras hidráulicas de almacenamiento, etc. El esquema indica el proceso de identificación de la susceptibilidad.



Figura 74 Diagrama para la definición de zonas críticas para evaluación de amenaza
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.2.7. Inundaciones fluviales lentas

De acuerdo con las actividades planteadas en los alcances técnicos se debe seguir el diagrama de flujo de la Figura 70, para la evaluación de la susceptibilidad; este esquema sirve igual, y será utilizado indistintamente para las inundaciones fluviales lentas y también para las súbitas o torrenciales. En la cuenca del río Risaralda, prácticamente todas las inundaciones ocurren en forma de avenidas torrenciales debido al alta pendiente del cauce principal y todos sus afluentes, cuyas pendientes superan siempre el 2%.

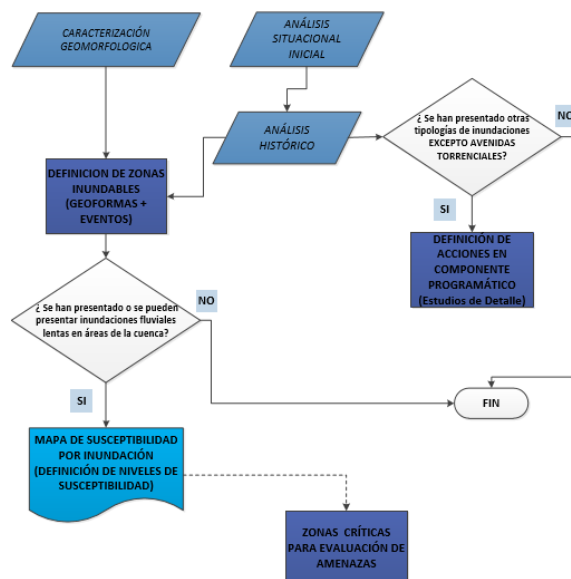


Figura 75 Diagrama de Flujo para la Evaluación de la Susceptibilidad por Inundaciones
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Cabe denotar que debido a las condiciones que tiene el territorio, con respecto al análisis del IVET y las condiciones que se encuentran en campo, no se presentan inundaciones fluviales lentas, como se plantea en la guía metodológica, por consiguiente, este análisis será realizado solo para condiciones de torrencialidad.

4.4.2.8. Unidades inundables

De acuerdo con los tres elementos utilizados: Plano geomorfológico, plano de pendientes y localización de eventos extremos, se ha constituido una salida cartográfica llamada plano de susceptibilidad a las inundaciones que indica tres categorías así:

- **Susceptibilidad Alta:** Geoformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trezado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.
- **Susceptibilidad Media:** Geoformas que denotan procesos intermitentes (ej. terrazas medias, meandros, entre otras), y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificada.
- **Susceptibilidad Baja:** Geoformas que denotan procesos antiguos (ej. terrazas altas).

La definición de **áreas críticas sujetas a evaluación de amenaza** se realiza considerando las categorías de susceptibilidad alta y media las cuales serán consideradas para eventos por avenidas torrenciales ya que no se efectuó evaluación ante inundaciones lentas dadas las condiciones de las corrientes presentes.

4.4.3. Avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales se distinguen por su carácter súbito; la alta velocidad y corta duración que desarrollan; gran cantidad de sedimento en volumen con relación al flujo de agua, es decir es un flujo denso, incluido material de arrastre de gran tamaño, (rocas, troncos); frecuencia de recurrencia baja para una misma localización comparado con las inundaciones fluviales lentas; en general no existe una llanura de inundación bien establecida debido a que los desbordamientos son extensos, violentos, y altamente direccionales,

Los procesos de erosión y sedimentación son bruscos, en ocasiones se dan procesos de profundización de cauce dentro de una misma zona de depósito de eventos previos. Los eventos torrenciales abarcan un enorme rango de formas de drenaje que van desde una pequeña cárcava que aparece espontáneamente en una ladera, a un gigantesco abanico aluvial.

Una red densa de drenaje contribuye significativamente a la reducción en el tiempo de concentración, lo que significa un rápido escurrimiento y formación de crecientes súbitas en poco tiempo. La pendiente de la cuenca y el perfil longitudinal del cauce, influyen en la velocidad de la escorrentía y la cantidad de infiltración. Es por ello que las cuencas de mayor pendiente media y con cambios drásticos en la gradiente en diferentes segmentos del cauce principal o sus tributarios, son más susceptibles a la ocurrencia de avenidas torrenciales.

La torrencialidad es común a los cauces de pendiente media y alta; en general por encima del 1 por mil. Sin embargo, en cauces de montaña con secciones en V raras veces se producen inundaciones, puesto que los flujos están siempre contenidos por las paredes; es precisamente cuando se llega al piedemonte, y se pierde el control lateral de las montañas, donde ocurren las inundaciones torrenciales. Estas zonas se pueden reconocer fácilmente por métodos geomorfológicos, y no son susceptibles a modelación hidráulica detallada puesto que los flujos son siempre casi-críticos.

Las avenidas torrenciales generalmente se convierten en avalanchas o flujos de lodo, cuando además de los factores hidrológicos se suman los detonantes de tipo geotécnico, como la ocurrencia de derrumbes, las explosiones volcánicas, o la disponibilidad de suelos blandos o mal compactados en las orillas de los ríos,

susceptibles a ser incorporados al flujo al paso de las avenidas. A las velocidades de flujo que se presentan, hasta las rocas de gran tamaño viajan en suspensión, como se ha probado muchas veces y fue claro en el caso del Nevado del Ruiz y la población de Armero. El tamaño de los materiales no es un control efectivo de este tipo de fenómenos.

La humedad del suelo es considerada como otro factor importante en la generación de avalanchas y flujos de lodo, especialmente en zonas húmedas con suelos profundos. Si el suelo está saturado durante una precipitación, no permitirá infiltración adicional y toda la lluvia se convierte en escorrentía. Por otro en zonas secas se tiene una tasa específica a la que puede absorberse la lluvia, llamada la capacidad de infiltración. Si el índice de pluviosidad excede la capacidad de infiltración, conduce a una producción rápida y eficiente de escorrentía superficial. La tasa de infiltración también se ve afectada por la permeabilidad del suelo.

Julien y León (2000) proponen unos valores guía para clasificar los flujos densos o hiperconcentrados considerando los parámetros adimensionales, D_v , (relación dispersiva-viscosa) y T_d , (relación turbulenta-dispersiva):

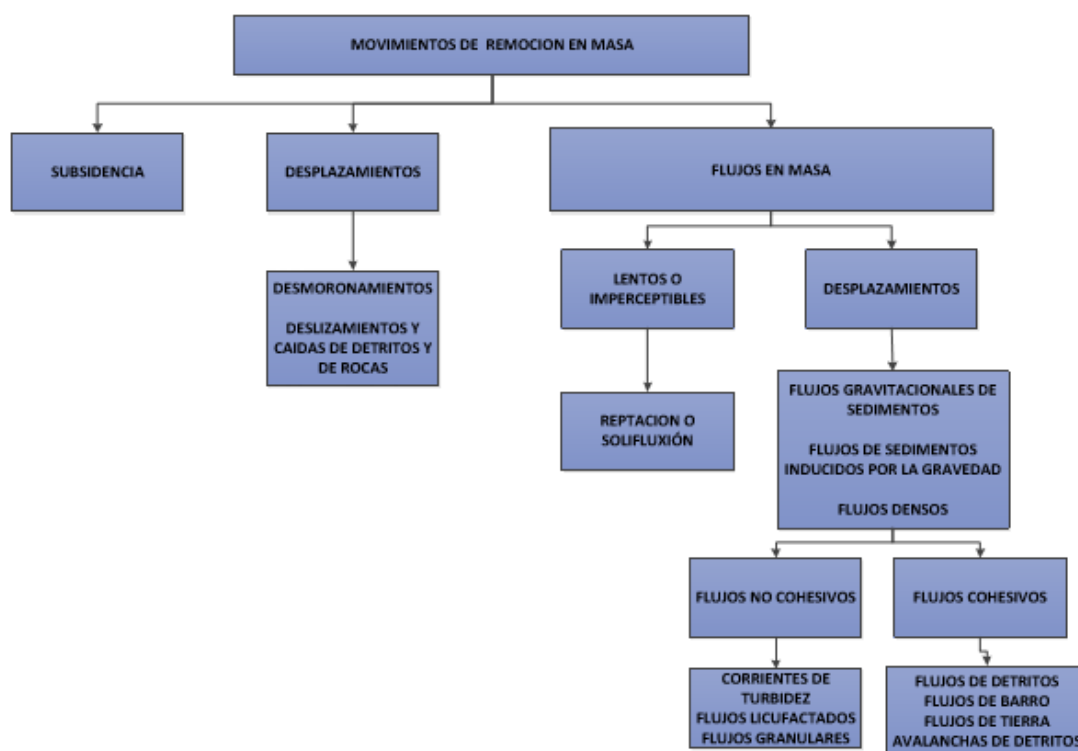


Figura 76 Clasificación de movimientos en masa (Fuente: Adaptado de Brea y otros, 2005)
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Desde el punto de vista de la hidráulica, los flujos densos podrían resumirse entonces como se muestra en la siguiente Figura.

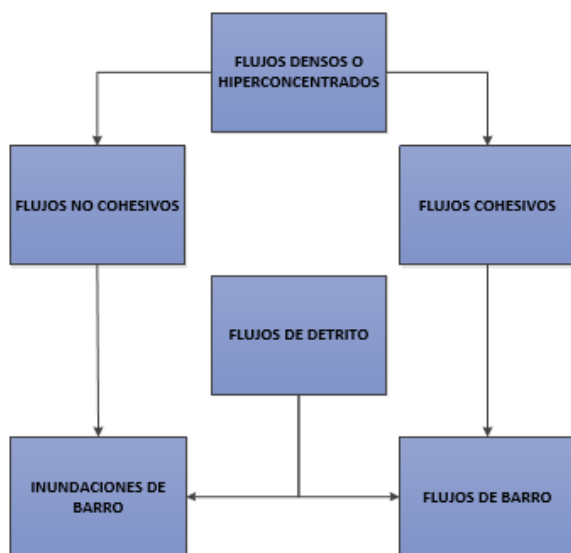


Figura 77 Clasificación de flujos hiperconcentrados desde la hidráulica (Adaptado de Brea 2006)

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En términos generales hablamos de concentraciones normales cuando estas son menores del 15%, estas concentraciones son típicamente hidrológicas, las que no lo son, en general llamamos soluciones hiperconcentrados cuando la concentración de sólidos está entre 15 y 70% aproximadamente, (más como el 67%), por encima de eso no consideramos que hay flujo, sino desplazamiento de sólidos húmedos, es decir flujos de detritos. Los flujos con concentraciones hidrológicas y extra hidrológicas, hasta el 67% aproximadamente, se pueden tratar por métodos de la hidráulica; los flujos de detritos no.

Indiferente de la clasificación de la tipología de flujos densos, lo importante para los POMCA es la identificación y caracterización de los eventos históricos o de las áreas del territorio susceptibles de presentar esta tipología de fenómenos, principalmente geoformas como abanicos torrenciales, fondos de valles, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, y zonas de avulsión o pérdida de confinamiento, además de canales por donde se puedan transportar flujos desde movimientos en masa. Considerar, al menos, la propuesta que se desarrolla a continuación para la evaluación de la susceptibilidad en toda la cuenca, la definición de áreas críticas y la evaluación de la amenaza para estas últimas. De acuerdo con las actividades planteadas en los alcances técnicos se deben seguir los diagramas de flujo que se presentan a continuación, tanto para la evaluación de la

susceptibilidad como de la amenaza, con el fin de ir desarrollando cada una de las actividades que se describen.

Considerando el diagrama de flujo planteado, el inicio del proceso de evaluación de la susceptibilidad para toda la cuenca a escala 1:25,000, se da considerando los ítems que se describen en el siguiente esquema:

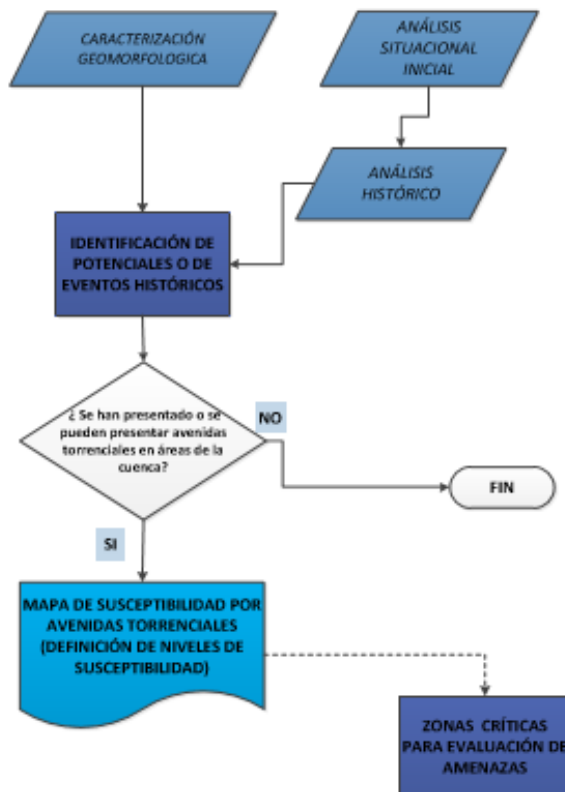


Figura 78 Clasificación de flujos densos o hiperconcentrados desde la hidráulica
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.3.1. Resumen.

Para la zonificación de la susceptibilidad ante avenidas torrenciales, después de haber realizado el análisis de índice de vulnerabilidad ante avenidas torrenciales (IVET), se puede concluir que el IMT osciló entre 2 y 3, es decir entre alto y medio y el IV fue muy alto para todas las unidades hidrográficas de análisis localizadas sobre toda la cuenca, por lo que el IVET dio como resultado vulnerabilidad entre Alta y Muy Alta frente a eventos torrenciales.

4.4.3.2. Análisis histórico de eventos

Corresponde a la caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes, con el fin de obtener los objetivos mínimos del análisis situacional, es decir, la identificación de los principales eventos que han afectado la cuenca, la frecuencia de su ocurrencia y los posibles daños asociados a los eventos así:

1. Con base en los actores identificados se ha elaborado un inventario de eventos históricos ocurridos en la cuenca para lo cual se utiliza el Formato 1, datos que se sistematizarán y alimentarán la base de datos de la cuenca.
2. Se realiza la especialización de los diferentes eventos incluidos en el catálogo por tipo de evento, generando una salida cartográfica que incluye todos los eventos inventariados en la siguiente forma:

- Rojo: eventos más recurrentes, más de un evento en los últimos quince años.
- Naranja: un evento en los últimos quince años u ocurridos entre 15 y 50 años.
- Amarillo: eventos pasados, u ocurridos por encima de los 50 años.

Se incluye una figura con la localización de los eventos registrados y una tabla descriptiva de los mismos de acuerdo con los formatos acordados.

4.4.3.3. Validación de eventos históricos

Se ha realizado por comparación de diferentes fuentes de información. En general las avenidas por desbordamiento lento ocurren en el valle del río Cauca en vecindades de la población de la Virginia y en el sector de entrega del río Risaralda, donde se han realizado estudios anteriores que permiten determinar los niveles de inundación. En esta zona se han construido diques a lo largo de ambas márgenes del río Cauca que limitan la extensión y recurrencia de las avenidas de este tipo. En todos los demás sitios donde las corrientes tienen órdenes 5 e inferiores, las inundaciones tienen carácter torrencial, debido a que las pendientes exceden en todos los casos el 1%.

Basados en los datos anteriores y la validación efectuada en campo se determina que los resultados de análisis de susceptibilidad corresponde con los eventos históricos de la cuenca.

4.4.3.4. Trabajo de Campo con Comunidades de la Zona

Se utiliza el formato “Anexo_entrevistas_comunidades_inundaciones” que se indica en el Anexo 12, obtenida mediante diálogo con las comunidades de la zona.

4.4.3.5. Jerarquización de la Magnitud de Eventos Validados

Se presentan las tablas que resumen los caudales máximos estimados para los periodos de recurrencia más relevantes, y se comparan con los caudales registrados para los diferentes eventos a fin de dar la información de jerarquización de esos eventos.

4.4.3.6. Sistematización de los Eventos Validados

Se incluye el formato, “Sistematización de eventos de inundaciones”, (Anexo 12)

4.4.3.7. Análisis geomorfológico

4.4.3.7.1. Plano geomorfológico

De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica; Ambiente Fluvial con sus respectivas unidades y subunidades geomorfológicas (ej. Terrazas Fluviales, Deltas Desborde, Deltas Lagunares, Barras), se consideran los paisajes geomorfológicos de Valle y Planicie, tipos de relieve y modelado principalmente depositacional y erosional, y geoformas aluviales (ej. albardón de orilla, napa de desborde, cubeta de desborde, cubeta de decantación) formando terrazas y llanuras de inundación.

4.4.3.7.2. Plano de pendientes

Mediante el análisis del modelo digital del terreno, se elaboró un plano de pendientes de la cuenca con el fin de analizar la susceptibilidad desde este punto de vista, ya que las avenidas fluviales y torrenciales se diferencian por la pendiente.

4.4.3.7.3. Estudio evolutivo del medio fluvial

Este análisis se realiza únicamente en el caso de la evaluación de amenaza, dado que resultaría dispendioso y en gran parte inútil al nivel de susceptibilidad. El análisis incluye la evaluación del movimiento de los cauces en planta, mediante el análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélite, para comprobar los efectos

causados por inundaciones sobre el cauce de los ríos. Se incluye una figura de localización de las áreas donde se ha realizado este análisis, achurando sobre el plano geomorfológico las zonas de los cauces donde haya marcado movimiento.

4.4.3.8. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)

Se ha estimado el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) de acuerdo con los lineamientos definidos por el IDEAM para la escala de trabajo (IDEAM, 2013) el cual tiene como entrada el Índice Morfométrico de Torrencialidad (obtenidos desde el insumo de caracterización geomorfológica de la fase de diagnóstico) e Índice de Variabilidad (obtenido desde la curva de duración de caudales obtenida en la caracterización hidrológica de la fase de diagnóstico). En el protocolo de estimación de indicadores se presenta un resumen del procedimiento de cálculo de este indicador.

La definición, características y metodología se extractaron de los Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua (ERA), publicado en el año 2013 por el IDEAM.

La vulnerabilidad se expresa en relación con los índices Morfométrico de torrencialidad e Índice de variabilidad.

El Índice Morfométricos de Torrencialidad es la relación entre los parámetros morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto, 2009).

El Índice de Variabilidad muestra el comportamiento de los caudales en una determinada cuenca definiendo una cuenca torrencial como aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, donde existen diferencias grandes entre los caudales mínimos que se presentan, y los valores máximos.

Fórmula y unidad de medida del indicador: Una matriz de decisión entre las categorías del Índice morfométricos y el Índice de variabilidad. La unidad de medida del indicador es cualitativa y se expresa en términos de vulnerabilidad muy alta, alta, media y baja.

El índice morfométricos se constituye en la relación entre las variables morfométricos como el coeficiente de compacidad o de forma, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, los cuales son indicativos de la forma como se concentra la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos en una cuenca, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca luego de un evento de precipitación y con ello inferir cual podría ser el nivel de susceptibilidad a procesos torrenciales (Rivas y Soto, 2009).

Se define una serie de valores promedio de las variables indicadas, estableciendo seis categorías o rangos, mientras mayor sean estos valores, hay una mayor tendencia para que en la cuenca se presenten procesos torrenciales, es decir, existe una mayor vulnerabilidad a este tipo de procesos. (IDEAM, 2011e). En la siguiente tabla se muestra los rangos de la clasificación de los parámetros mencionados

Tabla 34. Relaciones para categorizar el Índice morfométricos






Índice Morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (Km ²)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 -1,500	1,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga		Casi redonda a oval-redonda	

Fuente. Lineamientos ERA, 2013

Las categorías del índice morfométricos que van desde muy alta hasta muy baja, en función de los parámetros pendiente media de la cuenca, densidad de drenaje y coeficiente de forma se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Relaciones entre variables para el Índice morfométrico

		Pendiente media de la cuenca					
		1	2	3	4	5	
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1
		112	122	132	142	152	2
		113	123	133	143	153	3
		114	124	134	144	154	4
		115	125	135	145	155	5
	2	211	221	231	241	251	1
		212	222	232	242	252	2
		213	223	233	243	253	3
		214	224	234	244	254	4
		215	225	235	245	255	5
	3	311	321	331	341	351	1
		312	322	332	342	352	2
		313	323	333	343	353	3
		314	324	334	344	354	4
		315	325	335	345	355	5
	4	411	421	431	441	451	1
		412	422	432	442	452	2
		413	423	433	443	453	3
		414	424	434	444	454	4
		415	425	435	445	455	5
	5	511	521	531	541	551	1
		512	522	532	542	552	2
		513	523	533	543	553	3
		514	524	534	544	554	4
		515	525	535	545	555	5

 Muy Alta
  Alta
  Baja
  Moderada
  Muy Baja

Fuente. Lineamientos ERA, 2013

Una condición muy alta para el índice morfométricos, corresponde a áreas que se caracterizan por ser inestables y potencialmente inestables que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, generando avenidas torrenciales de forma frecuente.

La categoría alta muestra áreas con una respuesta hidrológica rápida con una cobertura de suelo que permite procesos torrenciales que se presentan frecuentemente en periodos lluviosos. La condición media, en cambio, presenta una respuesta a procesos hidrológicos de moderada a rápida y los eventos se presentan generalmente en las épocas de las mayores precipitaciones al año.

El índice de variabilidad. Se obtiene de la curva de duración de caudales, muestra como es la variabilidad de los caudales en una determinada cuenca. Una cuenca torrencial es aquella que presenta una mayor variabilidad, es decir, existen

diferencias grandes entre los caudales mínimos y los valores máximos. Cuencas con variabilidades pequeñas muestran que los caudales tienden a mantenerse y los cauces por los que existe flujo, generalmente tienen la capacidad para transportar estos caudales.

El comportamiento con variabilidad pequeña es típico de cauces de llanura, los cuales generalmente no presentan procesos torrenciales. Cuencas de área pequeñas con pendientes altas, por lo general presentan caudales de creciente, alternado de caudales medios y bajos con magnitudes muy inferiores a las de los caudales máximos, que hacen que la curva de duración de caudales muestre una gran variabilidad.

La curva de duración de caudales al ser graficada en escala logarítmica, muestra una tendencia lineal, de la cual se puede obtener el índice de variabilidad que se expresa mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice de variabilidad} = (\text{Log}(Q_i) - \text{Log}(Q_f)) / (\text{Log}(X_i) - \text{Log}(X_f))$$

Donde, Q_i y Q_f representan dos caudales tomados de la curva de duración de caudales, y X_i y X_f los porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Q_i y Q_f respectivamente.

Tabla 36. Clasificación del índice de variabilidad

Índice de variabilidad	Vulnerabilidad
< 10°	Muy baja
10.1° - 37°	Baja
37.1° - 47°	Media
47.1° - 55	Alta
>55°	Muy alta

Fuente. Lineamientos ERA, 2013

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, indica la relación existente entre las características de la forma de una cuenca que son indicativos de la torrencialidad en la misma, en relación con las condiciones hidrológicas en dicha cuenca. Tabla 37 muestra la clasificación de la vulnerabilidad frente a eventos torrenciales una vez se estima cada uno de los índices mencionados.

Se expresa en relación con los índices morfométricos y de variabilidad para estimar una sola vulnerabilidad frente a eventos torrenciales, teniendo en cuenta los rangos y las clasificaciones de cada uno de ellos.

Tabla 37. Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)

Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente. Lineamientos ERA, 2013

Resultados del IVET

Se muestra a continuación (Tabla 38) los resultados del IVET para las unidades hidrográficas a las cuales se les realizaron los cálculos de morfometría; en el informe técnico de morfometría se encuentran los detalles de las unidades mencionadas.

Tabla 38. Resultados IVET cuenca Risaralda

CODIGO	IMT	IV	IVET	NOMENCLAT
2614030004	3	2	2	ALTO
2614000010	2	2	1	MUY ALTO
2614000006	2	2	1	MUY ALTO
2614000401	2	2	1	MUY ALTO
2614030102	2	2	1	MUY ALTO
2614000004	2	2	1	MUY ALTO
2614000008	2	2	1	MUY ALTO
2614000005	2	2	1	MUY ALTO
2614030001	2	2	1	MUY ALTO
2614010201	2	2	1	MUY ALTO
2614000501	2	2	1	MUY ALTO
2614010103	2	2	1	MUY ALTO
2614000302	2	2	1	MUY ALTO
2614261401	2	2	1	MUY ALTO
2614000402	2	2	1	MUY ALTO
2614010102	2	2	1	MUY ALTO
2614020002	2	2	1	MUY ALTO
2614000009	2	2	1	MUY ALTO
2614030101	2	2	1	MUY ALTO
2614010001	2	2	1	MUY ALTO

CODIGO	IMT	IV	IVET	NOMENCLAT
2614030002	2	2	1	MUY ALTO
2614020001	2	2	1	MUY ALTO
2614261402	2	2	1	MUY ALTO
2614000101	2	2	1	MUY ALTO
2614000003	2	2	1	MUY ALTO
2614000007	2	2	1	MUY ALTO
2614030003	2	2	1	MUY ALTO
2614000403	2	2	1	MUY ALTO
2614000301	2	2	1	MUY ALTO
2614010101	1	2	1	MUY ALTO

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2017

De la Tabla 38 se puede establecer que el IMT osciló entre 2 y 3, es decir entre alto y medio y el IV fue muy alto para todas las unidades hidrográficas de análisis, por lo que el IVET dio como resultado vulnerabilidad entre Alta y Muy Alta frente a eventos torrenciales.

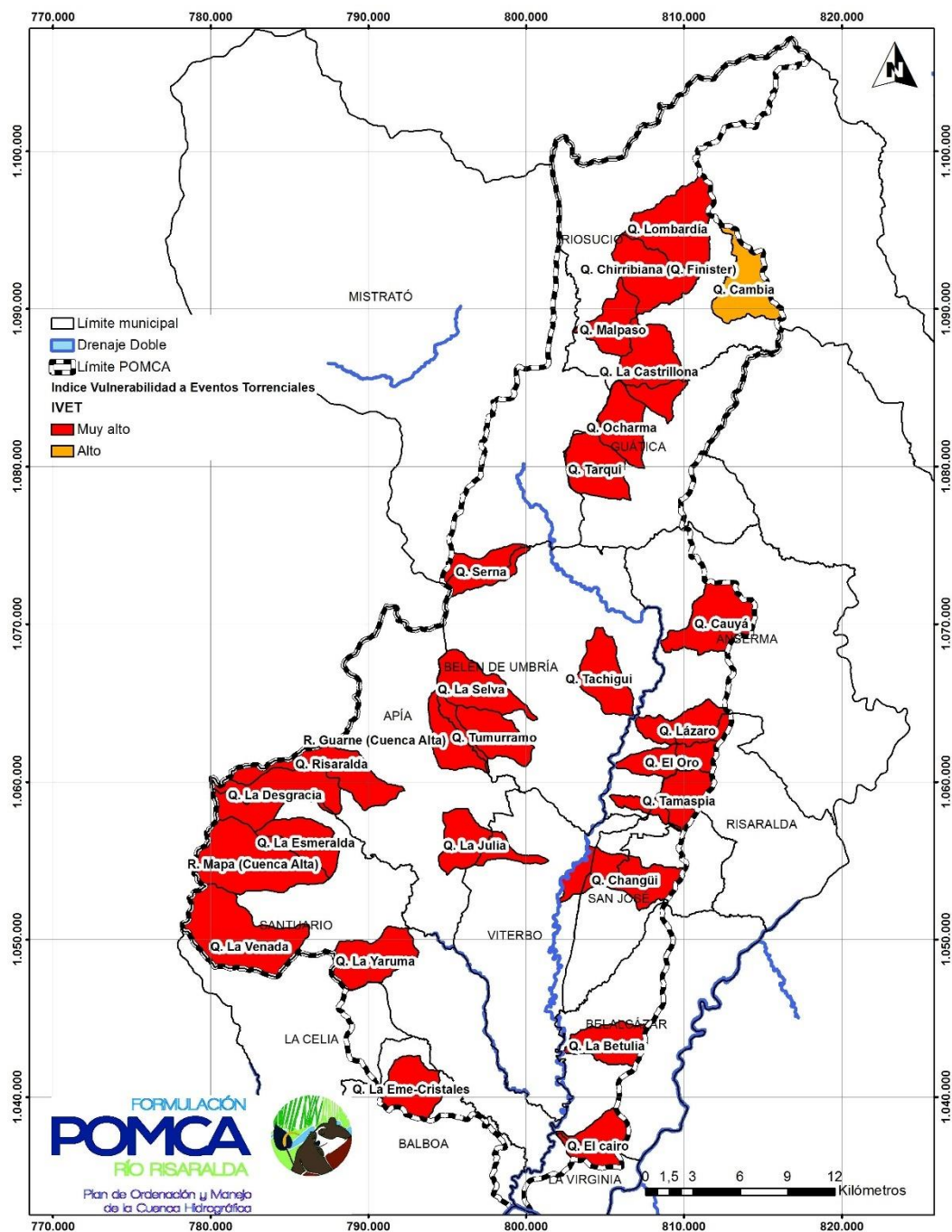


Figura 79 IVET Risaralda

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.3.9. Zonas susceptibles a avenidas torrenciales.

Con la información procesada se ha Identificado y delimitado las zonas susceptibles de ser afectadas por avenidas lentas y avenidas torrenciales de acuerdo con los siguientes criterios:

- Se consideran las formas del terreno comparables con la unidad geomorfológica de abanico aluvial y sus respectivas subunidades geomorfológicas. Se incluyen también las zonas de avulsión o de pérdida de confinamiento de los cauces.
- Áreas de torrencialidad de media, alta y muy alta según categorías del IVET
- Áreas donde se ha identificado uno o más eventos históricos.

A continuación, se muestra un análisis multitemporal de imágenes satelitales como base y fundamento para la zonificación de las zonas susceptibles ante fenómenos de torrencialidad en la cuenca. Cabe denotar que debido a las condiciones que tiene el territorio, con respecto al análisis del IVET y las condiciones que se encuentran en campo, no se presentan inundaciones fluviales lentas, como se plantea en la guía metodológica, por consiguiente, este análisis será realizado solo para condiciones de torrencialidad.



Figura 80 Análisis multitemporal en fotografías aéreas del cauce del río Risaralda. Cauce actual (AZUL) Y LÍNEA DEL Cauce en cartografía IGAC año 1.978.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 81 Análisis multitemporal en fotografías aéreas donde en líneas negras se visualizan las direcciones de cauce desde el año 1.961 hasta el año 1.994 y en azules el cauce actual y punteado el cauce de la cartografía IGAC año 1978.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

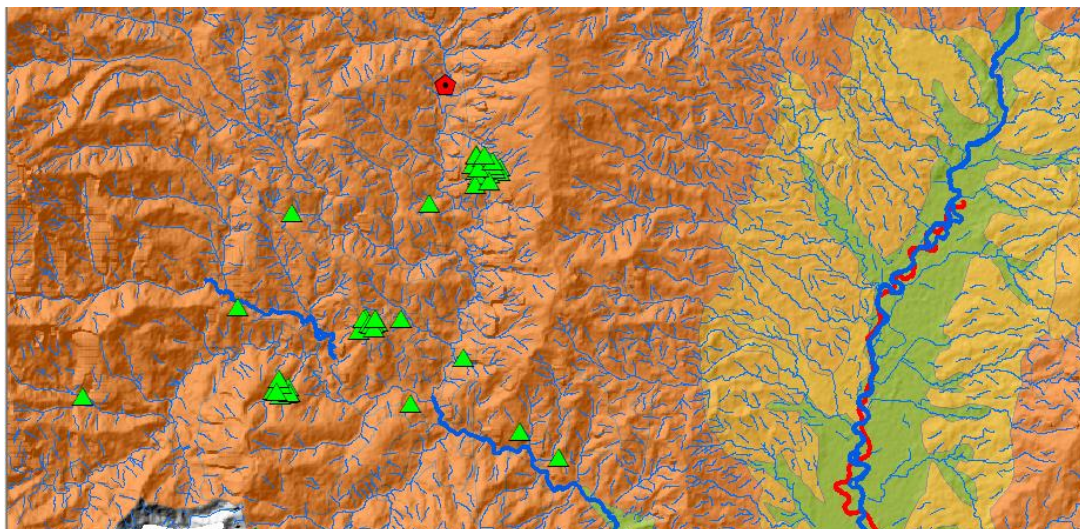


Figura 82 Eventos evaluados en la cuenca con respecto a la geomorfología del sector. En color verde los eventos torrenciales y en rojo los eventos de inundaciones.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

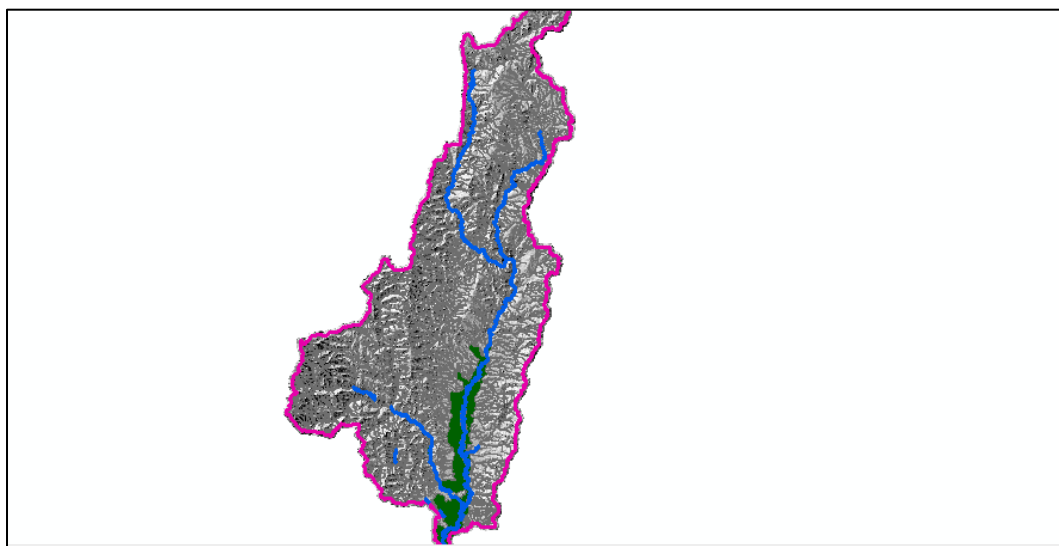
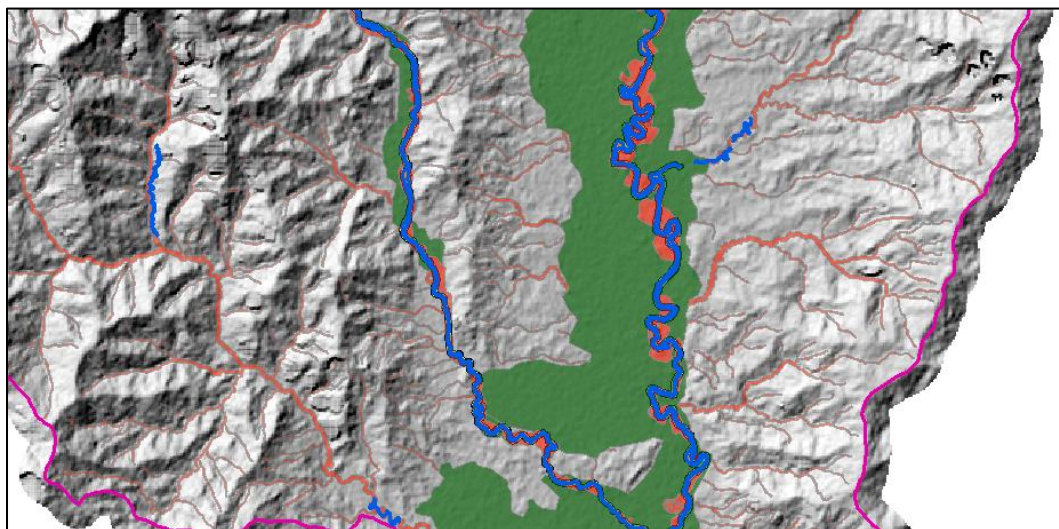


Figura 83 Análisis de susceptibilidad ante inundaciones por eventos torrenciales.
 Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Luego de los análisis y criterios definidos anteriormente se procedió a la realización del mapa final de susceptibilidad ante inundaciones por eventos torrenciales como se visualiza en la siguiente figura.

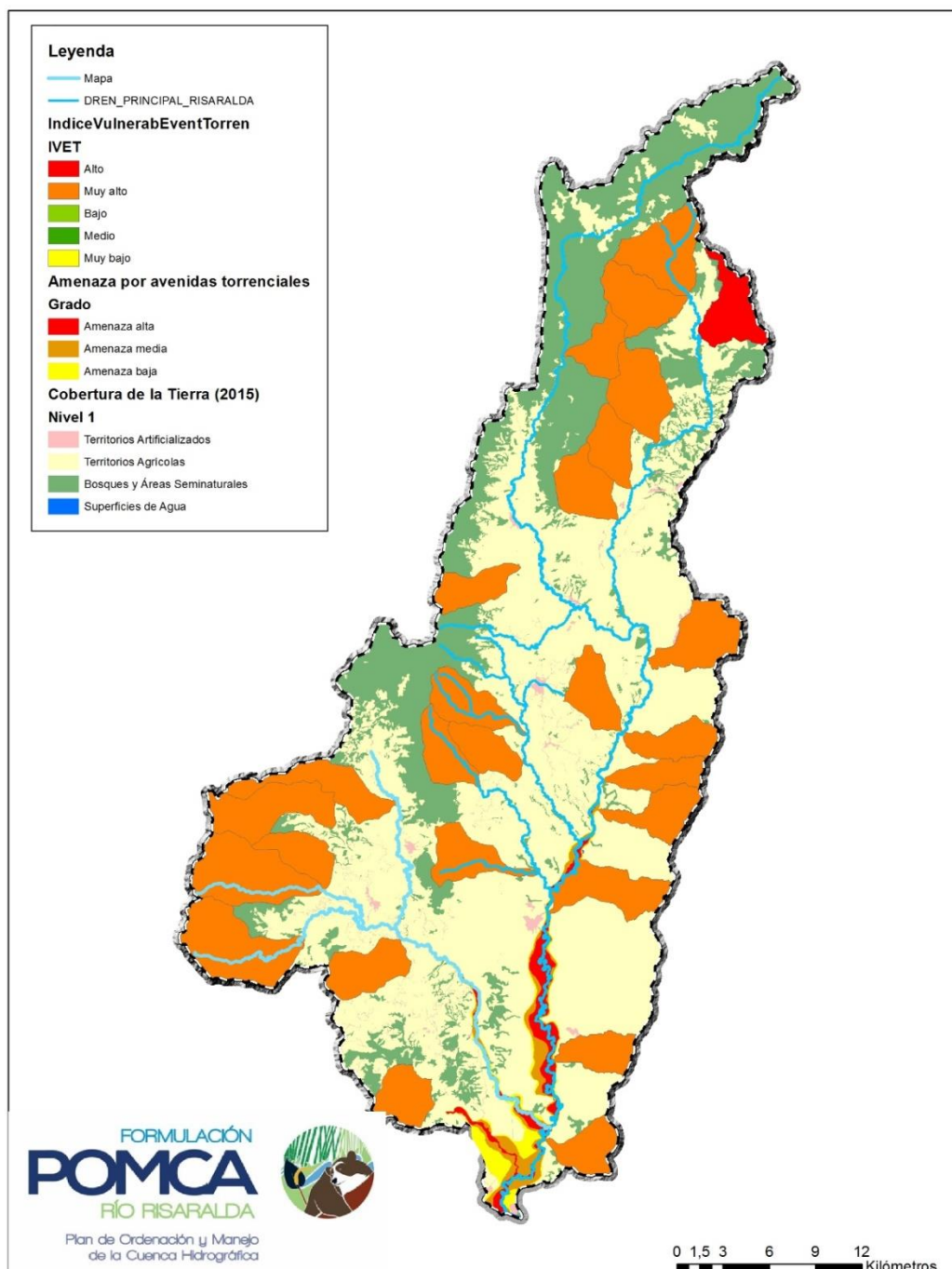


Figura 84 mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.3.10. Validación de resultados de susceptibilidad ante avenidas torrenciales según eventos históricos

Se realizó la caracterización histórica de eventos, se hizo una recopilación de las bases de datos suministradas por Desinventar y así poder generar una zonificación inicial con respecto a este tipo de eventos (inundaciones y avenidas torrenciales), se validaron los eventos ocurridos arrojando que gran parte de los eventos se ubican en zonas de susceptibilidad Media y Alta, principalmente sobre los municipios de la Virginia, Viterbo, y Belén de Umbría, (Ver mapa de susceptibilidad.) y registrados en la base de datos anexa (anexo 11).

Es preciso resaltar que la ubicación espacial y exacta de dichos fenómenos y su ubicación en la cartografía utilizada puede presentar algún tipo de variación en la localización según el nivel de susceptibilidad presente, dada la escala de trabajo adelantada. Los eventos ante inundaciones torrenciales se consignan en la base de datos anexa (anexo 11).

Con el fin de establecer de manera general la validación de los resultados obtenidos, se procedió al análisis de eventos según el nivel de susceptibilidad calculado tal como se detalla en la siguiente tabla y figura, donde se establece que el 84% de los eventos se localizan en zonas de susceptibilidad ALTA Y MEDIA, y el porcentaje restante se ubican en zonas de susceptibilidad baja que podría asociarse con la ubicación espacial inicial del evento y por efectos de la escala de trabajo como se relacionó anteriormente.

Los resultados obtenidos en el análisis de susceptibilidad permiten establecer que se encuentran acordes con los eventos históricos ocurridos en la cuenca como también con lo evidenciado en la etapa de campo.

Tabla 39 Validación de los resultados de susceptibilidad.

VALIDACION SUSCEPTIBILIDAD INUNDACIONES TORRENCIALES		
Nivel de susceptibilidad	Numero de eventos	%
ALTA	149	66%
MEDIA	40	18%
BAJA	37	16%
TOTAL	226	100%

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

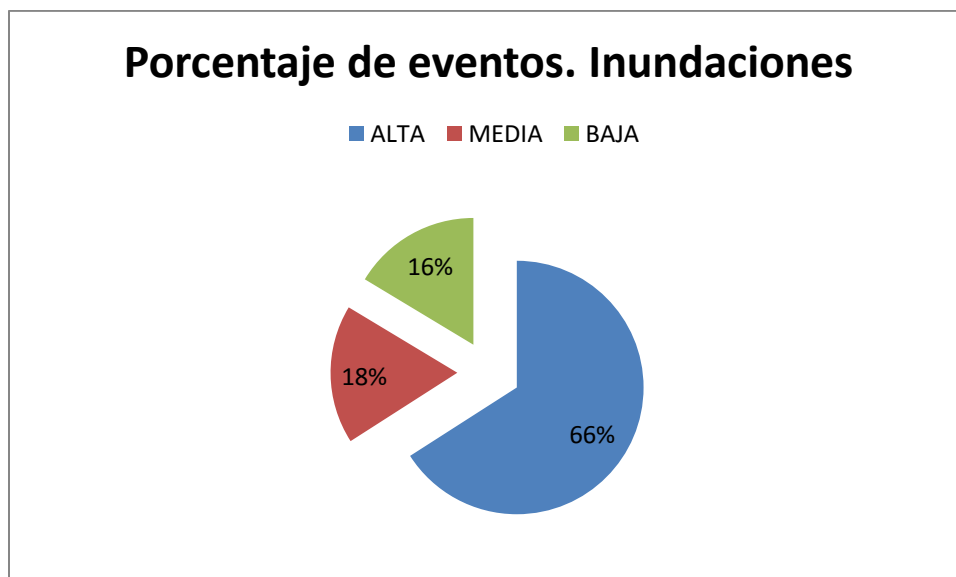
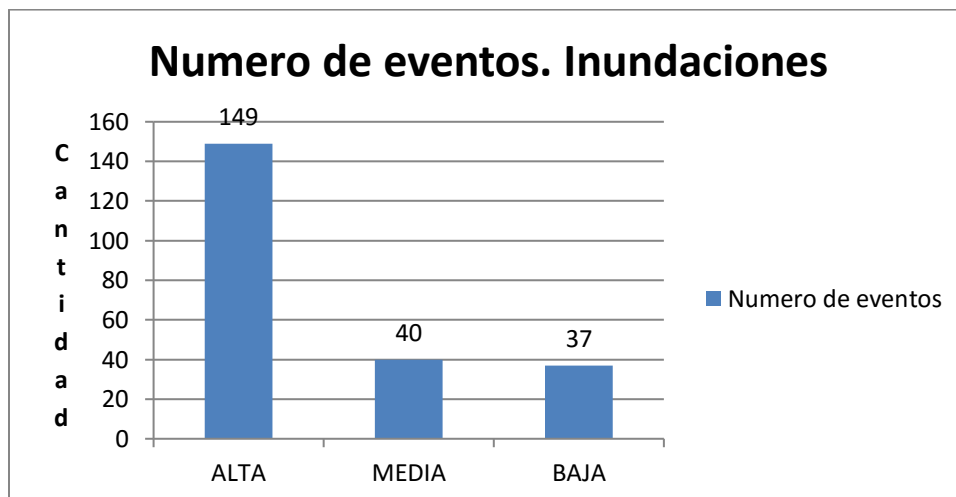


Figura 85 Validación de los resultados de susceptibilidad ante avenidas torrenciales
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.4. Incendios

4.4.4.1. Resumen

Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio está cualificada como Media, la cual ocupa 22924,25ha y que representan el 40,33% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las zonas cualificadas como Muy Baja, que ocupan 4115,39ha que representan el 7,24% del territorio. Es de anotar que luego de las ponderaciones, no se encuentran zonas cualificadas como Baja sobre el territorio de la cuenca

4.4.4.2. Duración del Tipo de Combustible Dominante

A partir del mapa de cobertura vegetal, generar una reclasificación mediante la interpretación de los tipos de cobertura, asignando de acuerdo a las coberturas predominantes una calificación según la duración de los combustibles, como se muestra en los siguientes cuadros y entendida como la duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1 hr, 10 hr, 100 hr).

Tabla 40 relación tipo de cobertura vs duración de combustible

TIPO DE COBERTURA (CORINE LAND COVER NIVEL 3)	DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE PREDOMINANTE
3.3.2. Afloramientos rocosos	No combustibles
3.1.1. Bosque denso	10 horas
3.1.3. Bosque fragmentado	100 horas
3.1.4. Bosque de galería y ripario	100 horas
3.1.1. Bosque denso	100 horas
3.1.3. Bosque fragmentado	100 horas
3.2.2. Arbustal	100 horas
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1 hora
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	1 hora
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	1 hora
2.4.1. Mosaico de cultivos	10 horas
2.3.3. Pastos enmalezados	1 hora
2.3.1. Pastos limpios	1 hora
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	1 hora
3.2.1. Herbazal	10 horas
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	No combustibles

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

Tabla 41 Peso para cada duración de combustible

DURACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
No combustibles	MUY BAJA	1
Áreas urbanas	MUY BAJA	1
100 horas (Predominio de árboles)	BAJA	2
10 horas (Predominio de arbustos y hierbas)	MODERADA	3
1 hora (Predominio de pastos)	ALTA	4

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio de la cuenca es aquella que representa una duración del tipo de combustible de 1 horas, la cual ocupa 53761,8 y que representan el 54.91% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las zonas de área urbana, que ocupan 1105.18ha que representan el 3,69% del territorio.

Tabla 42. Duración del tipo de combustible dominante

duración	Hectáreas	Porcentaje
1 Hora	53761,8014	54,91%
10 Horas	29540,9253	16,63%
100 Horas	39641,2564	15,84%
Áreas Urbanas	1105,18711	8,93%
No Combustible	1550,89669	3,69%
total	125600,067	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

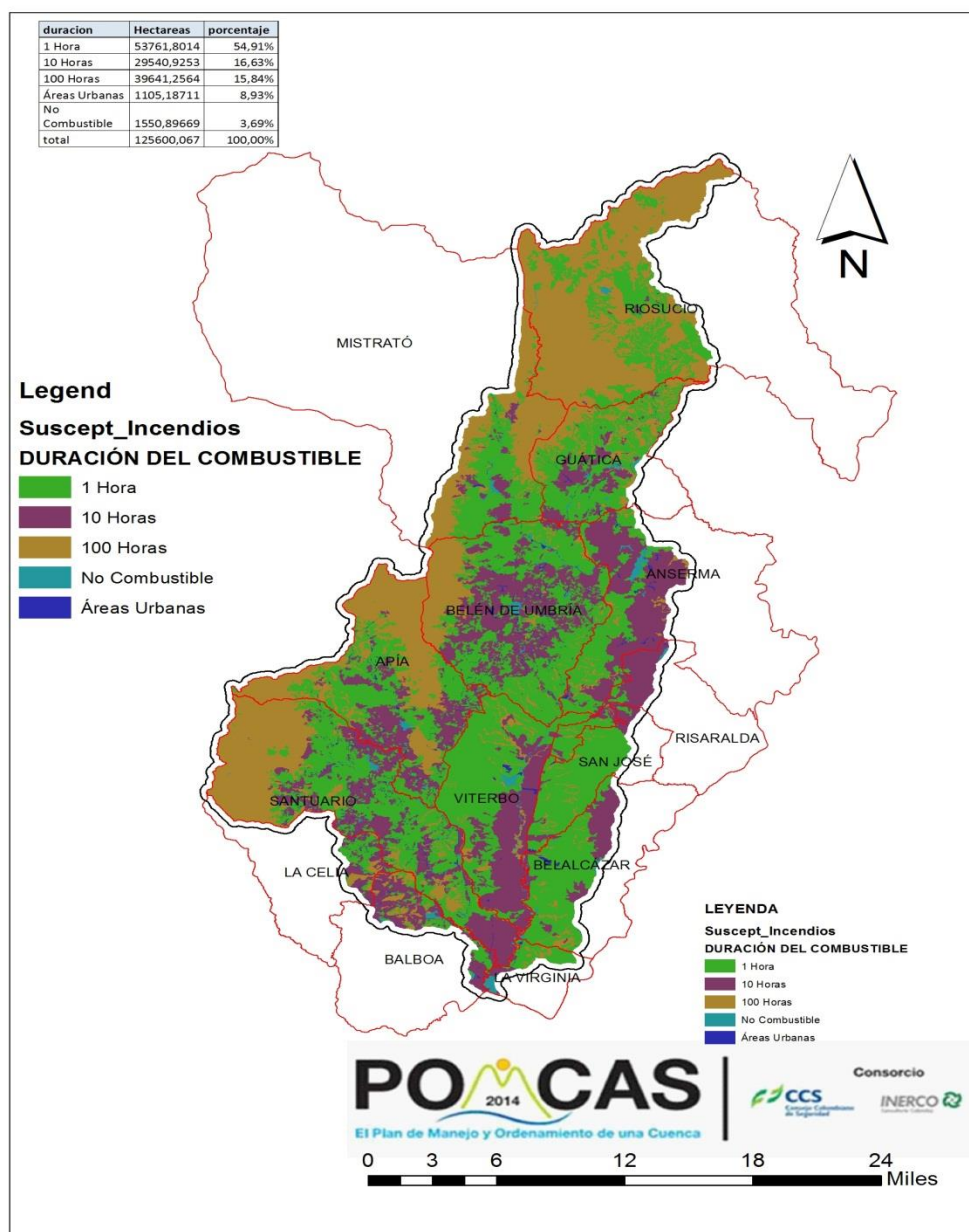


Figura 86 Duración Del Tipo De Combustible Dominante
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.4.3. Tipo de Combustible Vegetal Predominante por Bioma y Ecosistema.

A partir del mapa de cobertura vegetal, se genera una reclasificación mediante la interpretación de los tipos de cobertura, según los tipos de combustibles dominantes, generándose para cada de ellos un valor de calificación de acuerdo con los siguientes cuadros

Tabla 43 Tipo de cobertura vegetal

TIPO DE COBERTURA (CORINE LAND COVER NIVEL 3)	TIPO DE COMBUSTIBLE PREDOMINANTE
3.3.2. Afloramientos rocosos	No combustibles
3.1.1. Bosque denso	Árbustos
3.1.3. Bosque fragmentado	Árboles
3.1.4. Bosque de galería y ripario	Árboles
3.1.1. Bosque denso	Árboles
3.1.3. Bosque fragmentado	Árboles
3.2.2. Arbustal	Arbustos
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos/hierbas
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Pastos/hierbas
2.4.1. Mosaico de cultivos	Hierbas
2.3.3. Pastos enmalezados	Pastos
2.3.1. Pastos limpios	Pastos
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastos/hierbas
3.2.1. Herbazal	Hierbas
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	No combustibles

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

Tabla 44 peso para cada tipo de cobertura vegetal

TIPO DE COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Árboles	BAJA	2
Árboles y arbustos	MODERADA	3
Arbustos	ALTA	4
Hierbas	ALTA	4
Pastos / hierbas	MUY ALTA	5
Pastos	MUY ALTA	5
No combustibles	MUY BAJA	1
Áreas urbanas	MUY BAJA	1

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

Es definida como tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante. Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio de la cuenca es Bosque Denso, el cual ocupa 29595.59ha, que representan el 23.56% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por los cultivos de alimentos que presentan la cuenca como lo son hortalizas en un 0.008% y 10.19Ha, oleaginosas y leguminosas en un 0.005% y 6.17Ha.

Tabla 45. Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema.

tipo de cobertura	hectáreas	porcentaje
Afloramientos rocosos	1,276664008	0,001
Arbustal	1040,320356	0,828
Bosque abierto	11,92671226	0,009
Bosque de galería y/o ripario	4336,587971	3,453
Bosque denso	29595,59335	23,563
Bosque fragmentado	3007,482113	2,394
Cuerpos de agua artificiales	8,44298828	0,007
Cultivos agroforestales	5228,512564	4,163
Cultivos confinados	7,736825382	0,006
Cultivos permanentes arbóreos	5,224511345	0,004
Cultivos permanentes arbustivos	19576,81258	15,587
Cultivos permanentes herbáceos	5616,877727	4,472
Hortalizas	10,19468864	0,008
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	9,115287156	0,007
Mosaico de cultivos	3085,74751	2,457
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	11879,45893	9,458
Mosaico de pastos con espacios naturales	2240,379834	1,784
Mosaico de pastos y cultivos	13820,59949	11,004
Oleaginosas y leguminosas	6,172656159	0,005
Otros cultivos transitorios	24,5768974	0,020

tipo de cobertura	hectáreas	porcentaje
Pastos arbolados	2964,784492	2,360
Pastos enmalezados	2761,142474	2,198
Pastos limpios	14859,36025	11,831
Plantación forestal	2684,44175	2,137
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	711,9568869	0,567
Ríos (50 m)	470,7069331	0,375
Tejido urbano continuo	767,1693426	0,611
Tejido urbano discontinuo	393,2302247	0,313
Tierras desnudas y degradadas	133,4277231	0,106
Tubérculos	13,99332839	0,011
Vegetación secundaria o en transición	166,0561112	0,132
Zonas arenosas naturales	1,251821822	0,001
Zonas de extracción minera	52,66716198	0,042
Zonas industriales o comerciales	23,83772995	0,019
Zonas quemadas	83,0010357	0,066
Total	125600,0669	100,000

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

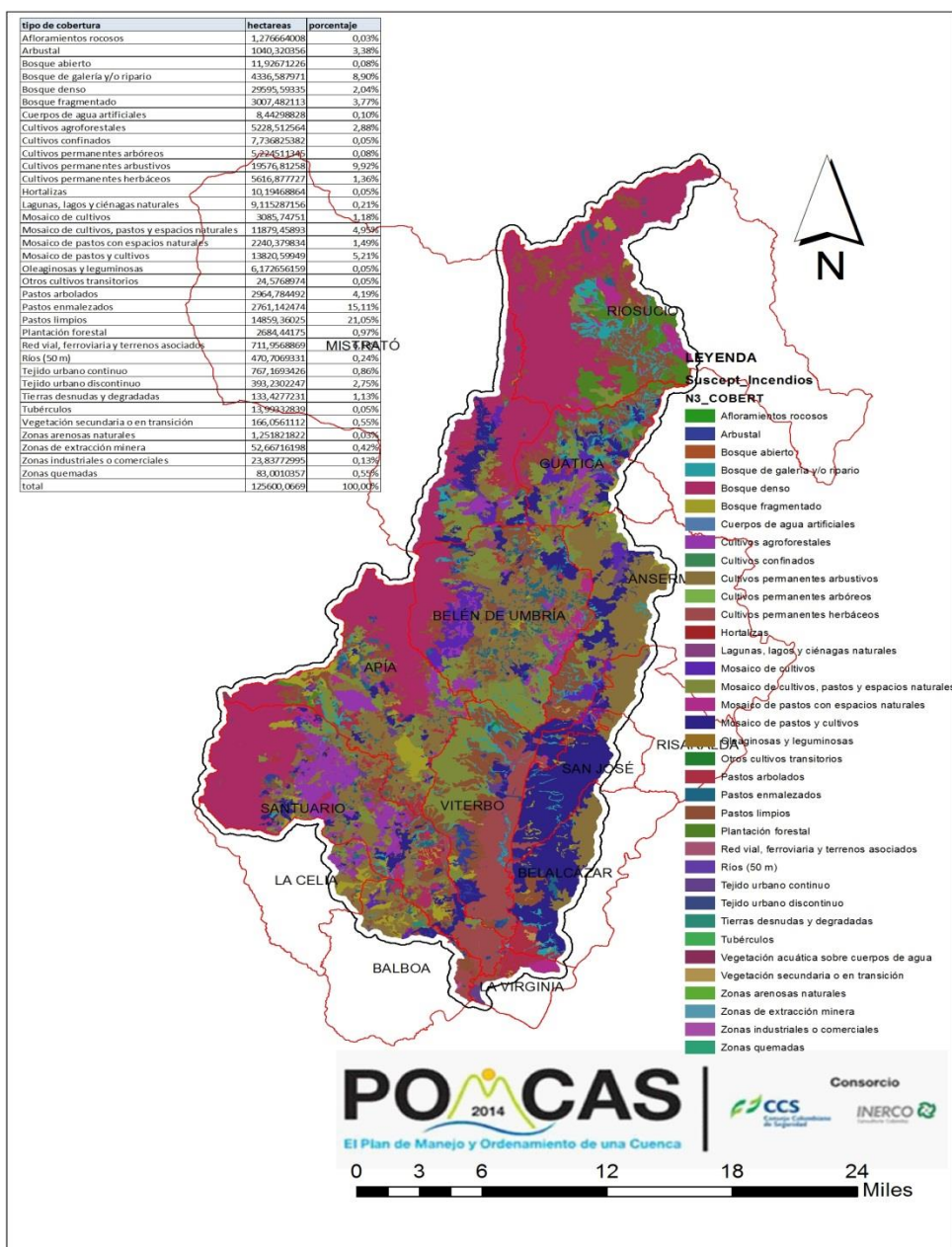


Figura 87 Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.4.4. Carga Total de Combustible

A partir del mapa de cobertura vegetal y de información específica que se tenga sobre la biomasa de los diferentes tipos de cobertura (expresada en toneladas por hectárea) generar una reclasificación de los tipos de cobertura, asignando de acuerdo a las coberturas predominantes y a su contenido de biomasa (carga de combustibles) una calificación de acuerdo a los siguientes cuadros.

Tabla 46 relación tipo de cobertura vs la carta total de combustible

TIPO DE COBERTURA (CORINE LAND COVER NIVEL 3)	CARGA TOTAL (BIOMASA) DE COMBUSTIBLES
3.3.2. Afloramientos rocosos	No combustibles
3.1.1. Bosque denso	Moderada (50-100 ton/ha)
3.1.3. Bosque fragmentado	Muy alta (más de 100 ton/ha)
3.1.4. Bosque de galería y ripario	Muy alta (más de 100 ton/ha)
3.1.1. Bosque denso	Muy alta (más de 100 ton/ha)
3.1.3. Bosque fragmentado	Muy alta (más de 100 ton/ha)
3.2.2. Arbustal	Muy alta (más de 100 ton/ha)
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No combustibles
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Moderada (50-100 ton/ha)
2.4.1. Mosaico de cultivos	Baja (1-50 ton/ha)
2.3.3. Pastos enmalezados	Baja (1-50 ton/ha)
2.3.1. Pastos limpios	Baja (1-50 ton/ha)
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Moderada (50-100 ton/ha)
3.2.1. Herbazal	Baja (1-50 ton/ha)
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	No combustibles

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

Tabla 47 peso para cada carga total de combustible

CARGA TOTAL DE COMBUSTIBLES	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
No combustibles	MUY BAJA	1
Áreas urbanas (menos de 1 Ton/Ha)	MUY BAJA	1
Baja (1-50 Ton/Ha)	BAJA	2
Moderada (50 a 100 Ton/Ha)	MODERADA	3
Muy Alta (más de 100 Ton/Ha)	ALTA	4

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

Entendida como la caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en t/a y humedad media de la vegetación obtenida a través de una distribución cualitativa de los rangos obtenidos a partir del índice de vegetación NDII. Este último nivel define el modelo de combustible para una determinada unidad de vegetación.

Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio de la cuenca, cualificada como, Moderada (50 a 100 ton/ha), la cual ocupa 50769.055ha y que representan el 23.30% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las zonas calificadas como muy baja, que ocupan 17.55Ha que representan el 0.31% del territorio.

Tabla 48. Carga Total de Combustible.

carga total	hectáreas	porcentaje
Áreas urbanas (menos 1ton/ha)	1479,126229	7,04%
Baja (1-50 ton/ha)	31886,58213	47,60%
Moderada (50-100 ton/ha)	50769,05445	23,30%
Muy alta (más de 100 ton/ha)	40681,57677	19,22%
Muy baja	17,55827544	0,31%
No Combustible	766,1690697	2,51%
TOTAL	125600,0669	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

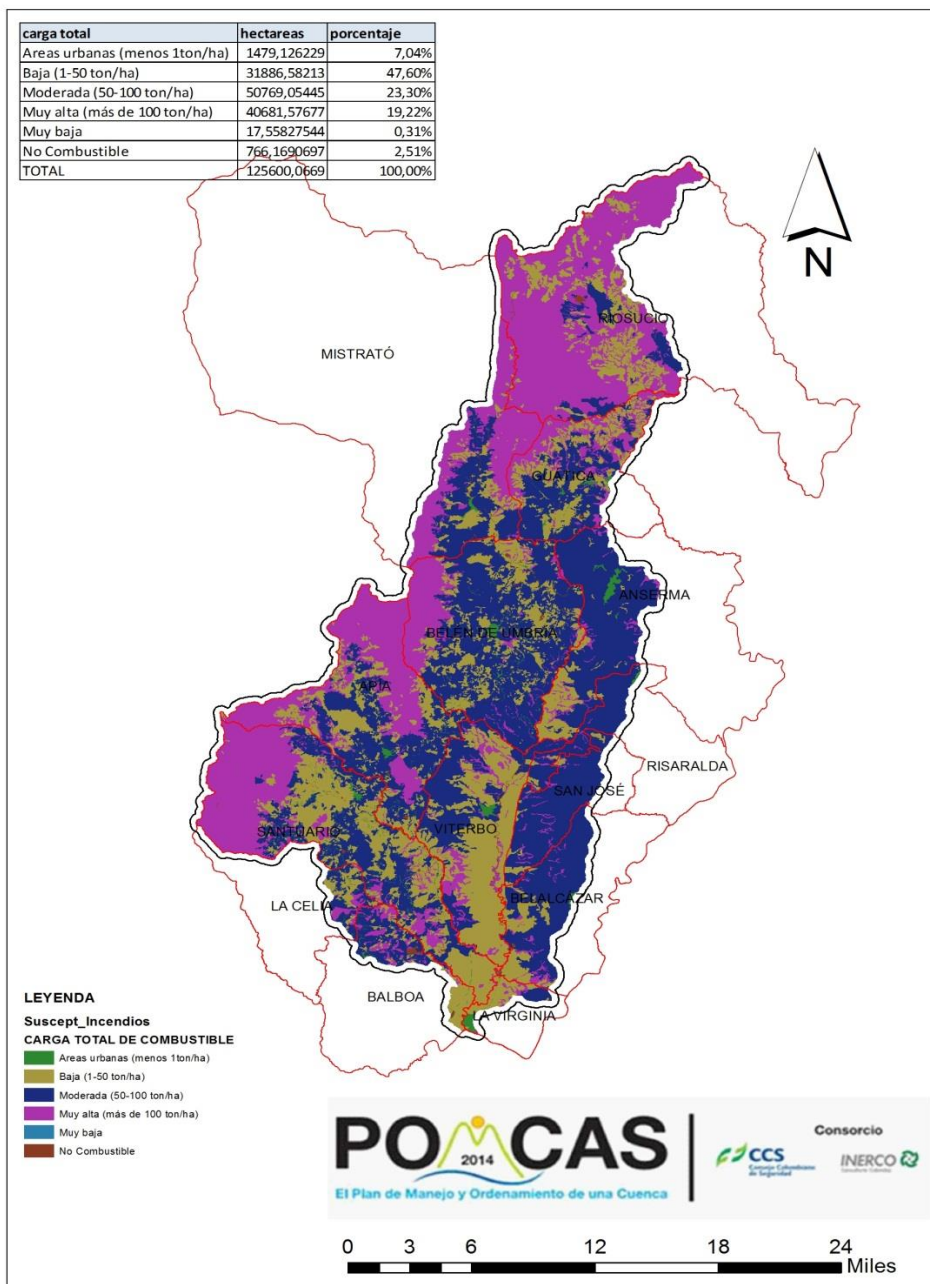


Figura 88 carga total de combustible.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.4.5. Susceptibilidad de la Vegetación Frente a los Incendios de la Cobertura Vegetal

Se define como Características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas (carga de combustibles, disposición y combustibilidad), que le brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego. Hace parte de la amenaza.

Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio está cualificada como Media, la cual ocupa 22924,25ha y que representan el 40,33% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las zonas cualificadas como Muy Baja, que ocupan 4115,39ha que representan el 7,24% del territorio. Es de anotar que luego de las ponderaciones, no se encuentran zonas cualificadas como Baja sobre el territorio de la cuenca.

Tabla 49. Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal.

SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA	
	HA	%
Muy Baja	676,9	0,54
Baja	1979,2	1,58
Media	45479,1	36,21
Alta	28818,2	22,94
Muy Alta	48646,7	38,73

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

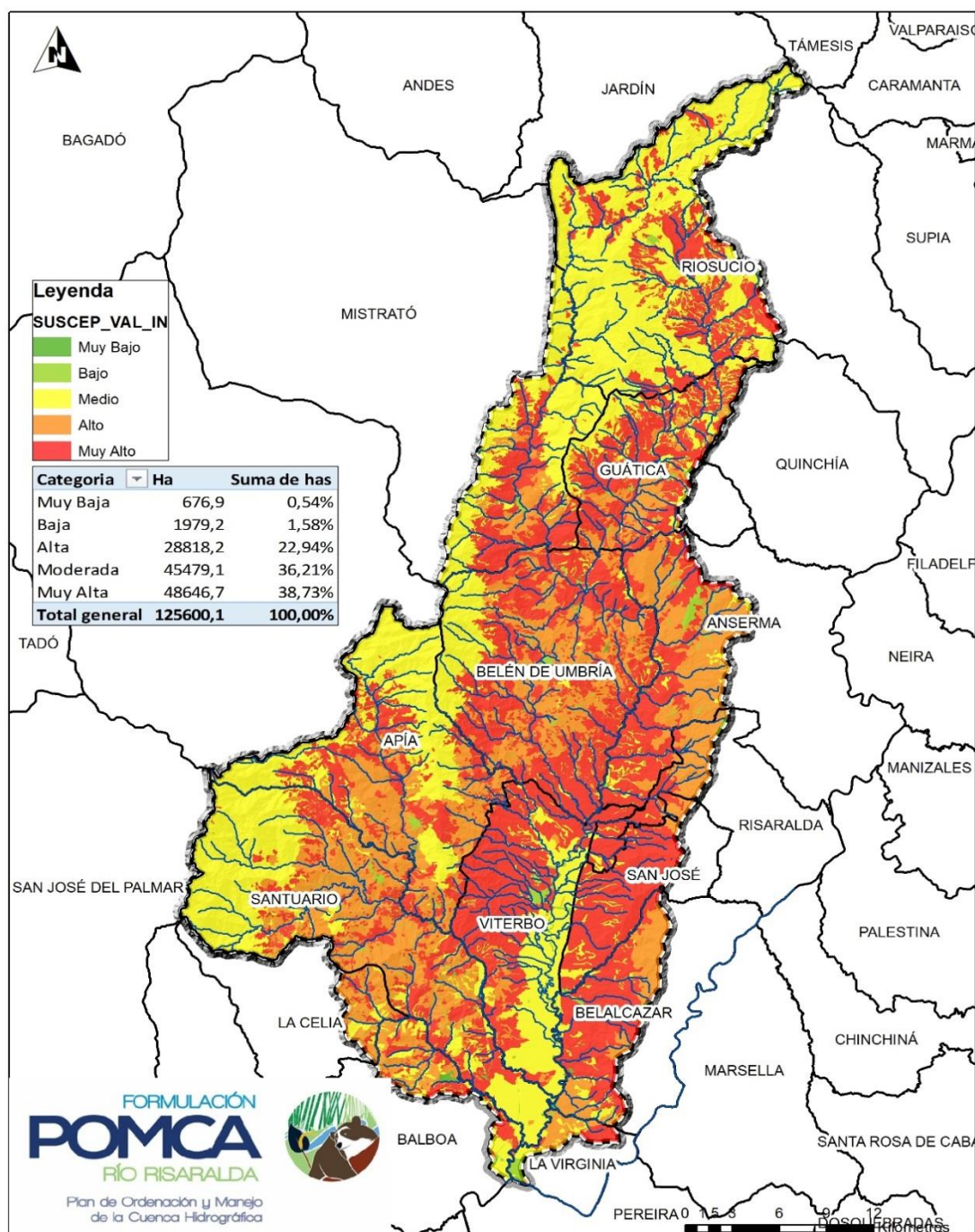


Figura 89 Susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.4.6. Validación de resultados de susceptibilidad ante incendios según eventos históricos

Con el fin de establecer de manera general la validación de los resultados obtenidos, se procedió al análisis de eventos según el nivel de susceptibilidad calculado tal como se detalla en la siguiente tabla y figura, donde se establece que el 95 % de los eventos se localizan en zonas de susceptibilidad ALTA Y MEDIA, y el porcentaje restante se ubican en zonas de susceptibilidad baja que podría asociarse con la ubicación espacial inicial del evento y/o por efectos de la escala de trabajo.

Basados en los datos anteriores y la validación efectuada en campo se determina que los resultados de análisis de susceptibilidad corresponden con los eventos históricos ocurridos en la cuenca

Tabla 50 Validación de los resultados de susceptibilidad ante incendios

VALIDACION SUSCEPTIBILIDAD INCENDIOS		
Nivel de susceptibilidad	Numero de eventos	%
ALTA	113	45%
MEDIA	126	50%
BAJA	12	5%
TOTAL	251	100%

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

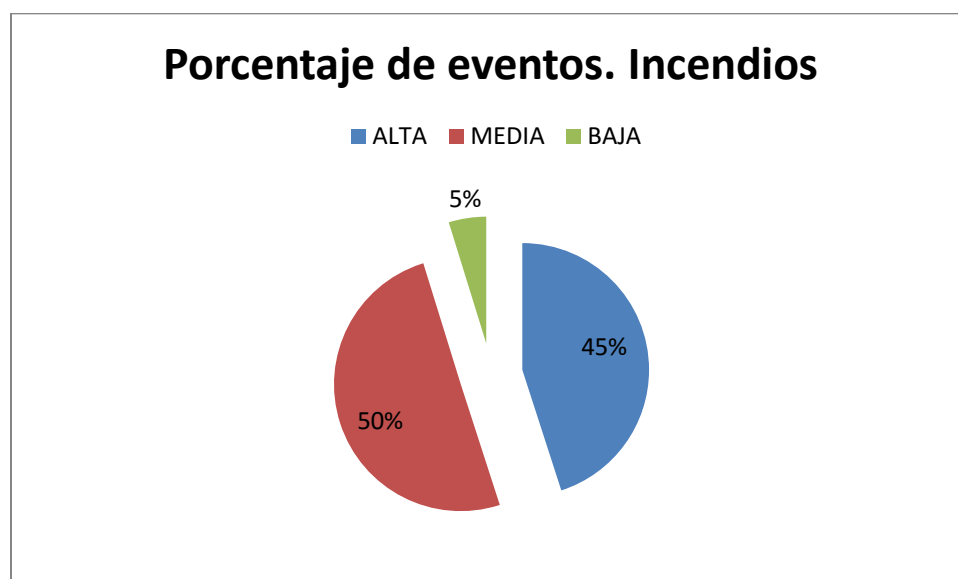
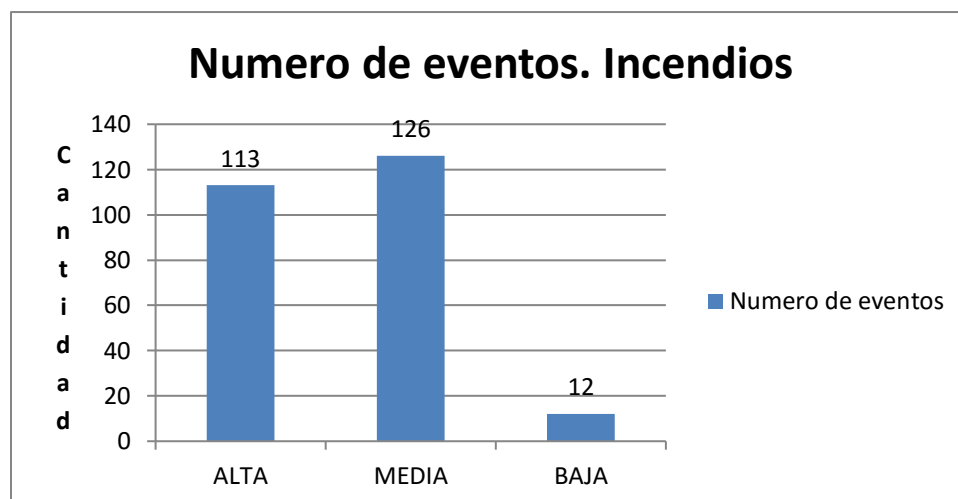


Figura 90 Validación de los resultados de susceptibilidad ante Incendios
 Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.5. Movimientos en masa

La evaluación de la susceptibilidad a MM se realizó según los criterios establecidos en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minhacienda, Fondo de Adaptación 2014)” y haciendo uso de análisis discriminantes planteado por Nuria (2001).

Inicialmente se utilizó el modelo digital de terreno a escala 1:25.000 con base en la cartografía básica existente utilizado para el análisis geomorfológico y a partir de este insumo y con el uso de herramientas SIG., se generaron las variables secundarias que se describirán posteriormente.

Los productos intermedios o finales, tipo raster que se han generado en esta metodología, responden a las indicaciones generadas por la guía técnica, por tal motivo alguno de los subproductos que se piden en el reservorio de información (Geodatabase GDB) no aplican y se eliminan al volver el tema un producto vectorial. Es decir, el producto final vectorial presenta los valores resultados, reclasificados del raster correspondiente.

4.4.5.1. Resumen.

La susceptibilidad a movimientos en masa está condicionada principalmente por las variables que representan las características geométricas de la ladera, principalmente la pendiente media de la ladera y la curvatura del terreno con respecto al plano horizontal. Respecto a las variables de función de proximidad, la cercanía a vías, fallas y drenajes cuentan con una calificación equivalente y adecuada aunque no muy relevante en función del peso ponderado para el modelo de susceptibilidad, por esto se tiene una zonificación alta en sectores de la parte alta de la cuenca hidrográfica principalmente en los municipios de Santuario, Apia y Belén de Umbría que coincide con la mayor concentración de eventos inestables en la cuenca (aproximadamente 11% de la Cuenca). Por otra parte, sectores aledaños a los municipios de Belalcázar, Viterbo, San José y Riosucio alcanzan una susceptibilidad baja principalmente por las condiciones geométricas de la ladera y la cercanía al valle del río Risaralda (aproximadamente un 39% de la cuenca). Para el resto de la cuenca se estima una susceptibilidad media (aproximadamente el 50%). En la cuenca se observa una gran tendencia a susceptibilidad media, exceptuando en el límite oeste de la misma.

4.4.5.2. Eventos históricos por movimientos en masa

Como resultado de la recopilación realizada durante las fases de aprestamiento y diagnóstico se identificaron un total de 418 eventos en la cuenca (movimientos en masa) los cuales fueron incluidos en la base de datos respectiva. Adicionalmente se incluyeron una serie de eventos aportados por la CARDER en estudios anteriores para algunos sectores principalmente en los municipios de Santuario, Guática y Belén de Umbría los cuales no tienen descripciones específicas solo su ubicación y fueron usados como referente para la toma de la muestra de análisis como se observa en la Figura 91, dando como resultado un total de 469 eventos utilizados para el análisis. Dentro de las diversas fuentes consultadas para generar el inventario de movimientos en masa se encuentran la información suministrada por Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), CORPOCALDAS, sumada a la identificación en oficina durante el proceso de fotointerpretación y el reconocimiento en las diferentes misiones de campo. Como se muestra en la figura 84 la mayoría del inventario corresponde a eventos históricos obtenidos a través de información secundaria seguidos por los procesos identificados durante la fotointerpretación y etapa de campo.

Como se mencionó en la Caracterización histórica de eventos, se hizo una recopilación de las bases de datos suministradas por Desinventar, para así poder generar una zonificación inicial con respecto a este tipo de eventos (fenómenos de remoción en masa), se validaron, una totalidad de 418 eventos que hacen parte de los 895 totales que se registran en la base de datos anexa (anexo 11).

Basados en los datos anteriores y la validación efectuada en campo se determina que los resultados de análisis de susceptibilidad corresponde con los eventos históricos de la cuenca.

EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA RECOPIADOS E IDENTIFICADOS CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

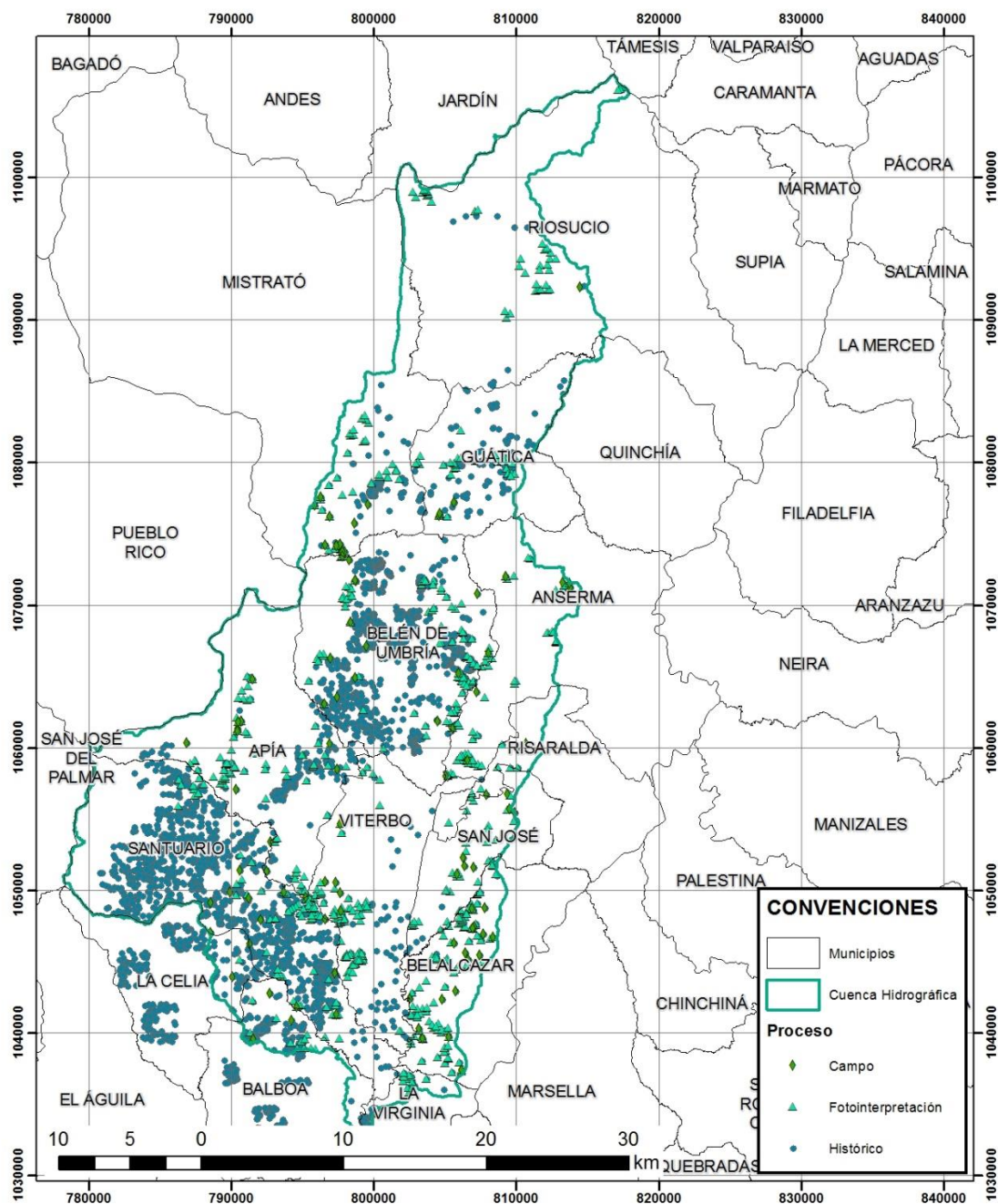


Figura 91 Eventos de movimientos en masa recopilados e identificados para la cuenca hidrográfica del río Risaralda

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

En forma de rombos y triángulos verdes se encuentran los puntos tomados por parte del consorcio como también los eventos históricos registrados en la etapa de campo y en las bases de datos entregadas por parte de las corporaciones, de estas solo 418 fueron registrados en la base de datos anexa, debido al filtro realizado para el análisis, es de aclarar que todos estos de igual modo fueron tomados para el análisis completo de la susceptibilidad.

Con puntos azules se registran los eventos históricos reportados por las corporaciones que no tienen datos adicionales a su localización y los cuales sirvieron algunos para la validación de los análisis de susceptibilidad, pero no fueron incluidos en la base de datos anexa.



Figura 92 Distribución de eventos por movimientos en masa por tipo de fuente

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

Como se observa en la Figura 93, la información recopilada muestra recurrencia alta y media (colores rojos y naranjas clasificados según el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en POMCAS). La gran mayoría de los eventos recopilados para el inventario de procesos por remoción en masa (86%) presentan una elevada recurrencia alta (evento en los últimos 15 años) y el restante son procesos ocurridos entre 15 y 50 años atrás, lo que los cataloga con una recurrencia media (ver Figura 94). Se observa que los acontecimientos registrados están condicionados principalmente por unidades ígneas plutónicas, vulcanosedimentarias recientes y cuaternarias poco consolidadas con gran contenido de material tamaño arcilla.

Al analizar la base de datos existente se procede a la selección de la muestra de análisis mediante el filtro y validación de la misma con los siguientes criterios:

- Pendiente de la ladera: eventos georreferenciados en zonas de pendientes inferiores a 12 grados o cercanos a la verticalidad.
- Zonas urbanas, de expansión, centros poblados y afectación antrópica del terreno: eventos que por su naturaleza obedecen a factores antrópicos y no tienen una relación intrínseca con la geometría ni la escala del estudio, razón por la cual se recomienda realizar estudios detallados en estas zonas que tengan en cuenta las modificaciones morfométricas detalladas.
- Eventos que no cuentan con un referente espacial puntual.

Luego de realizar este proceso se obtiene una base de 675 procesos inestables para la muestra de análisis y con los que se evalúa y calibra los modelos de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa.

RECURRENCIA DE EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

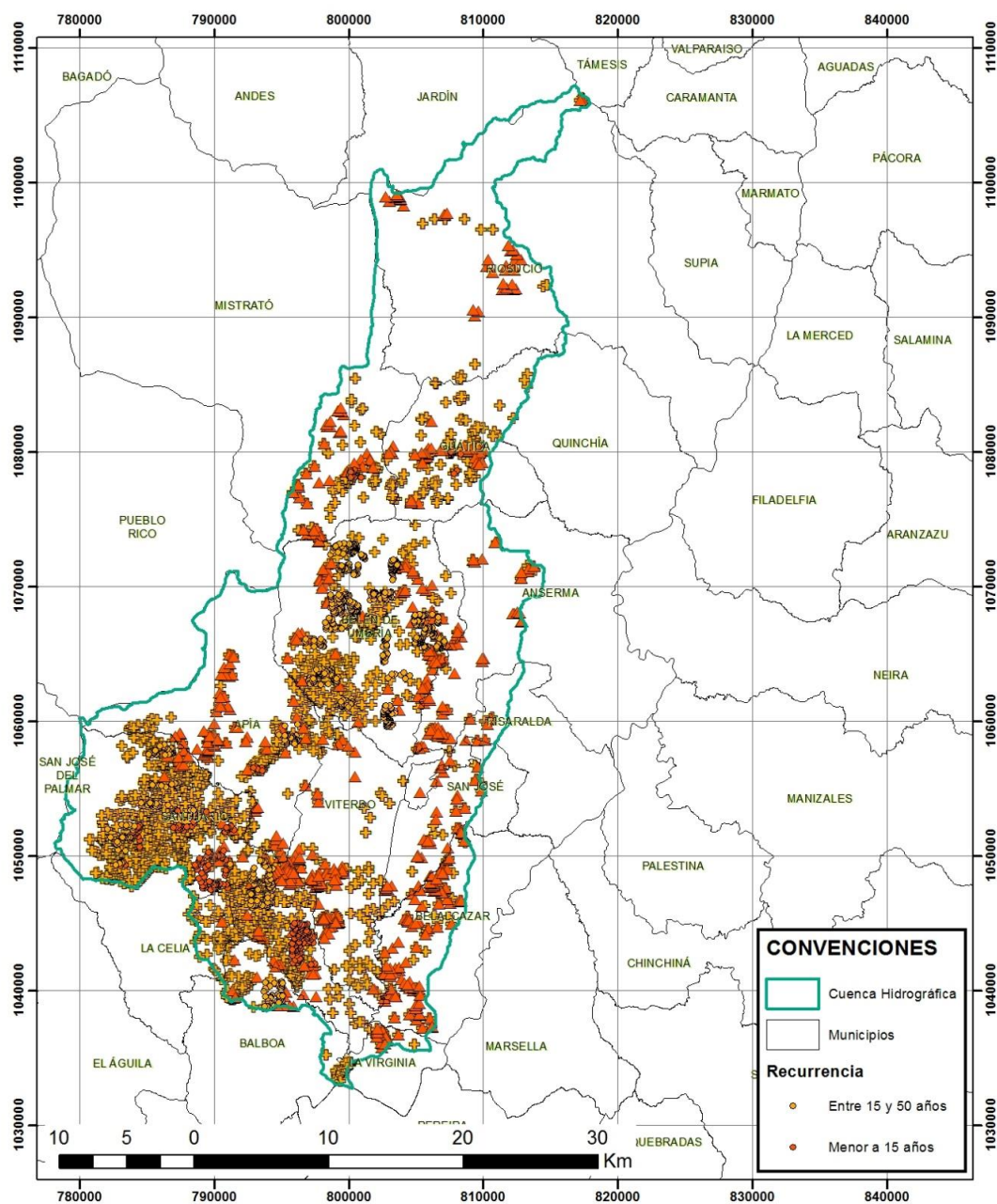


Figura 93 Recurrencia de eventos por movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del Río Risaralda

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda



Figura 94 Recurrencia de eventos de movimientos en masa identificados
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3. Identificación, clasificación y caracterización de fenómenos amenazantes y evaluación de la amenaza por movimientos en masa.

Un movimiento en masa es el proceso por medio del cual un volumen de material constituido por roca, suelo, escombros o una combinación de cualquiera de estos, se desplaza por una ladera o talud por acción de la gravedad. Suele ser conocido también como: fenómeno de remoción en masa, proceso de remoción en masa, derrumbe, deslizamiento, falla de talud, entre otros (IDIGER, 2016). Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve, su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. Si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, la meteorización sumada a otros factores detonantes (sismo, lluvia, acción del hombre) actúa sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición de planicie (Portilla, 2012).

Específicamente para identificar y caracterizar los eventos amenazantes para este tipo de procesos se compilaron varios puntos de eventos de movimientos en masa a partir de varias fuentes, dentro de las que se incluye reconocimiento de campo, eventos históricos e información secundaria consultada de las bases de datos de CARDER y DESINVENTAR dentro de la cuenca hidrográfica del río Risaralda.

El análisis de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para la cuenca del río Risaralda se realizó con base en la recopilación de eventos e información

necesaria para modelar cada fase mediante observaciones de las diferentes variables identificadas. Estos datos fueron cargados y analizados por medio de herramientas SIG., lo cual permitió evaluar de forma óptima su dinámica y relación espacial. Como tendencia general se observa que en la zona de topografía elevada que conforma la parte oeste de la cuenca en el municipio de Santuario ocurren eventos de movimientos en masa de manera frecuente.

4.4.5.3.1. Descripción metodológica para obtener susceptibilidad a movimientos en masa

El primer paso en este proceso es la determinación de variables, para esto y de acuerdo al evento y a las características de las zonas de estudio, se estableció que las variables condicionantes son: pendiente de ladera, pendiente senoidal de la ladera, rugosidad, curvatura, curvatura longitudinal, curvatura transversal, orientación de la ladera, insolación, distancia a drenajes, distancia a vías, distancia a fallas y lineamientos, acumulación de cuenca, longitud de cuenca acumulada, pendiente media de cuenca vertiente, geología, unidades geológicas superficiales, geomorfología y uso del suelo o cobertura. Lo anterior debido a que las variables mencionadas favorecen la ocurrencia de movimientos en masa por las características descritas para cada una de ellas en el numeral 4.4.5.3.2 del presente escrito.

Posteriormente se lleva a cabo la categorización y calificación de cada una de las variables condicionantes de acuerdo con clasificaciones establecidas en metodologías propuestas, cuyos resultados se encuentran igualmente en la descripción de cada variable (Ver numeral 4.4.5.3.2).

Para el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa se realizó una evaluación de factores de propensividad dentro de un análisis multivariante discriminante para la asignación de coeficientes o pesos dentro de una función discriminante ajustada por una variable agrupación definida como sitios estables e inestables considerando la metodología planteada por Carrara (1991), Baeza (1996), Nuria (2001), Santacana (2003) y Cardona (2013).

A partir de lo anterior, sumado a la obtención del mapa de susceptibilidad para estos movimientos en masa en el área la cuenca hidrográfica del río Risaralda, se procede a realizar el análisis de la zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa.

4.4.5.3.2. Descripción de las variables de susceptibilidad a movimientos en masa

A continuación, se describen las variables para la ponderación de los factores condicionantes:

4.4.5.3.2.1. Selección de la muestra de análisis (mm_lm_movt)

Está asociado con el inventario de movimientos en masa ubicados en la cuenca y es la información base para la ponderación de variables que participan en el modelamiento de la susceptibilidad, como se ve representado en la Figura 95 La muestra para sitios inestables surge del inventario de procesos desarrollado con fotointerpretación, trabajo de campo y de los catálogos históricos de eventos por movimientos en masa asociados a inestabilidad.

Todos estos se transformaron a tipo punto debido a que una proporción importante se cartografió tipo punto. Posteriormente se depuraron para que cada uno de los píxeles relacionados con inestabilidad sean completamente independientes y se validaron como se indicó en el numeral 4.4.5.2 para poder asignar un nivel de confianza mayor al 95% a la muestra de análisis seleccionada.

Según lo analizado en el numeral de eventos históricos por movimientos en masa, se determinan los siguientes aspectos referentes a los eventos ocurridos y que fueron la base para la determinación de la muestra de análisis:

Se determinaron un total de 418 eventos (movimientos en masa) reportados en la cuenca y los cuales hacen parte de la base de datos remitida, de los cuales se establecen 65 eventos como “Recientes” (activos) y 353 catalogados como “Antiguos”, como se puede apreciar en la salida cartográfica de Eventos antiguos y recientes del anexo 1.

Como información adicional y como fue descrito anteriormente se utilizaron algunos eventos reportados por La CARDER los cuales solo tienen su ubicación, pero sin información particular, por lo cual se utilizaron algunos de ellos para la determinación de las zonas inestables y con el fin de obtener datos más ajustados al territorio y los cuales no fueron incluidos en la base de datos anexa.

De acuerdo con lo anterior, adicionalmente a los 418 eventos que conforman las categorías de “Antiguos” y “Recientes”, se utilizaron 257 eventos adicionales aportados por CARDER, los cuales no fueron incluidos en la base de datos ya que solo presentaban su ubicación sin datos adicionales, pero que sirvieron como referente de puntos inestables en la cuenca, que finalmente conforman la muestra

final de análisis compuesta por 675 puntos Inestables y un número similar de 675 Estables.

La muestra de análisis se puede obtener extrayendo un porcentaje de la población total elegida de manera aleatoria y que sea representativa de la población total. Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$\text{Tamaño de la muestra } (n) = \frac{k^2 pqN}{e^2(N-1) + k^2 pq}$$

N es el tamaño de la población, esto es 675 procesos inestables.

k es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos que indica la probabilidad de que los resultados de la investigación sean ciertos. Típicamente se usa un nivel de confianza del 95% que corresponde con un valor de k igual a 1.96.

e es el error deseado si se compara la población con la muestra. Se usa generalmente un error de 5%.

p y **q** son proporciones de individuos que poseen la misma característica de estudio. Son valores desconocidos por lo cual se asumen con valor de 0.5.

Al calcular el tamaño de la muestra se obtiene un valor de 245 procesos inestables para análisis. No obstante, es preciso definir puntos estables y generar un factor de agrupación para aplicar el discriminante y para este caso del área tributaria del Río Risaralda es definitivamente mejor usar toda la población y no una muestra pues, según Cardona (2013), es preferible obtener un modelo con mayor sensibilidad que clasifique correctamente la mayor cantidad de deslizamientos.

Debido a que el análisis discriminante trabaja bien cuando las poblaciones (celdas estables e inestables) tienen un tamaño similar en la muestra (Baeza, 1994), se definieron sitios estables que corresponden con ubicación aleatoria de celdas donde se asume que son áreas estables por no tener eventos históricos ni inventario de procesos por movimientos en masa.

Finalmente, la unión de zonas inestables y estables definidas, al ser completamente independientes entre sí como celdas relacionadas se toma completa como muestra de análisis de manera completa para no descartar casos importantes dentro del modelo.

La muestra definitiva para el análisis se observa en la siguiente figura

- Formato: Vector tipo punto.
- Fuente: Base de datos de información de campo, eventos históricos proporcionados por las bases de datos y fotointerpretación realizada por el consorcio.

EVENTOS PARA EVALUAR SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

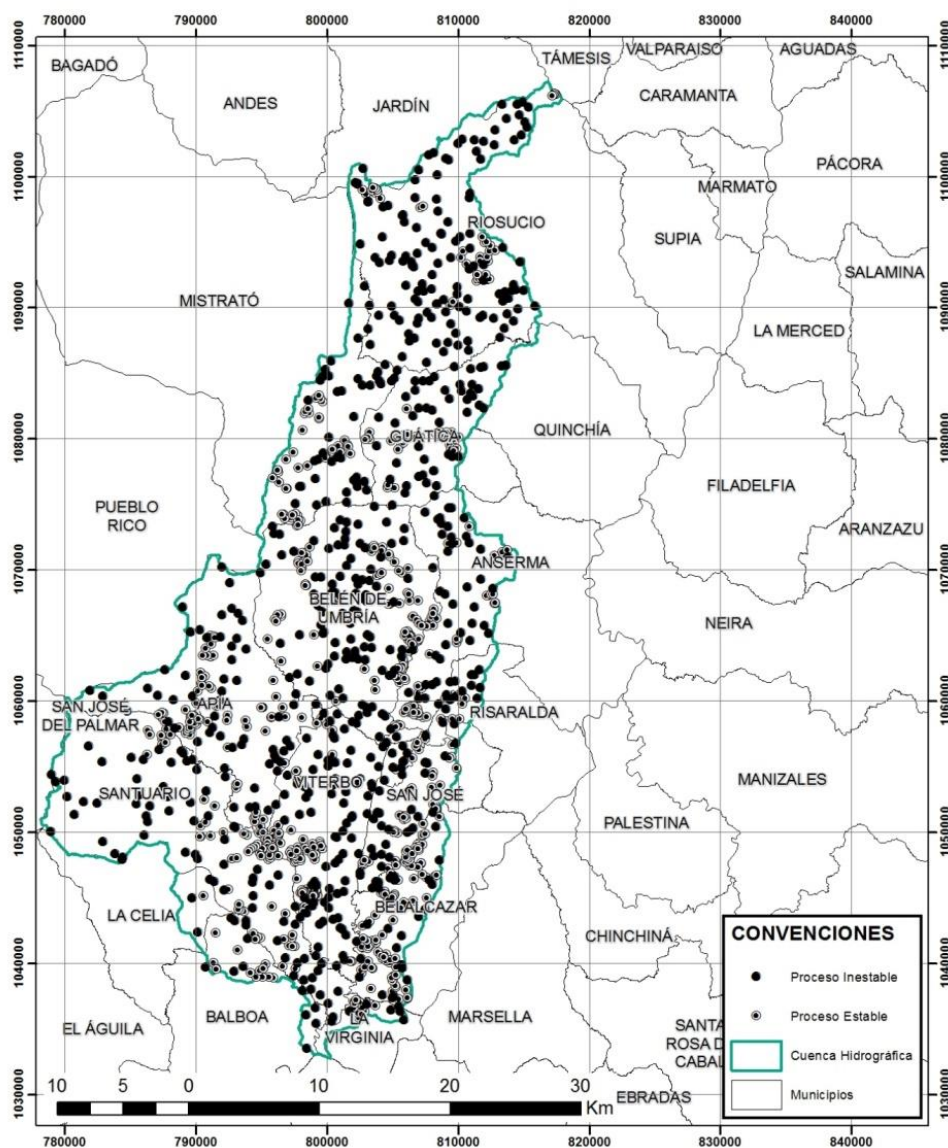




Figura 95 Localización de eventos de remoción en masa en función a la susceptibilidad a movimientos en masa

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

El análisis de la distribución espacial y el comportamiento de esta variable para el área de la cuenca del río Risaralda se describieron previamente, lo cual puede ser consultado detalladamente en el numeral 4.4.5.3.

4.4.5.3.2.2. Factores condicionantes

4.4.5.3.2.2.1. Modelo digital de elevación (dem)

El Modelo digital de elevación (DEM) es una matriz (Raster) en la que el valor de cada pixel corresponde a la altitud sobre el nivel del mar en metros del mismo el cual presenta una resolución de 12,5 m. Este factor constituye el insumo de entrada para obtener las variables que componen las características geométricas de la ladera (CGL): PEND, PENDS, ASPECT, INSOL, RUGOS, CURVAR, PERFIL, PLA, ACUENCA Y LONG.

- Formato: Raster (Valor de celda indica el valor de la elevación).
- Fuente: Cartografía Base.

MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

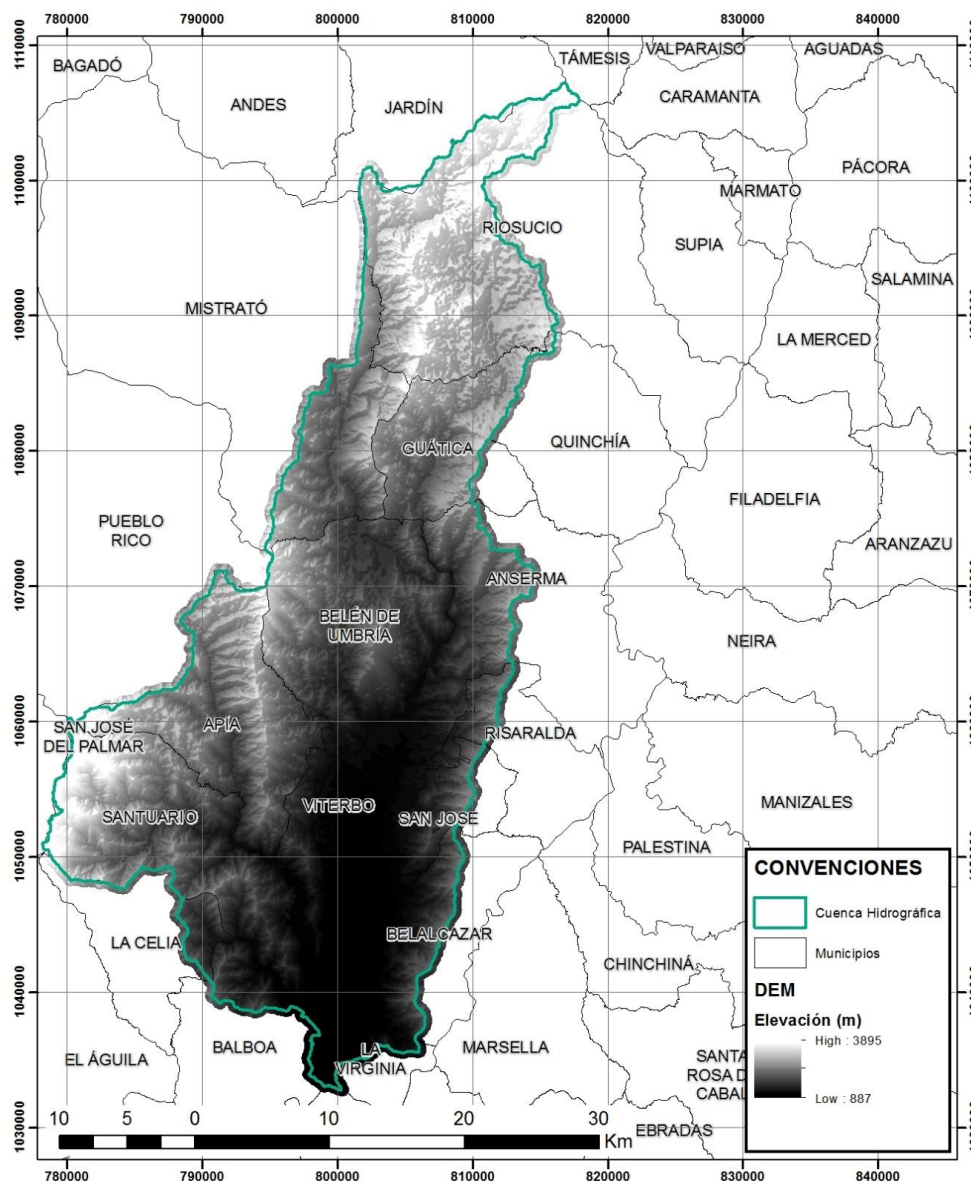


Figura 96 Modelo Digital de Elevación (DEM)
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2. Características geométricas de la ladera (cgl)

Las variables que constituyen las características geométricas de la ladera, también llamadas variables derivadas del DEM para el sector de la cuenca hidrográfica del río Risaralda, incluyen: pendiente de ladera, pendiente senoidal de ladera, rugosidad, curvatura del terreno, curvatura longitudinal, curvatura transversal, insolación, orientación ladera, acumulación de la cuenca y longitud de cuenca acumulada. Estos factores se encuentran representados en los siguientes subcapítulos y se definen a continuación.

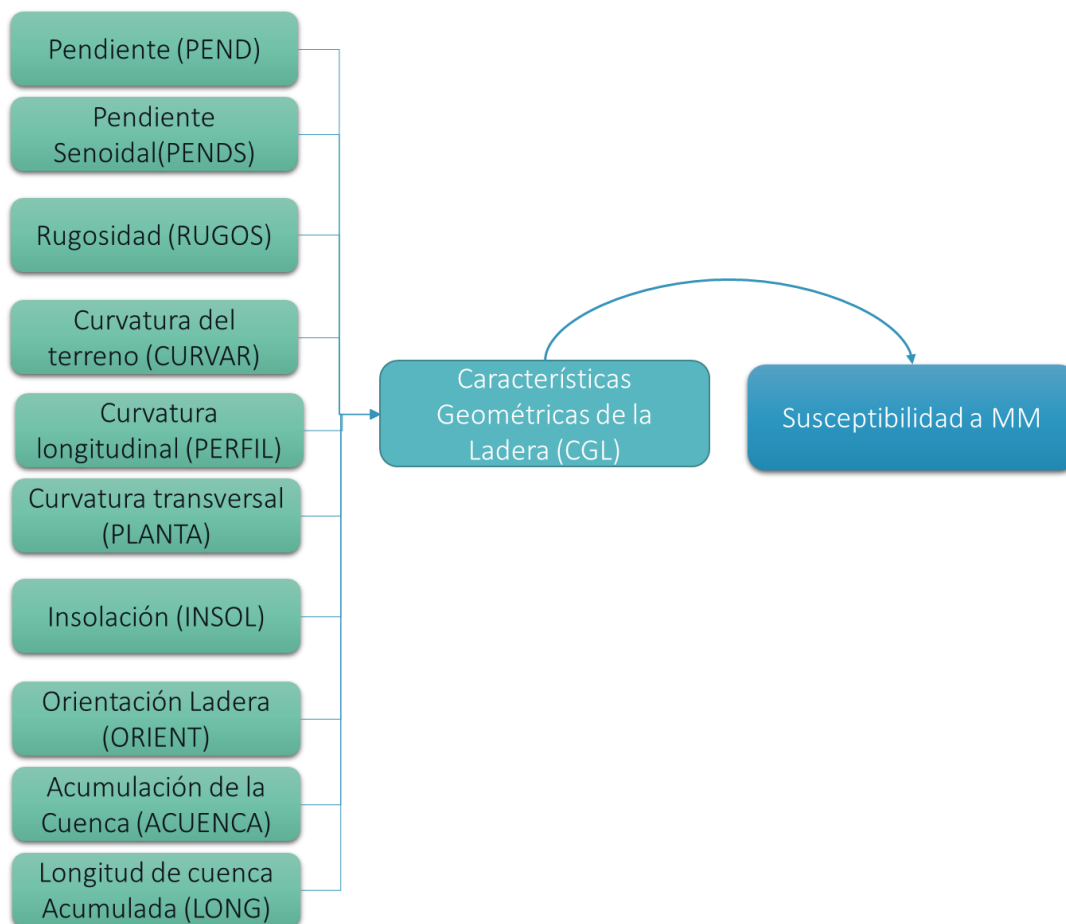


Figura 97 Características geométricas de la ladera en función a la susceptibilidad a movimientos en masa

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.1. PENDIENTE DE LA LADERA (PEND)

Hace referencia al ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, su importancia radica en la influencia del factor sobre la estabilidad del suelo como factor geométrico.

- Formato: Raster
- Fuente: Derivado del DEM

Para esta variable se normalizaron sus valores entre 0 y 1, siendo 0 muy poco susceptible y 1 muy susceptible.

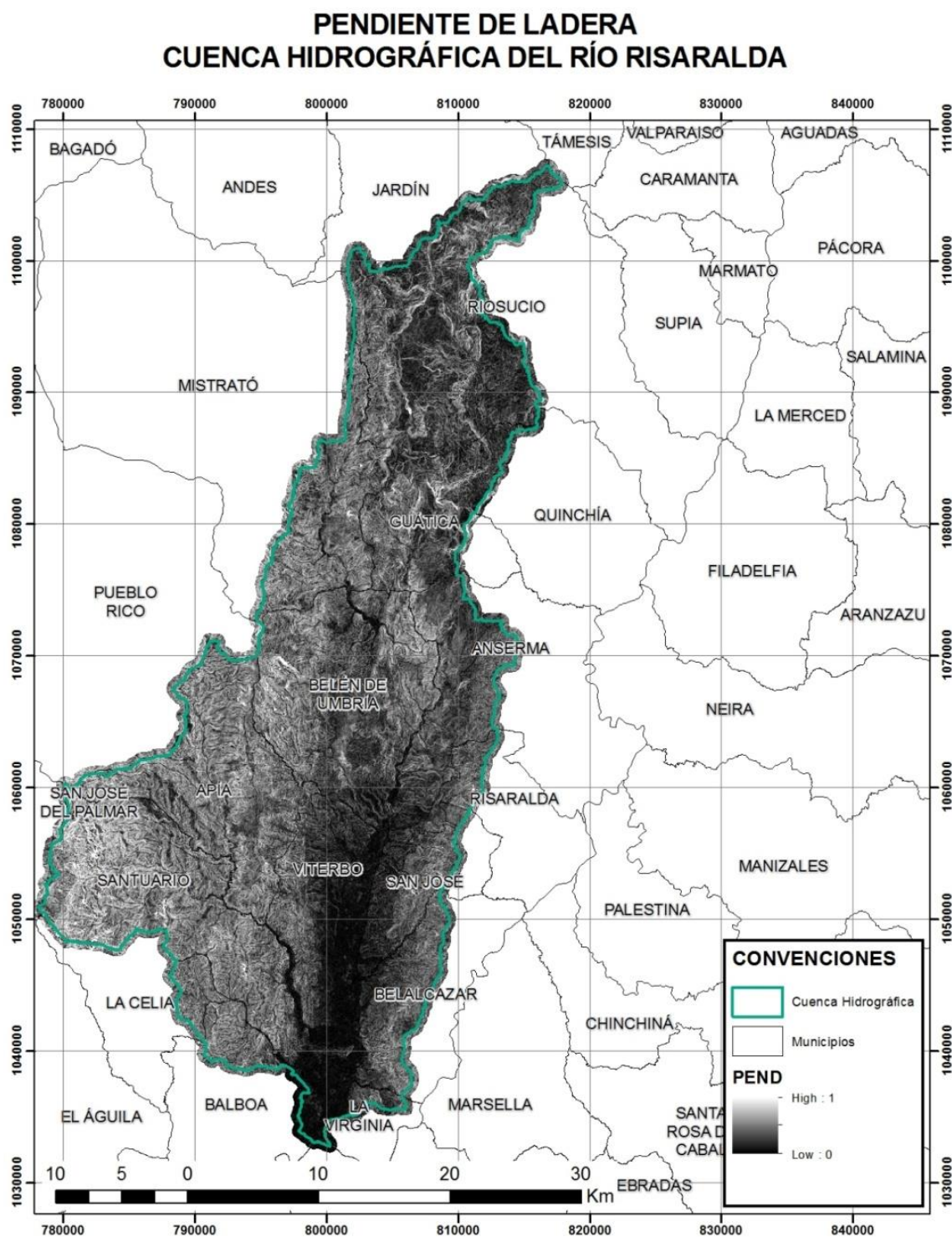


Figura 98 Pendiente de ladera
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.2. Pendiente senoidal de la ladera (pends)

Corresponde a la pendiente senoidal de la ladera que tiene un comportamiento relevante con respecto a las zonas de rotura de los deslizamientos superficiales, pues la afectación del aumento de la pendiente es proporcional hasta los 45°, valor a partir del cual empieza a tener un comportamiento inversamente proporcional.

- Formato: Ráster.
- Fuente: Derivado del DEM.

Debido a que los valores de Pendiente Senoidal de la Ladera varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno es más estable y 1 cuando el terreno es más susceptible a sufrir un evento de remoción en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

PENDIENTE SENOIDAL DE LADERA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

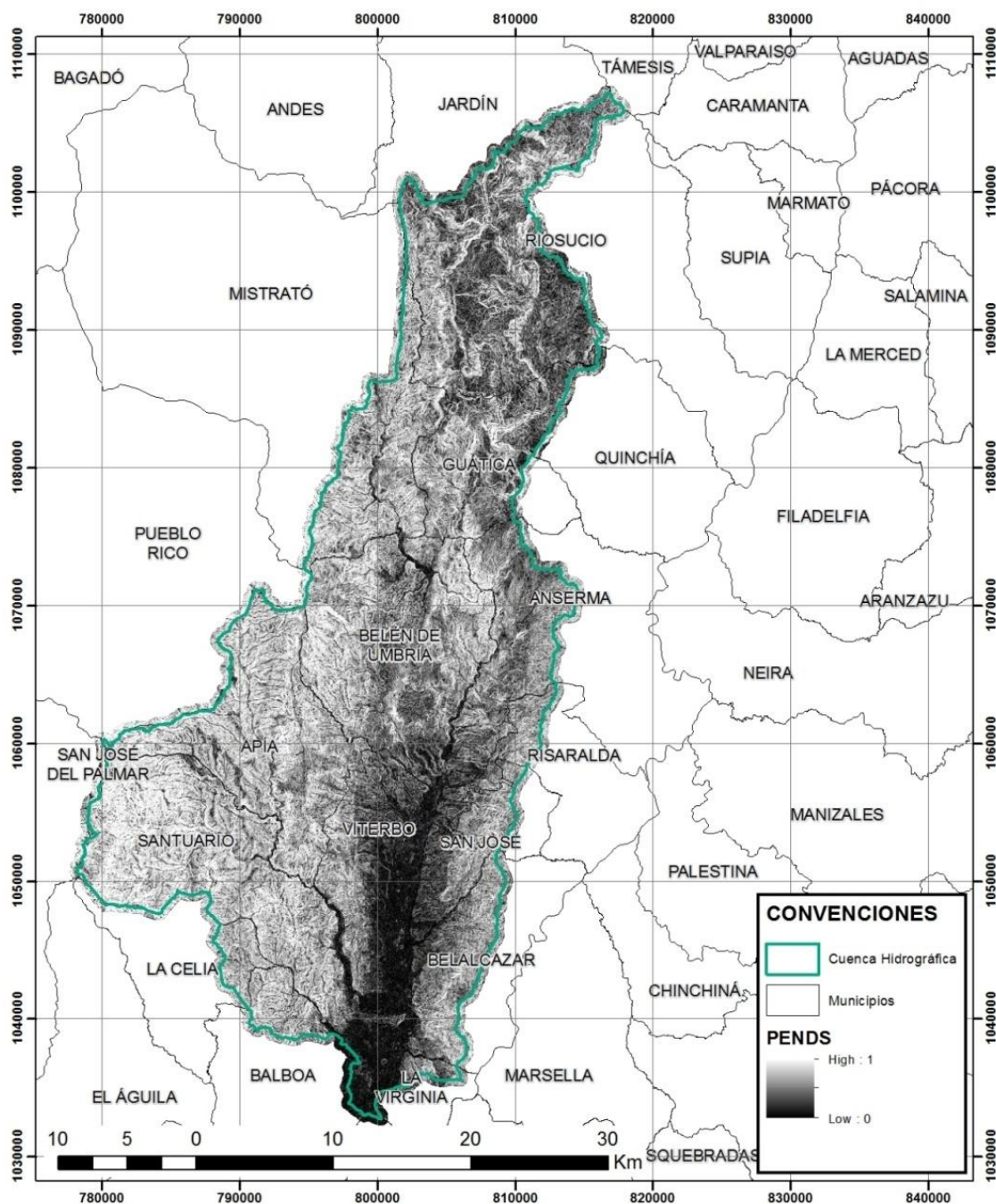


Figura 99 Pendiente senoidal de ladera
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.3. Rugosidad o variación de la pendiente del terreno (rugos)

Corresponde a la desviación del vector normal a la superficie de cada celda permitiendo definir límites de taludes y laderas. Además tiene un impacto en los deslizamientos pues a mayores cambios de pendiente aumenta su probabilidad.

- Formato: Ráster.
- Fuente: Derivado del DEM.

Debido a que los valores de Rugosidad varían de 0 a 1, donde 0 significa que le terreno no presenta variación alguna y 1 cuando el terreno presenta alta variación, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

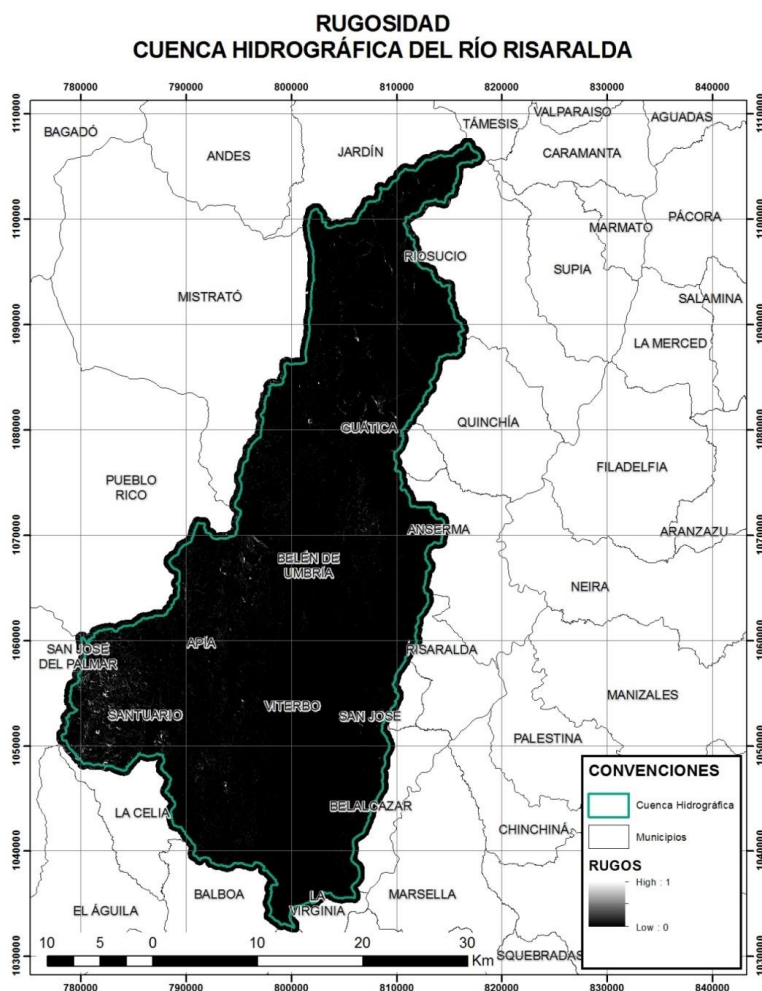


Figura 100 Rugosidad
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.4. Curvatura del terreno (curvar)

Corresponde al grado de curvatura de cada celda a evaluar con respecto al plano vertical. Su relación con el modelo está dada por el grado de concentración del drenaje superficial, el cual aumenta en las zonas con mayor concavidad. En la Tabla 51 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno utilizada en el presente estudio.

- Formato: Ráster.
- Fuente: Derivado del DEM.

Tabla 51. Calificación y categorización de curvatura del terreno

CURVATURA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<-0,3	Alta	1
-0.3 – 0.3	Moderada	0,5
>0,3	Baja	0

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

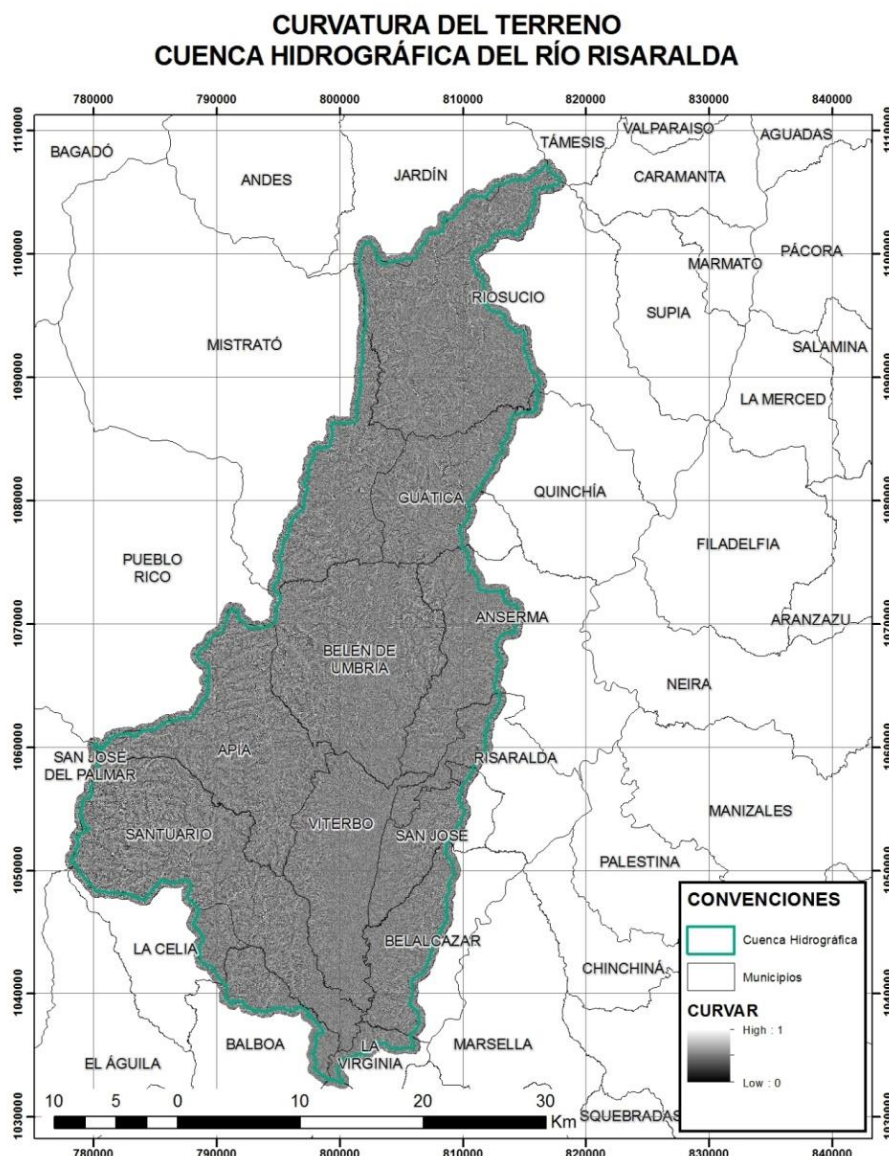


Figura 101 Curvatura del Terreno
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.5. Curvatura con respecto al perfil (perfil)

Hace referencia al grado de curvatura, pero a diferencia de la variable CURVAR, esta se mide de manera longitudinal y tiene una repercusión en la generación de erosión y deposición, debido a su impacto en la escorrentía y la aceleración del flujo. En la Tabla 52 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil utilizada en el presente estudio.

- Formato: Ráster.
- Fuente: Derivado del DEM.

Tabla 52. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al perfil

CURVATURA LONGITUDINAL	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<-0,3	Alta	1
-0.3 – 0.3	Moderada	0,5
>0,3	Baja	0

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

CURVATURA DEL TERRENO CON RESPECTO AL PERFIL CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

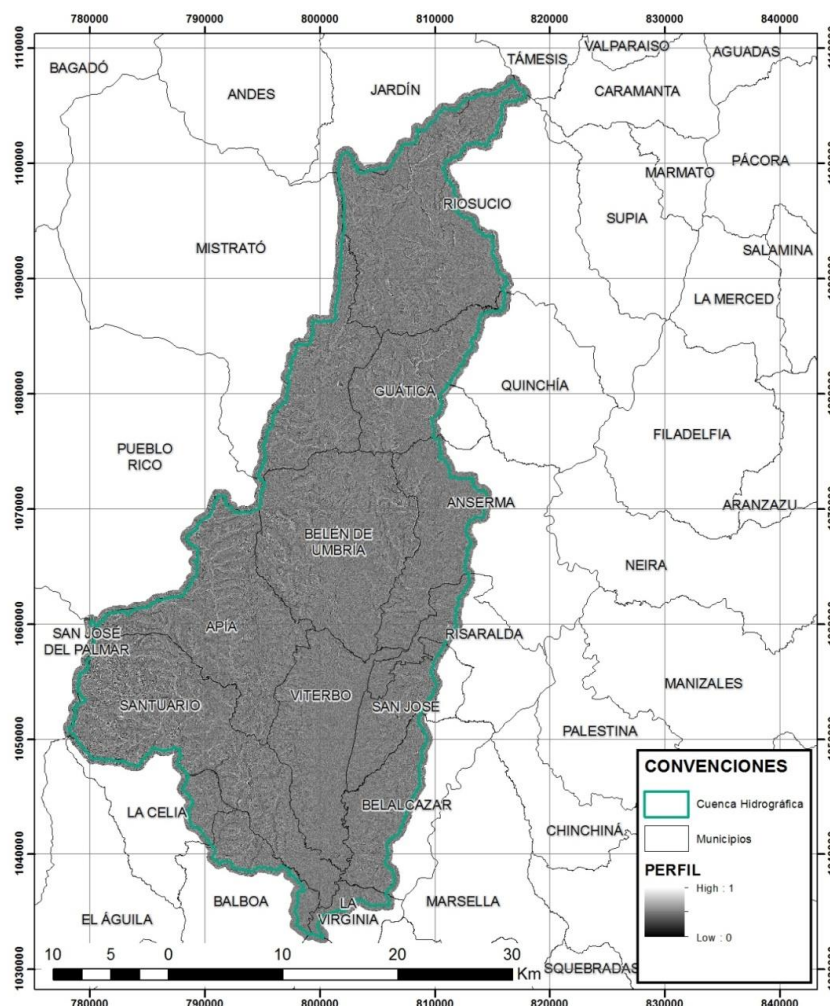


Figura 102 Curvatura del terreno con respecto al perfil

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.5.3.2.2.6. Curvatura con respecto al plano horizontal (planta)

Esta variable también está asociada con la curvatura del terreno, pero para este caso es medido en la dirección perpendicular de la pendiente. Indica la convergencia del flujo hacia la celda. En la Tabla 53 se presenta la calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al plano horizontal utilizada en el presente estudio.

- Formato: Ráster.
- Fuente: derivado del DEM.

Tabla 53. Calificación y categorización de curvatura del terreno con respecto al plano horizontal

CURVATURA TRANSVERSAL	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
<-0,3	Alta	1
-0.3 – 0.3	Moderada	0,5
>0,3	Baja	0

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

CURVATURA DEL TERRENO CON RESPECTO AL PLANO HORIZONTAL **CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA**

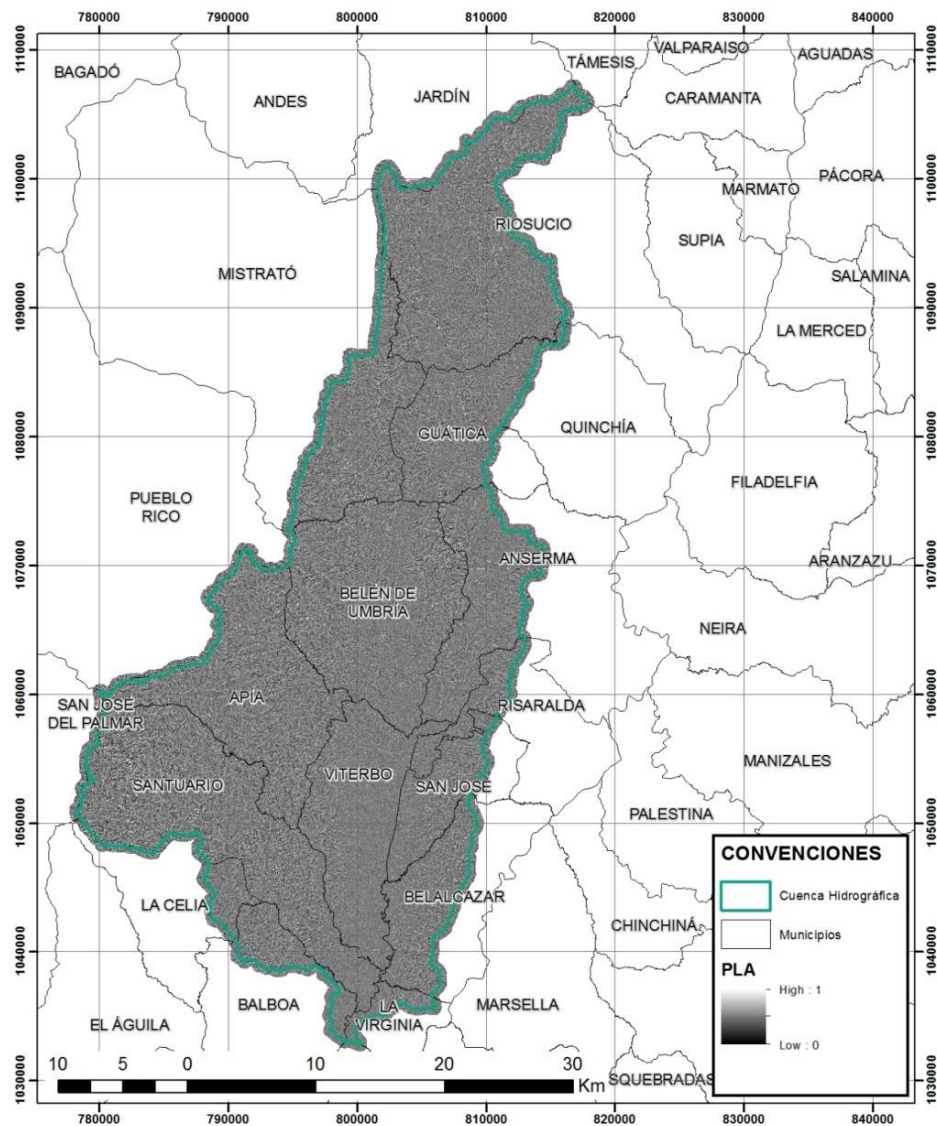


Figura 103 Curvatura del terreno con respecto al plano horizontal
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

4.4.5.3.2.2.7. INSOLACIÓN (INSOL)

Corresponde al coeficiente de iluminación o intensidad reflejada de la superficie terrestre, indicando el tiempo en que cada punto a evaluar dentro de la cuenca se encuentra en la sombra, lo que tiene incidencia en la humedad del suelo y a cambios bruscos.

- Formato: Ráster.
- Fuente: Derivado del DEM.

Esta variable fue calculada con el promedio de 10 Ráster que se generaron variando azimut y altitud de la siguiente manera: 5 Ráster generados con azimut 315 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90. Y 5 Ráster generados con azimut 135 y variación de altitud 18, 36, 54, 72, 90.

Debido a que los valores de Insolación varían de 0 a 1, donde 0 significa que el terreno presenta menor retención de humedad y en consecuencia menor susceptibilidad a eventos de movimientos en masa, la calificación para esta variable es equiparable con su valor

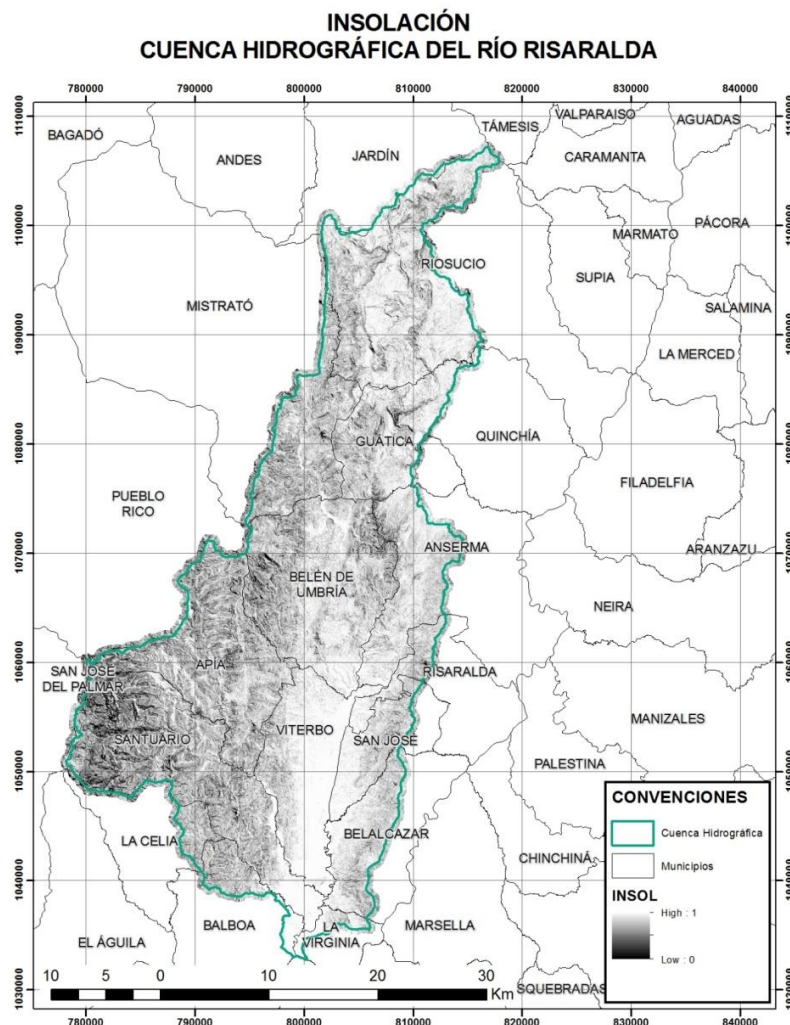


Figura 104 Insolación
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.8. Orientación de la ladera (orient)

Hace referencia a la dirección de exposición de la ladera para cada punto de la cuenca a evaluar, y se adiciona con el fin de tener en cuenta tres elementos. Inicialmente es una forma de evaluar de manera indirecta la insolación (y por tanto su estado de humedad frecuente), también es un indicador para la cantidad de vegetación pues en las zonas sombrías se puede presentar vegetación con mayor estabilidad por la presencia de raíces en algunos casos y un tercer elemento está asociado con la cantidad de lluvia recibida “según la dirección de avance de los frentes nubosos”. En la Tabla 54 se presenta la calificación y categorización de la

orientación de la ladera utilizada para realizar el análisis de la variable en el presente estudio.

- Formato: Ráster.
- Fuente: Derivado del DEM.

Tabla 54. Calificación y categorización de la orientación de la ladera

ORIENTACIÓN DE LADERA	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
-1	Baja	0
0 – 22.5	Alta	1
22.5 – 67.5	Moderada	0,66
67.5 – 112.5	Baja	0,33
112.5 – 157.5	Moderada	0,66
157.5 – 202.5	Alta	1
202.5 – 247.5	Moderada	0,66
247.5 – 292.5	Baja	0,33
292.5 – 337.5	Moderada	0,66
337.5 – 360	Alta	1

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

ORIENTACIÓN DE LA LADERA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

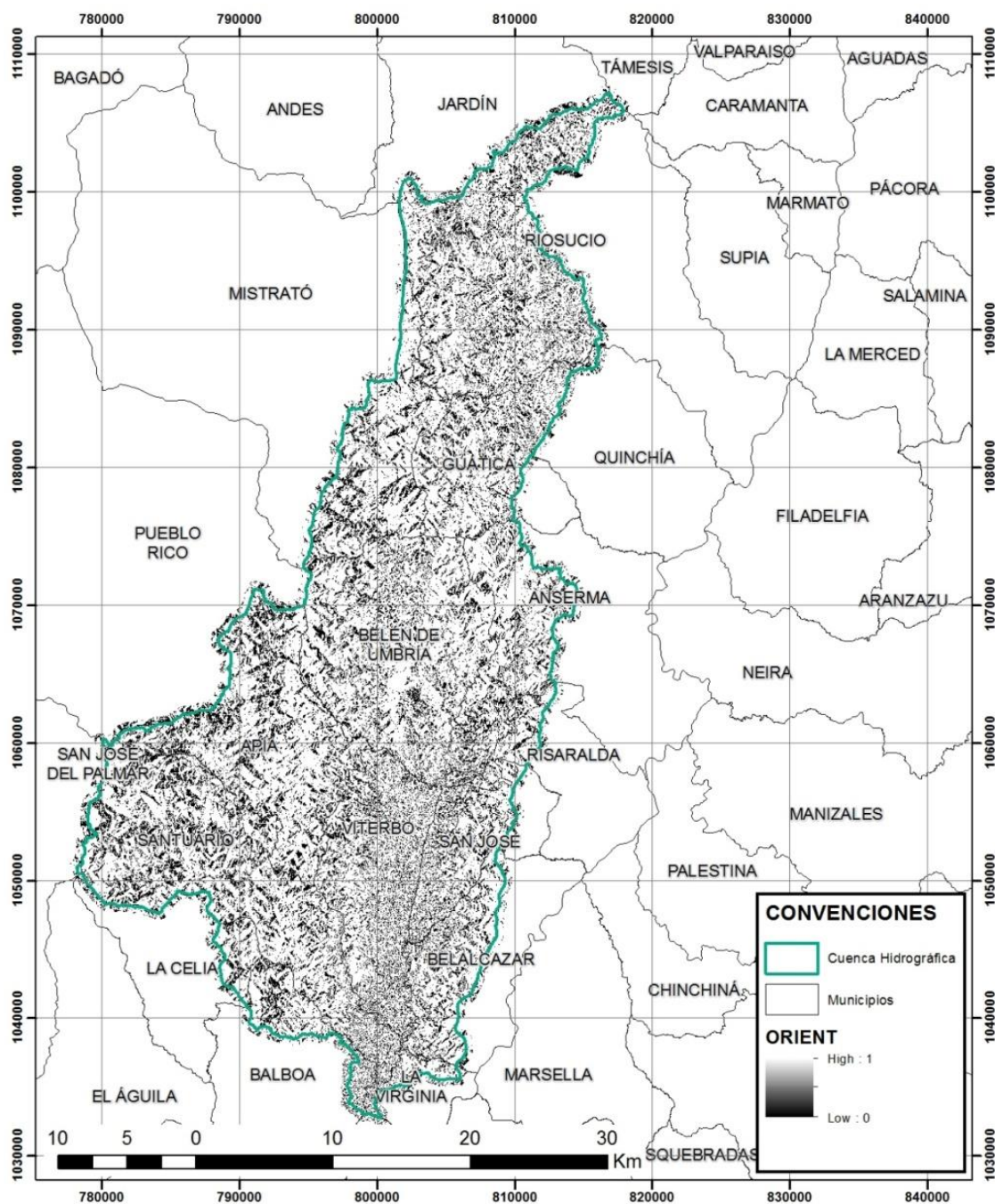


Figura 105 Orientación de la ladera
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.9. Acumulación de la cuenca (cuenca)

La acumulación de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en el terreno. A mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de producir roturas. Se obtiene a partir de la dirección del flujo, el cual permite posteriormente calcular la acumulación por cada celda del DEM.

- Formato: Ráster.
- Fuente: Derivado del DEM.

Debido a que sus valores varían entre 0 y 1, donde 1 hace referencia a las zonas de mayor acumulación de agua y 0 las zonas de menor acumulación de agua, la calificación para esta variable es equiparable con su valor.

ACUMULACIÓN DE LA CUENCA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

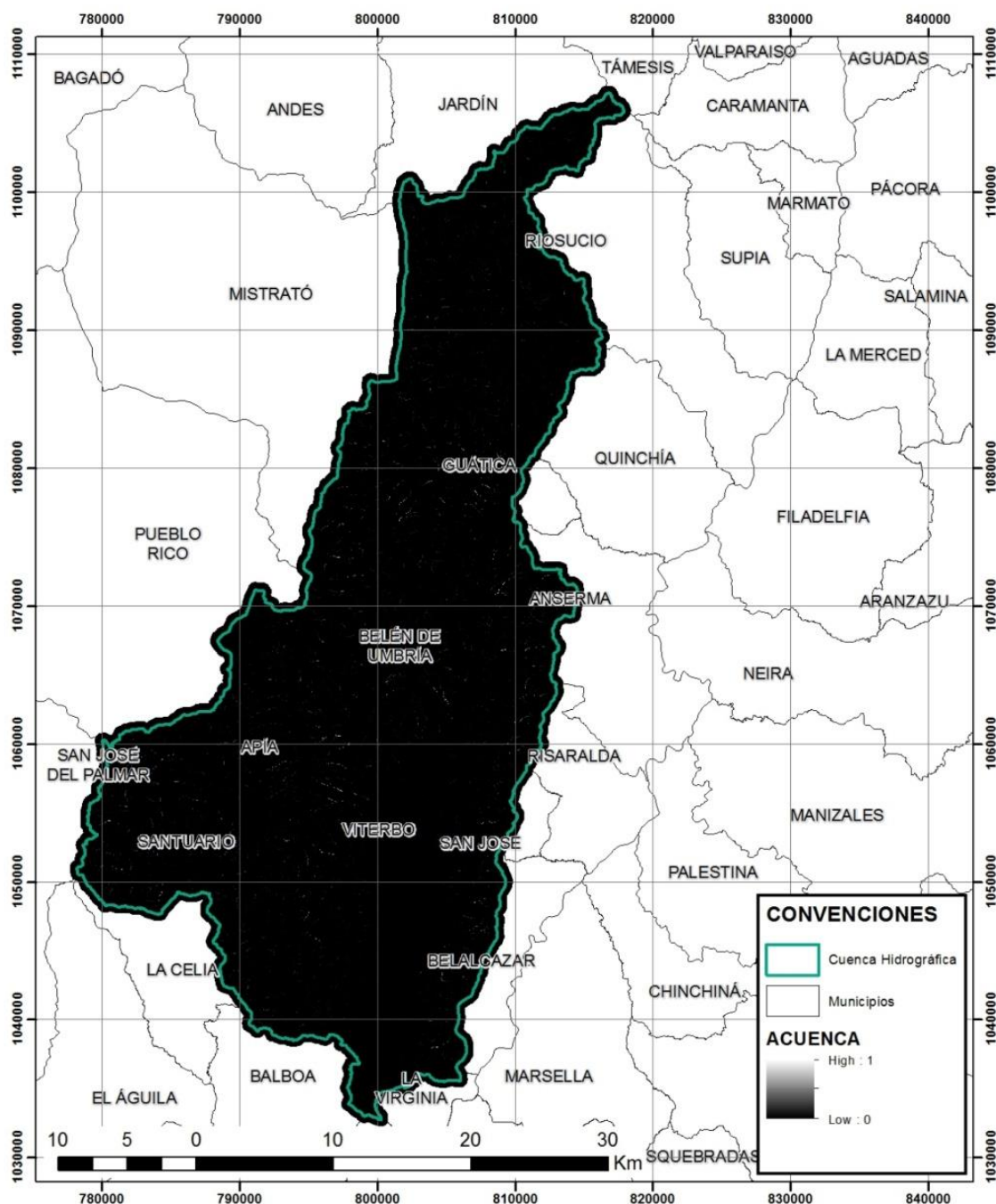


Figura 106 Acumulación de la cuenca
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.10. Longitud de cuenca acumulada (long)

Esta variable da una indicación del tamaño de la cuenca acumulada, la capacidad de la misma para concentrar agua subterránea y de la posible acumulación de sedimentos. Se obtiene a partir de la dirección de flujo que permite posteriormente calcular la longitud máxima de la cuenca acumulada para cada celda del DEM.

- Formato: Ráster.
- Fuente: Derivado del DEM.

LONGITUD DE CUENCA ACUMULADA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

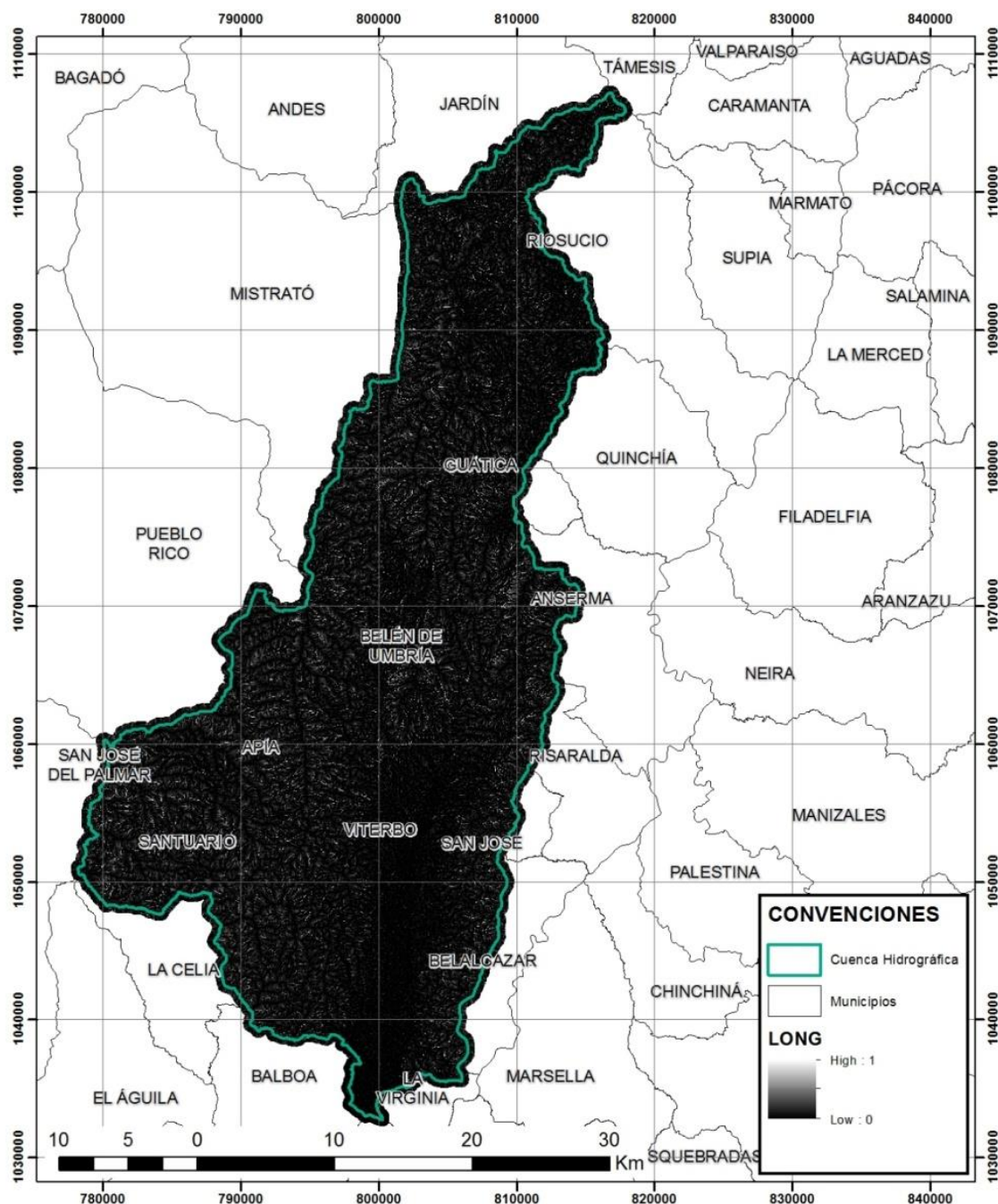


Figura 107 Longitud de cuenca acumulada
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.3. Variables con relación de proximidad (vrp)

Este tipo de variables se encuentran representadas en los siguientes subcapítulos y se definen a continuación

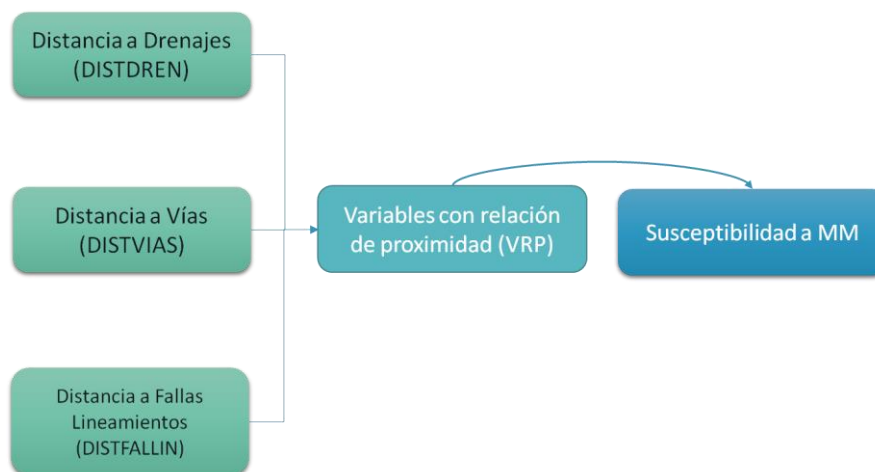


Figura 108 Variables con relación de proximidad en función a la susceptibilidad a movimientos en masa.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.4.5.3.2.2.3.1. Densidad de drenaje y distancia a drenajes (distdren)

Estas variables hacen referencia a la presencia del sistema de la red de drenaje, la cual se relaciona con el gradiente promedio y áreas de drenaje de las corrientes, cuya presencia favorece la ocurrencia de movimientos en masa por efecto de la socavación lateral en los márgenes laterales. Se puede definir espacialmente como densidad de drenaje o como influencia por proximidad, siendo la primera importante para el efecto del tiempo de concentración de caudales y generación de avenidas torrenciales y el segundo importante para considerar el efecto de socavación en la generación de deslizamientos en los márgenes de los cuerpos de agua. Para el presente análisis no se consideró la densidad de drenaje por ser mutuamente dependiente con la distancia a drenajes sin limitación de proximidad. En la Tabla 55 se presenta la calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua utilizada para el presente estudio.

- Formato: Vector tipo línea.
- Fuente: IGAC escala 25.000.

Tabla 55. Calificación y categorización de la distancia a cuerpos de agua

DISTANCIA A CUERPOS DE AGUA (Grosor del	CATEGORÍA DE	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 - 20	Alta	0,9
20 – 30	Alta	0,8
30 – 40	Alta	0,7
40 – 50	Moderada	0,6
50 – 60	Moderada	0,5
60 – 70	Moderada	0,4
70 – 80	Baja	0,3
80– 90	Baja	0,2
100	Baja	0,1

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

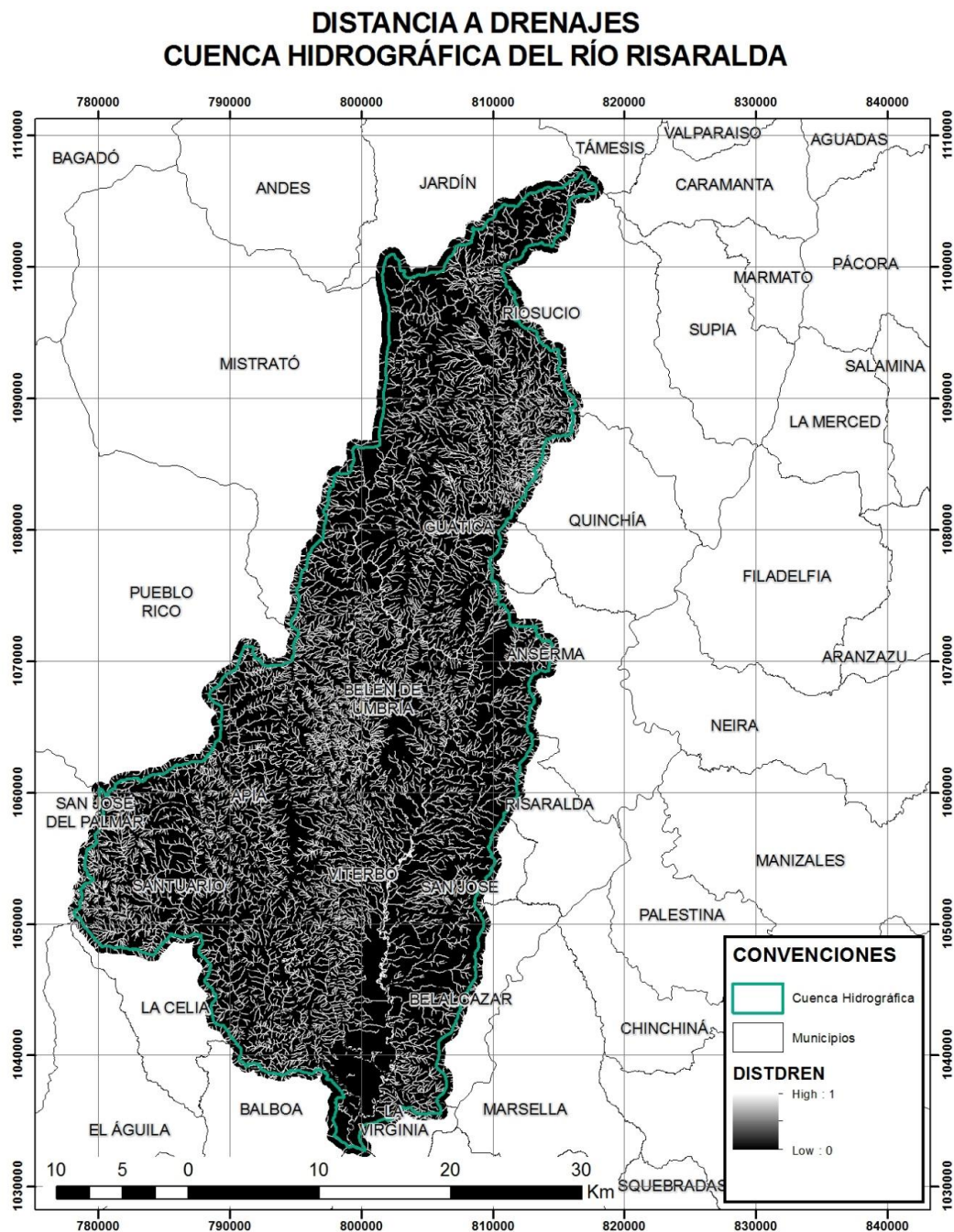


Figura 109 Relación de proximidad de la distancia a un drenaje en función a la susceptibilidad a movimientos en masa
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.3.2. Distancia a vías (distvías)

Corresponde a las zonas en las que por el paso de las vías se concibe presencia antrópica por la facilidad de acceso que genera, y el área es determinada mediante la obtención de la densidad vial de acuerdo con la influencia que esta presenta para cada pixel, adicionalmente se tiene en cuenta el tipo de vía, asignándole un peso de 10 a las de más alta categoría y disminuyendo una unidad por cada tipo. En la Tabla 56 se presenta la calificación y categorización de la distancia a vías utilizada en el presente estudio.

- Formato: Vector tipo línea.
- Fuente: IGAC escala 25.000.

Tabla 56. Calificación y categorización de la distancia a vías

DISTANCIA A VÍAS (Grosor del buffer en m)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 - 20	Alta	0,9
20 – 30	Alta	0,8
30 – 40	Alta	0,7
40 – 50	Moderada	0,6
50 – 60	Moderada	0,5
60 – 70	Moderada	0,4
70 – 80	Baja	0,3
80– 90	Baja	0,2
100	Baja	0,1

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

DISTANCIA A VÍAS CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

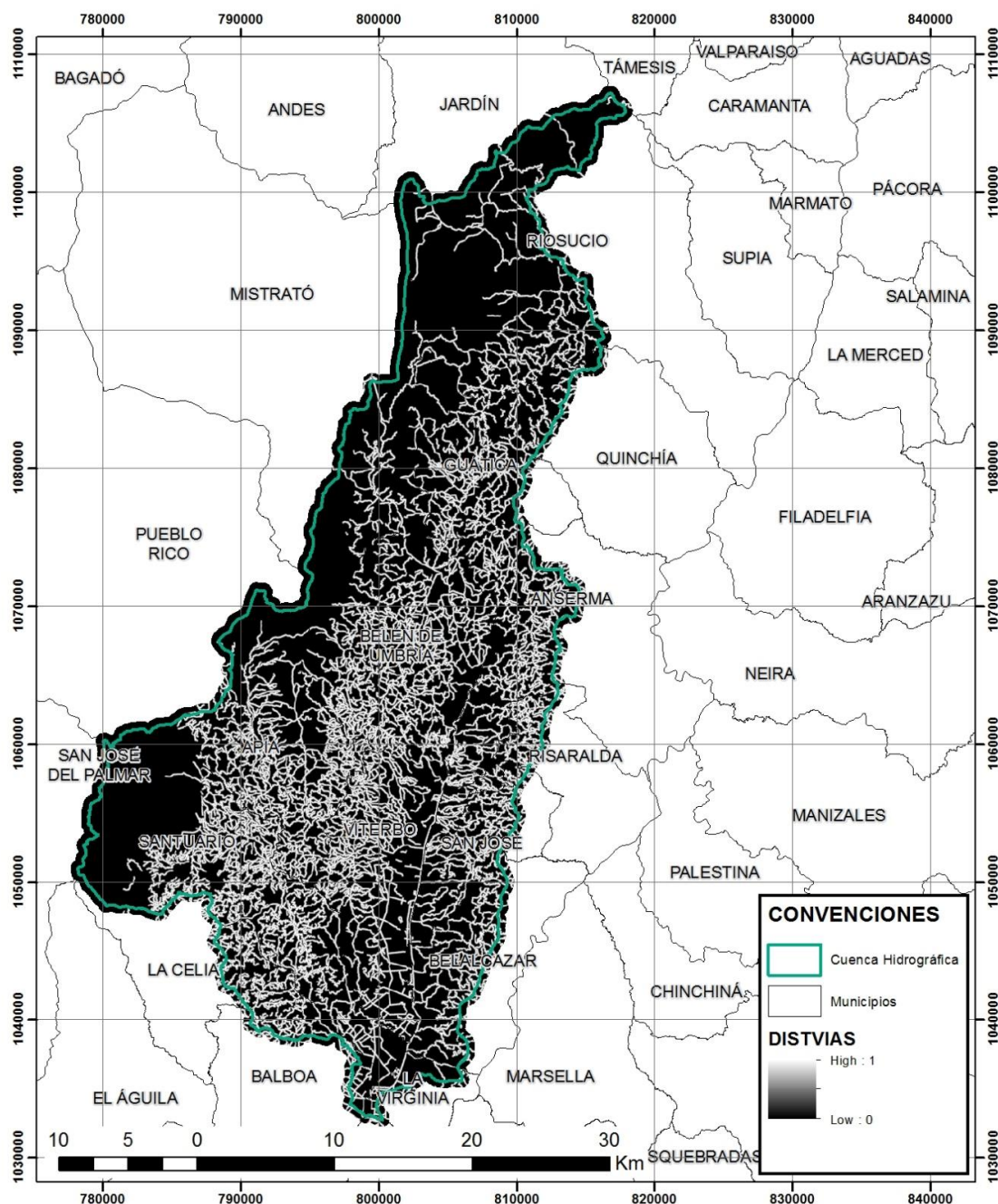


Figura 110 Relación de proximidad de la distancia a una vía en función a la susceptibilidad a movimientos en masa

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.3.3. Densidad de fracturamiento asociado a Fallas y lineamientos. Distancia a fallas (distfallin)

Corresponde a las discontinuidades estructurales regionales de los macizos rocosos que disminuyen la resistencia de este, aumentando la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

Si bien en el numeral 2.3.1 se efectuó el análisis de densidad de fracturamiento para elementos estructurales (fallas y lineamientos), según la metodología IDEAM (2012), en la cual se evalúa la tasa de movimientos para algunas de las fallas presentes, para los cálculos de susceptibilidad se procedió al análisis de la densidad de fracturamiento según la proximidad de las rocas al elemento estructural presente, estableciendo unos rangos de distancia que representa un escenario más estricto y que para efectos del análisis de susceptibilidad presentará mejores resultados ante la ausencia de datos de tasas de movimientos para la totalidad de fallas y lineamientos como lo plantea la metodología IDEAM (2012).

En consecuencia, entre más proximidad exista entre la roca y la falla, menor será su capacidad de resistencia a los procesos denudacionales. Por lo anterior se realiza la siguiente clasificación y calificación, representado en la Tabla 57.

- Formato: Vector tipo línea.
- Fuente: SGC.

Tabla 57. Calificación y categorización de la distancia a fallas y lineamientos

DISTANCIA FALLAS Y LINEAMIENTOS (Grosor del buffer en m)	CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
0 – 10	Alta	1
10 – 20	Alta	0,9
20 – 30	Alta	0,8
30 – 40	Alta	0,7
40 – 50	Moderada	0,6
50 – 60	Moderada	0,5
60 – 70	Moderada	0,4
70 – 80	Baja	0,3
80 – 90	Baja	0,2
100	Baja	0,1

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

DISTANCIA A FALLAS Y LINEAMIENTOS CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

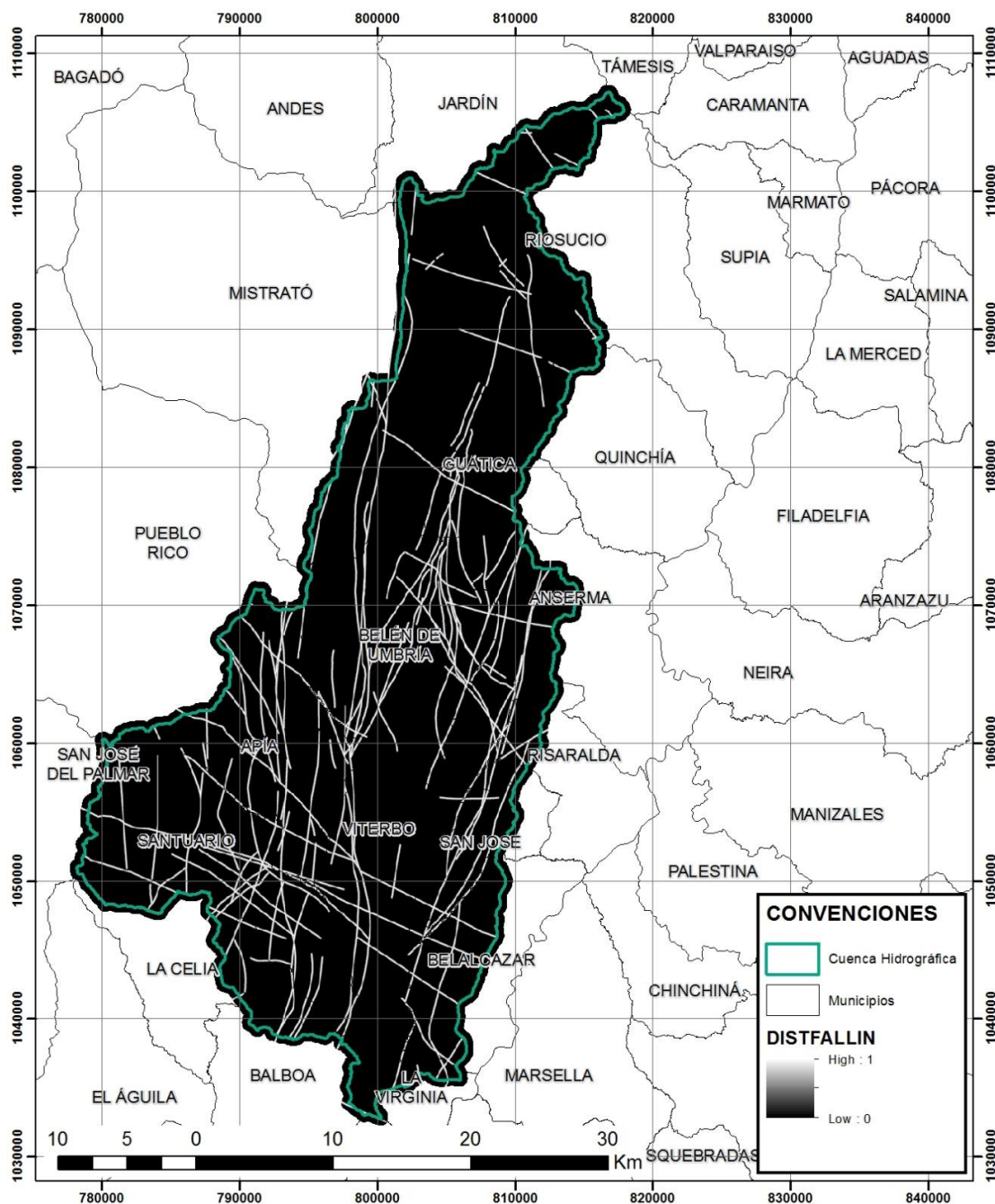


Figura 111 Relación de proximidad de la distancia a fallas y lineamientos geológicos en función a la susceptibilidad a movimientos en masa

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.4. Variables categóricas

La susceptibilidad por movimientos en masa de acuerdo a las variables categóricas está sujeta a varios factores como la composición litológica de la roca que se traduce en una mayor o menor competencia o resistencia de la misma, el ambiente denudacional en que ésta se encuentre formando y el tipo de uso de suelo que se le está dando a esta zona. La combinación de estos factores determinan la ocurrencia de movimientos en masa, teniendo en cuenta siempre la variación del terreno, los ambientes morfogenéticos y el grado de humedad e infiltración en la zona que puede afectar la resistencia del material.

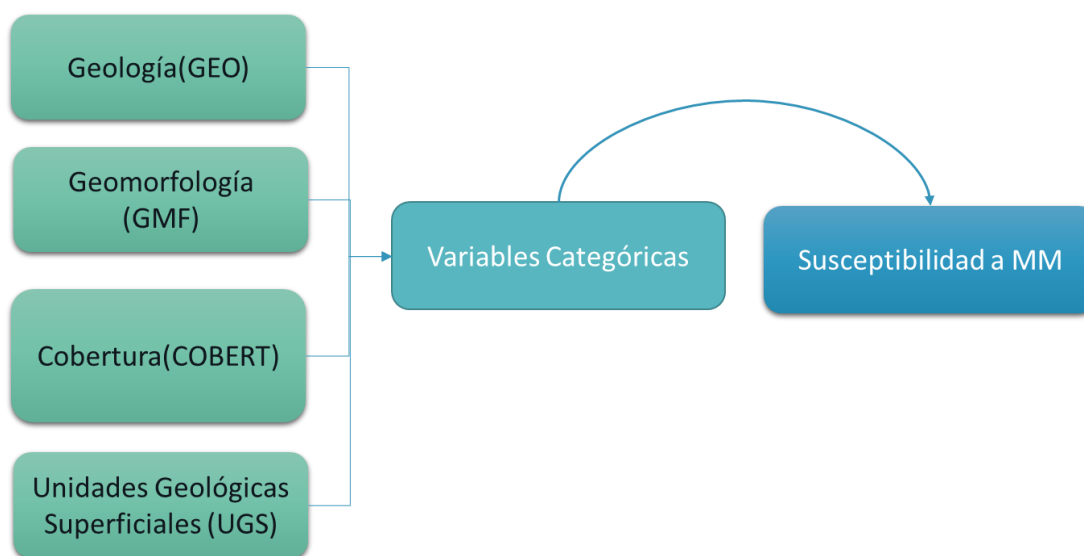


Figura 112 Variables categóricas en función a la susceptibilidad a movimientos en masa
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.4.1. Unidades geológicas básicas (glg)

La variación de las características litológicas y estructurales del área de estudio influyen en el proceso de generación de movimientos en masa ya que llevan a diferencias en la resistencia y permeabilidad de las rocas y suelos. Típicamente se plantea como variable ORIGEN haciendo referencia al origen y composición litológica en la zona de estudio desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales de superficie. Su planteamiento para un modelo de análisis discriminante en función de las unidades geológicas superficiales al tiempo con la definición del tipo de material denominado UGS en las variables, redundan en la creación de factores altamente correlacionados espacialmente. Para evitar esta dependencia entre variables y considerando que la variación de las características

litológicas y estructurales del área de estudio influyen en el proceso de generación de movimientos en masa dadas las diferencias en la resistencia y permeabilidad de las unidades geológicas básicas, se define el origen de los materiales en función de la geología básica y se clasifican por propensividad de manera normalizada (0 para baja a 1 para alta) como se muestra en la Tabla 58.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Unidades geológicas con fines de ordenación de cuencas – Consorcio.

Tabla 58. Calificación de la susceptibilidad del tipo de unidad geológica

Unidad Geológica	Nomenclatura	Calificación
Cenizas y flujos de escombros	Qfl	0,6
Depósitos aluviales	Qal	0,3
Depósitos aluviales	Qar	0,4
Depósitos aluviales	Qal	0,3
Formación Amagá - Miembro Superior	Tos	0,7
Formación Barroso	Kvb	0,5
Formación Combia	Tmc	0,6
Formación La Paila	Tmp	0,5
Formación Penderisco - Miembro Urrao	Kaa	0,6
Formación Pereira	Qto	0,4
Formación Zarzal	Tplz	0,6
Gabro de Anserma	Kga	0,3
Gabro Uralítico de Belén de Umbría	Kgub	0,3
Grupo Cañasgordas	Klb	0,5
Plutón de Mistrató	Ttdgm	0,8
Pórfido andesítico de la Virginia	Tpv	0,5
Pórfido Andesítico Hornbléndico	Tadh	0,5
Pórfido dacítico de Mistrato	Tdm	0,6
Sedimentos de Viterbo	Qtsv	0,5
Ultramafita de Puente Umbría - La Isla	Kuspi	0,3

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.4.2. Subunidades geomorfológicas (gmf)

Corresponde a la calificación de la propensividad de cada subunidad geomorfológica teniendo en cuenta el proceso de formación de la misma y su

implicación en la inestabilidad del talud. Cada subunidad se identifica según el material del depósito, morfogénesis, pendientes, contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012).

En la Tabla 59 se presenta la Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Unidades geomorfológicas según Carvajal - Consorcio.

Tabla 59. Calificación de la susceptibilidad del tipo de subunidad geomorfológica

Subunidad Geomorfológica	Nomenclatura	Calificación
Conos	Dco	1
Cornisas Estructurales	Scor	0,6
Deslizamientos	Ddtr	1
Flancos de Cantera	Ac	0,8
Ladera denudada	Dle	0,7
Llanuras	Fpi	0,3
Planos de explanación	Asp	0,4
Terrazas fluviales	Fta	0,4

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.4.3. Tipo de cobertura (cobert)

El tipo de cobertura vegetal y el uso del suelo influyen en la estabilidad del terreno mediante mecanismos hidrológicos que influyen en la capacidad de infiltración en el suelo y la humedad del mismo, y mediante mecanismos mecánicos que generan el aumento de resistencia por la presencia de raíces y la protección frente a la erosión. La vegetación puede influir de manera beneficiosa o adversa en la estabilidad de las laderas, dependiendo de cómo actúen dichos mecanismos. Un ejemplo de ello es la presencia de raíces que aumentan la resistencia del suelo, al mismo tiempo que favorecen una mayor infiltración del agua de lluvia.

El área urbanizada produce impermeabilidad en el terreno, beneficiando la estabilidad si se cuenta con una correcta canalización y disposición de aguas lluvias y negras, aunque también se aporta peso adicional a la ladera. Las áreas verdes, cultivos, al igual que los patios en tierra, actúan como esponjas, absorbiendo la precipitación e infiltrando agua a la ladera, situación desfavorable frente a la saturación del suelo, el cual es un factor desencadenante de deslizamientos. La

Tabla 60 muestra el peso asignado a cada tipo de cobertura de acuerdo a su influencia en la susceptibilidad a movimientos en masa.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Cobertura CORINE LAND COVER - Consorcio.

Tabla 60. Calificación de la susceptibilidad del tipo de Cobertura (CORINE LAND COVER) a movimientos en masa

Nomenclatura	Cobertura	Calificación
111	Tejido urbano continuo	0,2
112	Tejido urbano discontinuo	0,3
121	Zonas industriales o comerciales	0,3
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,8
131	Zonas de extracción minera	0,7
211	Otros cultivos transitorios	0,5
213	Oleaginosas y leguminosas	0,5
2144	Hortalizas	0,5
2152	Tubérculos	0,5
221	Cultivos permanentes herbáceos	0,7
2211	Cultivos permanentes herbáceos	0,6
2212	Cultivos permanentes herbáceos	0,7
222	Cultivos permanentes arbustivos	0,5
2221	Cultivos permanentes arbustivos	0,6
2222	Cultivos permanentes arbustivos	0,5
223	Cultivos permanentes arbóreos	0,6
2233	Cultivos permanentes arbóreos	0,4
224	Cultivos agroforestales	0,4
225	Cultivos confinados	0,4
231	Pastos limpios	0,6
232	Pastos arbolados	0,5
233	Pastos enmalezados	0,3
241	Mosaico de cultivos	0,8
242	Mosaico de pastos y cultivos	0,5
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0,7
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	0,7
311	Bosque denso	0,4
31111	Bosque denso	0,3

31121	Bosque denso	0,5
3122	Bosque abierto	0,4
31211	Bosque abierto	0,4
31221	Bosque abierto	0,4
313	Bosque fragmentado	0,6
3131	Bosque fragmentado	0,7
3132	Bosque fragmentado	0,6
314	Bosque de galería y/o ripario	0,6
315	Plantación forestal	0,5
322	Arbustal	0,5
3221	Arbustal	0,6
3222	Arbustal	0,4
323	Vegetación secundaria o en transición	0,5
331	Zonas arenosas naturales	0,7
332	Afloramientos rocosos	0,8
333	Tierras desnudas y degradadas	0,8
334	Zonas quemadas	0,7
511	Ríos (50 m)	0
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,2

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.2.2.4.4. Unidad Geológica Superficial (UGS)

La variación del tipo de material del área de estudio influye en la generación de movimientos en masa ya que la inestabilidad de las laderas depende de sus propiedades geomecánicas. La información de UGS define la presencia o ausencia y profundidad de un depósito de suelo, típicamente se define como variable continua ESPESOR según la profundidad y variable binaria ROC-SUE con valores 1 para celdas sin depósito y 2 para celdas donde existe depósito. Los mapas de unidades geológicas superficiales contienen la zonificación por materiales geológicos y a partir de esta se asigna un peso a cada sector en función del tipo de material, origen y espesor, planteando su propensividad en una variable categórica denominada UGS que incluye las dos mencionadas (ROC-SUE y ESPESOR) y elimina la dependencia estadística de las mismas. La Tabla 61 muestra el peso asignado a cada tipo de unidad geológica superficial de acuerdo a su influencia en la susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

- Formato: Vector tipo polígono.
- Fuente: Consorcio.

Tabla 61. Calificación de la susceptibilidad del tipo de Unidad Geológica Superficial a movimientos en masa

Unidad Geológica Superficial	Nomenclatura	Calificación
Abanico Aluvial	stf4	0,3
Coluvión	strc1	1
Depósitos De Ceniza	stv1	0,6
Depósitos De Llanura	stf2	0,4
Depósitos De Terraza	stf3	0,4
Formación Penderisco	Fm Penderisco	0,6
Formación Barroso	Fm Barroso	0,5
Grupo Cañasgordas	Grupo Cañasgordas	0,5
Pórfido Andesítico	Pórfido Andesítico	0,5
Suelo Residual Ígneo Intrusivo	Srii (Gabro De Anserma)	0,3
Suelo Residual Ígneo Intrusivo	Srii (Gabro Urálico De Belen)	0,3
Suelo Residual Ígneo Intrusivo	Srii (Plutón De Mistrato)	0,8
Suelo Residual Ígneo Intrusivo	Srii (Ultramafita De Puente Umbria La Isla)	0,3
Suelo Residual Ígneo Volcánico (Fm. Barroso)	Sriv	0,5
Suelo Residual Ígneo Volcánico (Fm. Combia)	Sriv2	0,6
Suelo Residual Sedimentario	Srs (Fm Penderisco)	0,6
Suelo Residual Sedimentario	Srs (Grupo Cañas Gordas)	0,6

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

Las unidades recientes que pertenecen al Miembro Urrao de la Formación Penderisco presentan las mayores calificaciones de susceptibilidad ubicados principalmente en el municipio de Santuario, mientras que las unidades de origen fluvial ubicadas en los valles de los municipios de Viterbo, Belalcázar, Belén de Umbría y San José son poco susceptibles a presentar eventos de remoción en masa.

Las unidades geomorfológicas de ambiente estructural y denudacional que presentan la mayor susceptibilidad a movimientos en masa predominan en la cuenca, en especial en los municipios de Apía, Santuario y Belén de Umbría. En valle aluvial del río Risaralda se presentan susceptibilidades bajas correspondiendo a las unidades geomorfológicas de ambiente fluvial en el costado sur de la Cuenca.

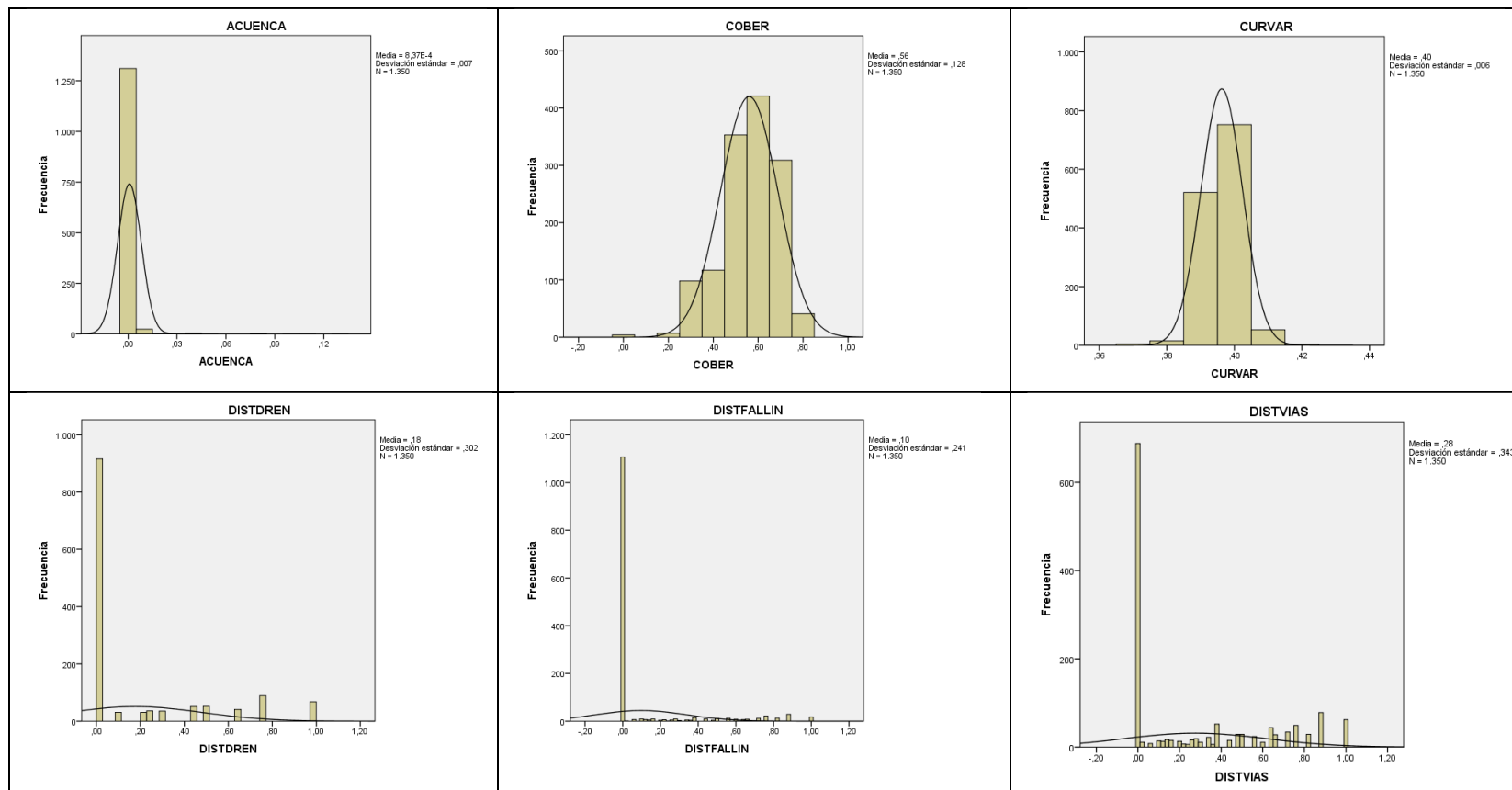
La cobertura vegetal tipo bosque disminuye la susceptibilidad hacia los lomeríos. Para las demás zonas de la cuenca la cobertura vegetal no cumple un papel

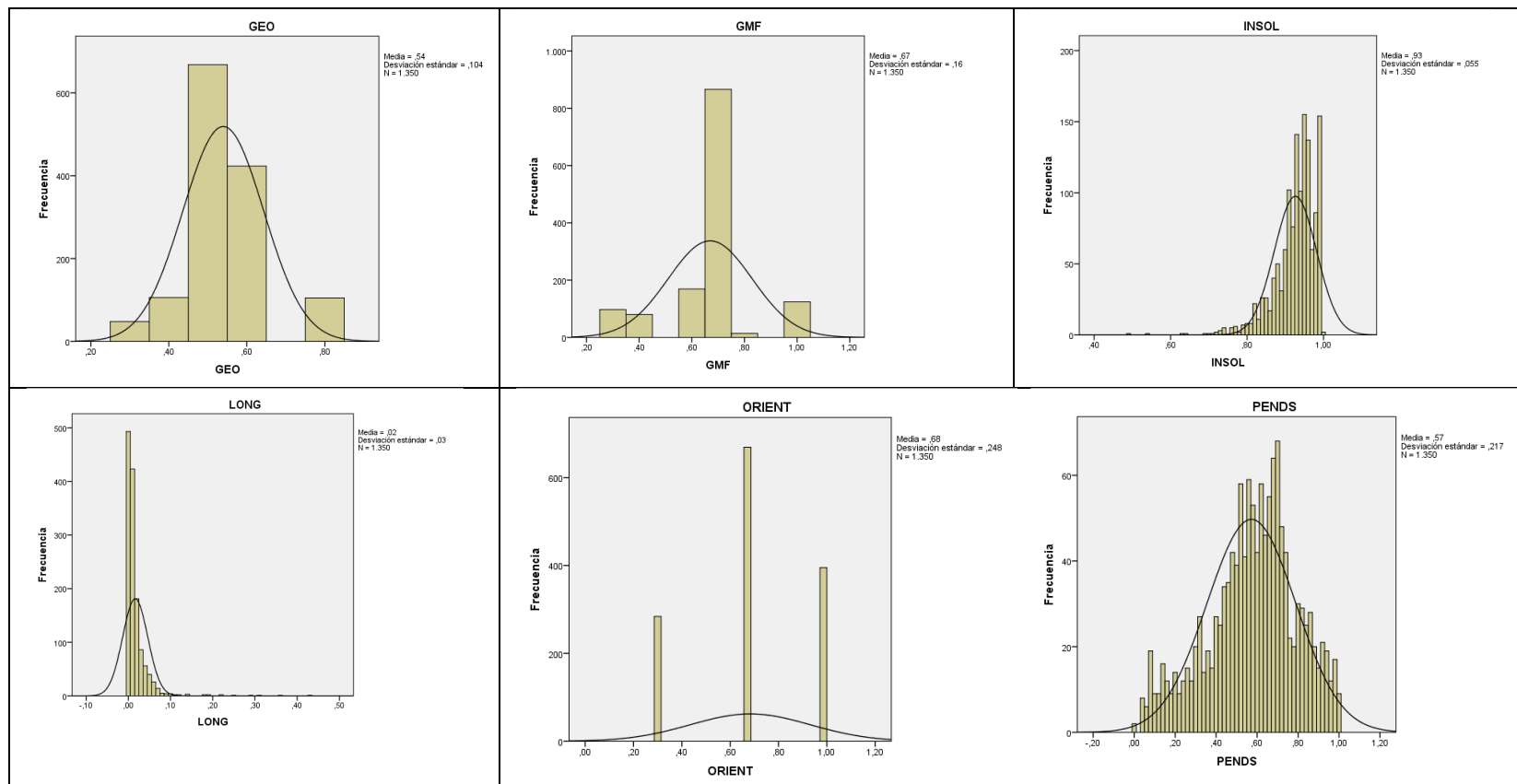
fundamental en la generación de movimientos en masa a pesar de estar cubierto en su gran mayoría por pastos y cultivos que generalmente propician este tipo de procesos.

4.4.5.3.3. Análisis de la zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa

4.4.5.3.3.1. Análisis estadístico de la función discriminante para obtener susceptibilidad a movimientos en masa

Inicialmente es necesario realizar pruebas estadísticas para conocer la distribución que tiene cada variable y validar si siguen una distribución normal para definir la pertinencia de su utilización dentro del modelo. De entre los diferentes tests que analizan el ajuste a una distribución normal se ha seleccionado el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S). El test K-S permite conocer la bondad del ajuste mediante el contraste entre la función de distribución acumulada empírica de la variable y la distribución acumulada teórica normal. Para ello utiliza la media y la desviación estándar de la muestra. Las distribuciones y prueba K-S se indican a continuación:





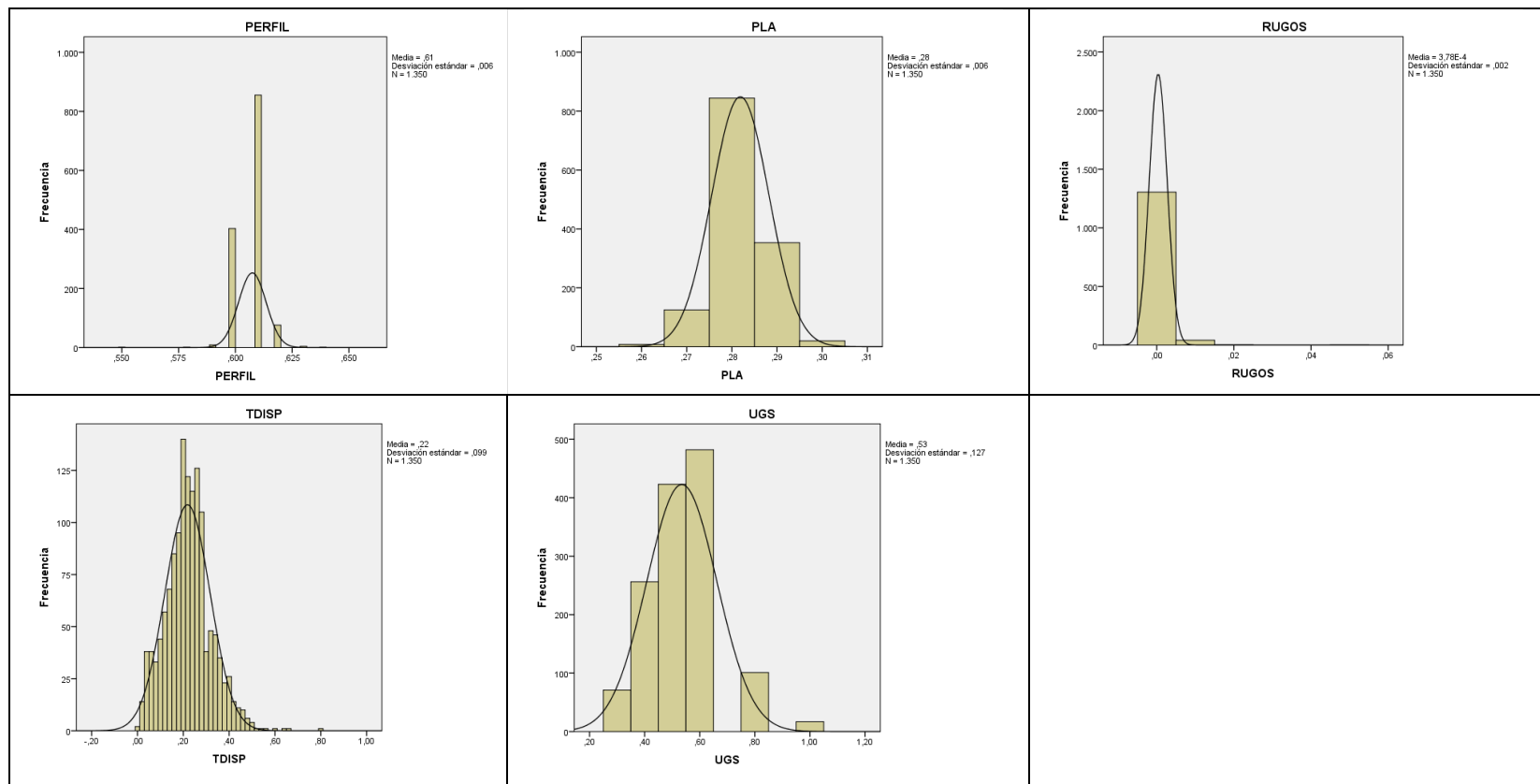


Figura 113 Histogramas de distribución de los factores de propensividad
 Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		ACUENCA	COBER	CURVAR	DISTDREN	DISTFALLIN	DISTVIAS	GEO	GMF	INSOL	LONG	ORIENT	PENDS	PERFIL	PLA	RUGOS	TDISP	UGS
N		1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
Parámetros normales ^{a,b}	Media	,0008	,5599	,3963	,1767	,0974	,2751	,5397	,6696	,9265	,0163	,6828	,5721	,6075	,2819	,0004	,2182	,5350
	Desviación estándar	,00726	,12812	,00616	,30191	,24123	,34260	,10379	,15982	,05519	,02970	,24751	,21660	,00607	,00634	,00233	,09928	,12744
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,517	,194	,327	,399	,477	,299	,258	,322	,145	,291	,251	,057	,355	,339	,531	,072	,218
	Positivo	,517	,118	,246	,399	,477	,299	,258	,322	,123	,264	,244	,034	,278	,339	,531	,072	,218
	Negativo	-,454	-,194	-,327	-,279	-,343	-,211	-,237	-,319	-,145	-,291	-,251	-,057	-,355	-,286	-,436	-,042	-,150
Estadístico de prueba		,517	,194	,327	,399	,477	,299	,258	,322	,145	,291	,251	,057	,355	,339	,531	,072	,218
Sig. asintótica (bilateral)		,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c

- a. La distribución de prueba es normal.
b. Se calcula a partir de datos.
c. Corrección de significación de Lilliefors.

Figura 114 Prueba Kolmogorov-Sminorv
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

Si bien es cierto que las variables no siguen estrictamente una distribución normal, estas al transformarlas en busca de una mejor distribución pierden información relevante para el modelo y continúan sin sostener un ajuste en distribución normal, lo que redunda en una efectividad menor de la función discriminante. Por lo tanto, se opta por realizar el análisis discriminante de variables con su distribución original para finalmente normalizar los resultados y representar la susceptibilidad ya sea buscando una transformación de los resultados o ajustando los rangos de clasificación buscando una distribución adecuada de los mismos.

Otra prueba realizada fue la de dependencia entre variables, con lo que se realizó un análisis factorial para determinar la siguiente matriz de correlación:

Tabla 62 Matriz de correlación

Matriz de correlaciones

		COBER	CURVAR	DISTDREN	DISTFALLIN	DISTVIAS	GEO	GMF	INSOL	ORIENT	PENDS	PERFIL	PLA	TDISP	UGS
Correlación	COBER	1,000	,018	-,055	,004	,019	-,116	-,078	,045	-,001	-,036	-,033	,023	-,027	-,102
	CURVAR	,018	1,000	-,137	-,016	,021	,005	,027	,014	-,042	-,003	-,658	,624	,016	,006
	DISTDREN	-,055	-,137	1,000	,018	-,042	,049	-,003	,052	,000	-,125	,089	-,118	-,129	,034
	DISTFALLIN	,004	-,016	,018	1,000	,038	-,049	-,009	-,010	-,021	,022	,015	-,005	,020	,022
	DISTVIAS	,019	,021	-,042	,038	1,000	-,081	,006	,036	-,064	-,014	-,015	,010	-,017	,012
	GEO	-,116	,005	,049	-,049	-,081	1,000	,215	-,065	,022	,115	,013	-,035	,099	,671
	GMF	-,078	,027	-,003	-,009	,006	,215	1,000	-,064	-,020	,171	,016	-,002	,136	,155
	INSOL	,045	,014	,052	-,010	,036	-,065	-,064	1,000	-,085	-,827	-,022	,015	-,910	-,187
	ORIENT	-,001	-,042	,000	-,021	-,064	,022	-,020	-,085	1,000	,073	,043	-,072	,087	-,024
	PENDS	-,036	-,003	-,125	,022	-,014	,115	,171	-,827	,073	1,000	,027	,019	,970	,231
	PERFIL	-,033	-,658	,089	,015	-,015	,013	,016	-,022	,043	,027	1,000	-,371	-,002	,023
	PLA	,023	,624	-,118	-,005	,010	-,035	-,002	,015	-,072	,019	-,371	1,000	,018	-,029
	TDISP	-,027	,016	-,129	,020	-,017	,099	,136	-,910	,087	,970	-,002	,018	1,000	,216
	UGS	-,102	,006	,034	,022	,012	,671	,155	-,187	-,024	,231	,023	-,029	,216	1,000

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

En donde la mayor correlación se observa entre la pendiente de la ladera (TDISP) y las variables insolación y pendiente senoidal. Del anterior análisis se realiza descarte de factores por dependencia de variables (Análisis factorial, pruebas T y ANOVA):

Tabla 63 Prueba ANOVA

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
INSOL	Entre grupos	,914	1	,914	385,363	,000
	Dentro de grupos	3,196	1348	,002		
	Total	4,110	1349			
PENDS	Entre grupos	20,309	1	20,309	636,904	,000
	Dentro de grupos	42,983	1348	,032		
	Total	63,292	1349			
TDISP	Entre grupos	4,179	1	4,179	617,782	,000
	Dentro de grupos	9,118	1348	,007		
	Total	13,297	1349			

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

Finalmente, realizadas las pruebas estadísticas que aportan a los criterios de descarte de variables, se realiza el análisis discriminante tantas veces como sea posible para obtener la función discriminante que mejor ajuste tiene. Los análisis discriminantes realizados se indican a continuación:

- **Análisis discriminante 1**

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

ACUENCA, LONG y RUGOS que tienen sesgo positivo fuertemente marcado.

Se conservan las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Descarte de factores por dependencia de variables (Análisis factorial, pruebas T y ANOVA):

Criterio T: PENDS, TDISP

Criterio ANOVA: INSOL, TDISP

Coeficientes **Función discriminante 1** (mayor número de factores y pendiente en INV_INSOL entendida como $<<1-INSOL>>$):

COBER	2,103
CURVAR	-0,383
DISTDREN	-0,847
DISTFALLIN	0,234
DISTVIAS	-0,354
GEO	-2,718
GMF	0,733
PERFIL	4,344
PLA	16,854
UGS	-0,133
INV_INSOL	18,864
ORIENT	0,637
(Constante)	-8,965

Resultados de clasificación: 74,1% de casos agrupados correctamente. El resultado de susceptibilidad debe ser normalizado nuevamente.

- **Análisis discriminante 2**

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

ACUENCA, LONG y RUGOS que tienen sesgo positivo fuertemente marcado.

Se conservan las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Descarte de factores por dependencia de variables (Análisis factorial, pruebas T y ANOVA):

Criterio T: PENDS, TDISP

Criterio ANOVA: INSOL, TDISP

Coeficientes **Función discriminante 2** (factores más discriminantes y método de inclusión por pasos):

COBER	2,116
DISTDREN	-0,878
DISTVIAS	-0,354
GEO	-2,888
GMF	0,739
INV_INSOL	18,874
ORIENT	0,612
(Constante)	-1,674

Resultados de clasificación: 75,0% de casos agrupados correctamente. El resultado de susceptibilidad debe ser normalizado nuevamente.

• Análisis discriminante 3

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

ACUENCA, LONG y RUGOS que tienen sesgo positivo fuertemente marcado.

Se conservan las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Descarte de factores por dependencia de variables (Análisis factorial, pruebas T y ANOVA):

Criterio T: PENDS, TDISP

Criterio ANOVA: INSOL, TDISP

Coeficientes **Función discriminante 3** (número moderado de factores asignados por valor discriminante y pendiente con INV_INSOL entendida como $<<1-INSOL>>$):

COBER	2,113
DISTDREN	-0,850
DISTFALLIN	0,227
DISTVIAS	-0,381
GEO	-2,625
GMF	0,711
PLA	13,423
UGS	-0,239
INV_INSOL	19,252
(Constante)	-5,080

Resultados de clasificación: 74,6% de casos agrupados correctamente. El resultado de susceptibilidad debe ser normalizado nuevamente.

- **Análisis discriminante 4**

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

ACUENCA, LONG y RUGOS que tienen sesgo positivo fuertemente marcado.

Se conservan las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Descarte de factores por dependencia de variables (Análisis factorial, pruebas T y ANOVA):

Criterio T: PENDS, TDISP

Criterio ANOVA: INSOL, TDISP

Coeficientes **Función discriminante 4** (número moderado de factores asignados por valor discriminante y pendiente TDISP):

COBER	1,837
DISTDREN	-0,469
DISTFALLIN	0,129
DISTVIAS	-0,398

GEO	-3,045
GMF	0,104
PLA	8,461
TDISP	11,866
(Constante)	-4,248

Resultados de clasificación: 76,6% de casos agrupados correctamente. El resultado de susceptibilidad debe ser normalizado nuevamente.

• Análisis discriminante 5

Descarte de factores por criterio y sin distribución estadística (Histogramas y prueba K-S):

ACUENCA, LONG y RUGOS que tienen sesgo positivo fuertemente marcado.

Se conservan las variables a pesar que no describen distribución normal y no se modifican pues tras la primera y segunda transformada siguen sin tener la distribución buscada debido a que tienen muy poca significancia asintótica.

Descarte de factores por dependencia de variables (Análisis factorial, pruebas T y ANOVA):

Criterio T: PENDS, TDISP

Criterio ANOVA: INSOL, TDISP

Coeficientes **Función discriminante 5** (mayor número de factores y pendiente PENDS):

COBER	1,862
DISTDREN	-0,408
DISTFALLIN	0,129
DISTVIAS	-0,431
GEO	-3,089
GMF	-,156
PLA	0,513
ACUENCA	12,750
LONG	-6,528
PENDS	5,575
(Constante)	-2,331

Resultados de clasificación: 76,3% de casos agrupados correctamente. El resultado de susceptibilidad debe ser normalizado nuevamente.

Luego de analizar los resultados de las funciones discriminantes se observa que la función número 4 es la más cercana a la realidad de la cuenca, además la función evaluada tiene resultado de clasificación cercanos al 77% por lo que se emplea para generar el modelo de susceptibilidad para la cuenca del río Risaralda.

4.4.5.3.2. Análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa

A partir de la ponderación, calificación y categorización de las variables anteriormente descritas y analizadas, se elabora el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa para la cuenca hidrográfica del río Risaralda donde se identifican los sectores con baja, media y alta susceptibilidad para este tipo de eventos, los cuales se encuentran representados en la figura 100. Los resultados indican diferentes categorías de susceptibilidad dispersas en toda la cuenca, por lo cual se opta por evaluar amenaza por movimientos en masa para toda la cuenca, no solo para zonas de susceptibilidad media y alta.

La susceptibilidad a movimientos en masa está condicionada principalmente por las variables que representan las características geométricas de la ladera, principalmente la pendiente media de la ladera y la curvatura del terreno con respecto al plano horizontal. Respecto a las variables de función de proximidad, la cercanía a vías, fallas y drenajes cuentan con una calificación equivalente y adecuada aunque no muy relevante en función del peso ponderado para el modelo de susceptibilidad, por esto se tiene una zonificación alta en sectores de la parte alta de la cuenca hidrográfica principalmente en los municipios de Santuario, Apía y Belén de Umbría que coincide con la mayor concentración de eventos inestables en la cuenca (aproximadamente 11% de la Cuenca). Por otra parte, sectores aledaños a los municipios de Belalcázar, Viterbo, San José y Riosucio alcanzan una susceptibilidad baja principalmente por las condiciones geométricas de la ladera y la cercanía al valle del río Risaralda (aproximadamente un 39% de la cuenca). Para el resto de la cuenca se estima una susceptibilidad media (aproximadamente el 50%). En la cuenca se observa una gran tendencia a susceptibilidad media, exceptuando en el límite oeste de la misma.

La actividad antrópica es una variable que en este caso imprime también propensividad a movimientos en masa (aunque en menor medida que las relacionadas con el relieve), ya que este factor propicia la desestabilización en zonas cercanas a vías y áreas de pastoreo. Así mismo, se evidencia que la cobertura vegetal en la cuenca afecta de forma evidente los valores de susceptibilidad, debido a la distribución relevante de la vegetación (pastos limpios, pastizales y vegetación con raíces pequeñas) que generalmente se relacionan con la disminución de la estabilidad del terreno.

SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

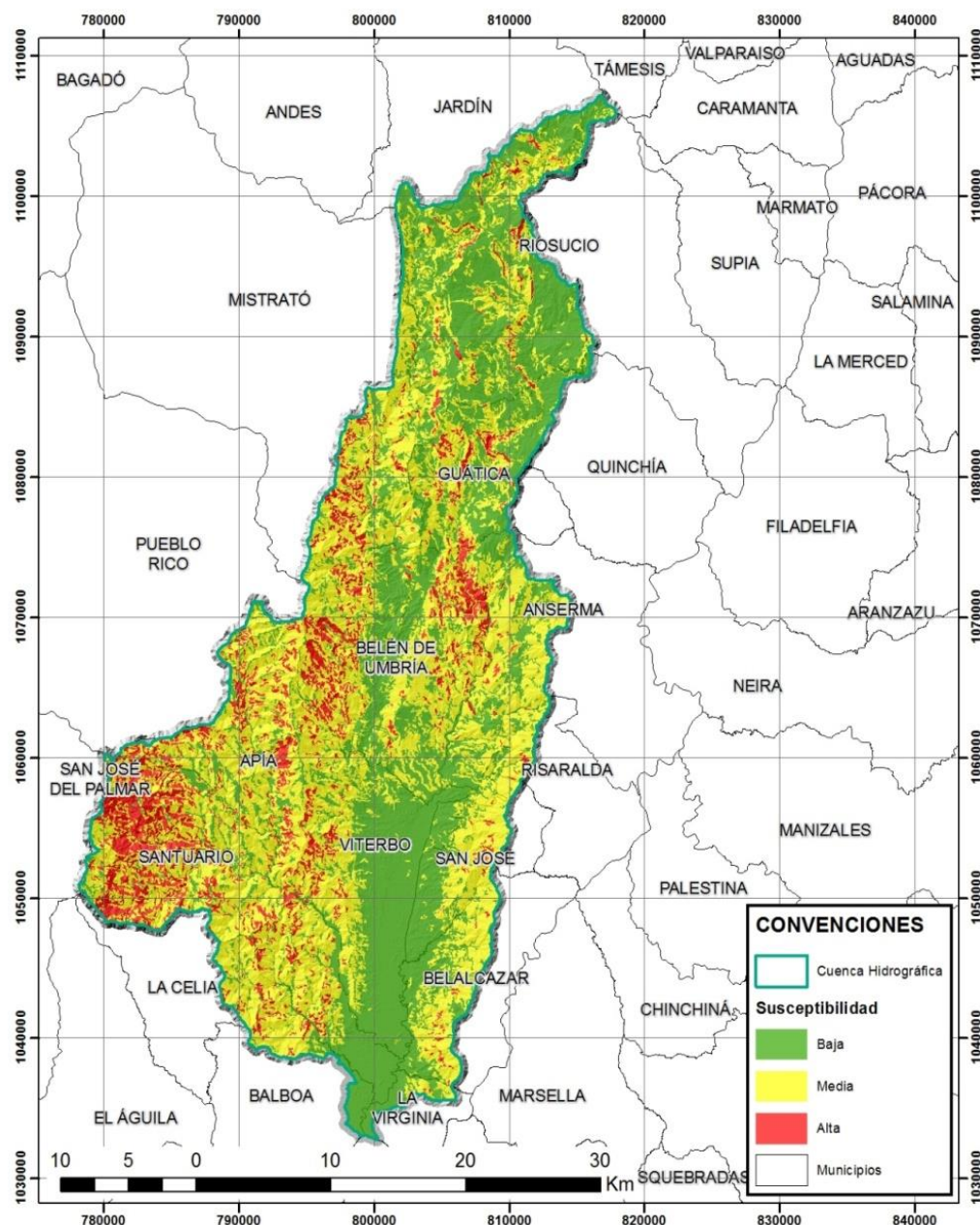


Figura 115 Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa cuenca hidrográfica del río Risaralda.

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

Tabla 64 áreas y porcentajes de susceptibilidad en la cuenca

SUSCEPTIBILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA		
NIVEL	Ha	%
BAJA	48697,50	38,77
MEDIA	63670,45	50,69
ALTA	13232,12	10,54
TOTAL	125600,07	100,00

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

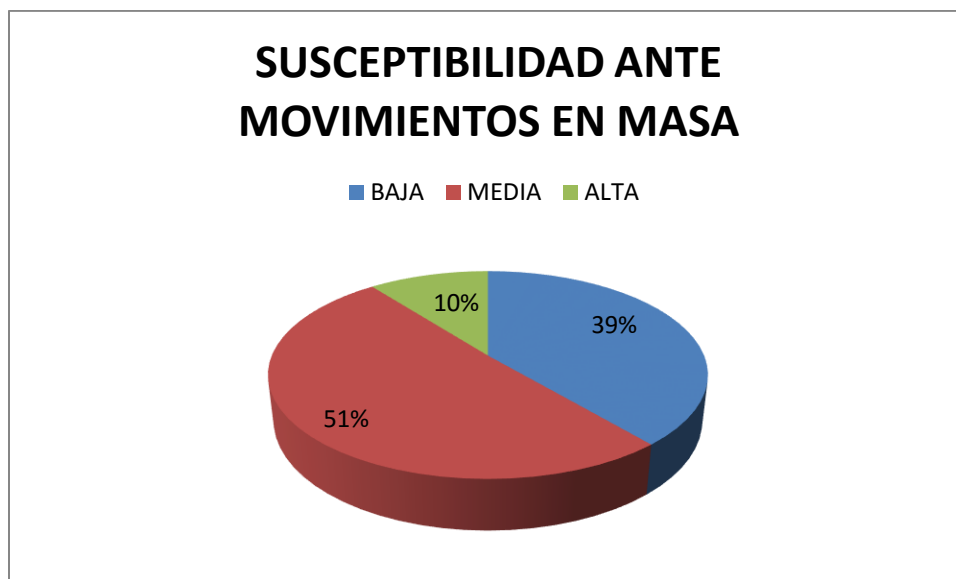


Figura 116 graficas de susceptibilidad ante movimientos en masa.

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

En la siguiente tabla se muestra en nivel de susceptibilidad afectada para cada municipio ubicado en la cuenca.

Tabla 65 nivel de susceptibilidad para cada municipio.

MUNICIPIO	NIVEL	HECTÁREAS	PORCENTAJE
ANSERMA	ALTA	386,40	0,31%
	BAJA	3026,16	2,41%
	MEDIA	4925,93	3,92%
TOTAL		8338,48	6,64%
APÍA	ALTA	2470,63	1,97%
	BAJA	2332,68	1,86%
	MEDIA	10113,45	8,05%
TOTAL		14916,76	11,88%
BALBOA	ALTA	231,84	0,18%
	BAJA	888,89	0,71%
	MEDIA	1579,05	1,26%
TOTAL		2699,77	2,15%
BELALCÁZAR	ALTA	131,75	0,10%
	BAJA	2263,04	1,80%
	MEDIA	3260,27	2,60%
TOTAL		5655,07	4,50%
BELÉN DE UMBRÍA	ALTA	2472,52	1,97%
	BAJA	6062,22	4,83%
	MEDIA	9525,43	7,58%
TOTAL		18060,17	14,38%
GUÁTICA	ALTA	606,53	0,48%
	BAJA	4225,44	3,36%
	MEDIA	3501,31	2,79%
TOTAL		8333,28	6,63%
LA CELIA	ALTA	105,20	0,08%
	BAJA	158,54	0,13%
	MEDIA	1148,03	0,91%
TOTAL		1411,77	1,12%
LA VIRGINIA	ALTA	8,45	0,01%
	BAJA	700,39	0,56%
	MEDIA	279,28	0,22%
TOTAL		988,13	0,79%
MISTRATÓ	ALTA	1049,22	0,84%
	BAJA	1791,21	1,43%
	MEDIA	6056,25	4,82%
TOTAL		8896,68	7,08%
RIOSUCIO	ALTA	609,67	0,49%

	BAJA	12465,17	9,92%
	MEDIA	6166,20	4,91%
TOTAL		19241,05	15,32%
RISARALDA	ALTA	38,65	0,03%
	BAJA	961,95	0,77%
	MEDIA	1311,02	1,04%
TOTAL		2311,61	1,84%
SAN JOSÉ	ALTA	108,80	0,09%
	BAJA	1971,40	1,57%
	MEDIA	2365,69	1,88%
TOTAL		4445,88	3,54%
SANTUARIO	ALTA	4778,58	3,80%
	BAJA	3577,40	2,85%
	MEDIA	10656,19	8,48%
TOTAL		19012,17	15,14%
VITERBO	ALTA	233,89	0,19%
	BAJA	8273,00	6,59%
	MEDIA	2782,34	2,22%
TOTAL		11289,22	8,99%
TOTAL		125600,05	100,00%

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.4.5.3.3. Validación de los resultados del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa

En relación con validación de resultados de susceptibilidad, en los cálculos efectuados de las funciones de susceptibilidad se indica para cada función el porcentaje de acierto que representa la validación según el método y los resultados de las funciones de susceptibilidad que mejor se ajustan son sometidos a análisis de cada discriminante en cuanto a clasificación correcta de deslizamientos (sensibilidad), de zonas estables (rendimiento) y al total de ajuste del modelo (precisión) para definir el mejor resultado.

Basado en los resultados obtenidos y los eventos ocurridos se determina zonas con susceptibilidad media y alta de manera general para sectores de los municipios de Santuario, Guática, Apía, Belalcázar y San José, (Ver mapa de susceptibilidad) es de aclarar que los controles de campo efectuados, como también la información suministrada por las diferentes entidades sobre los eventos fueron consolidadas en la base de datos anexa (anexo 11).

Si bien el protocolo de Gestión del riesgo determina que la validación de los resultados debe efectuarse según el porcentaje de acierto de las funciones discriminantes evaluadas, para el presente estudio se procedió a efectuar una validación general de los resultados obtenidos basado en los eventos según el nivel de susceptibilidad calculado tal como se detalla en la siguiente tabla y figura, donde se establece que el 83% de los eventos se localizan en zonas de susceptibilidad ALTA Y MEDIA, y el porcentaje restante se ubican en zonas de susceptibilidad baja que podría asociarse con la ubicación espacial inicial del evento y por efectos de la escala de trabajo como se relacionó anteriormente, datos que se relacionan con el porcentaje de acierto de la función discriminante utilizada y se establece que los resultados corresponden con los eventos históricos ocurridos en la cuenca y confrontados con lo visualizado en la etapa de campo.

Tabla 66 Validación de los resultados de susceptibilidad ante Movimientos en masa.

VALIDACION SUSCEPTIBILIDAD ANTE MM		
Nivel de susceptibilidad	Numero de eventos	%
ALTA	54	8%
MEDIA	505	75%
BAJA	116	17%
TOTAL	675	100%

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

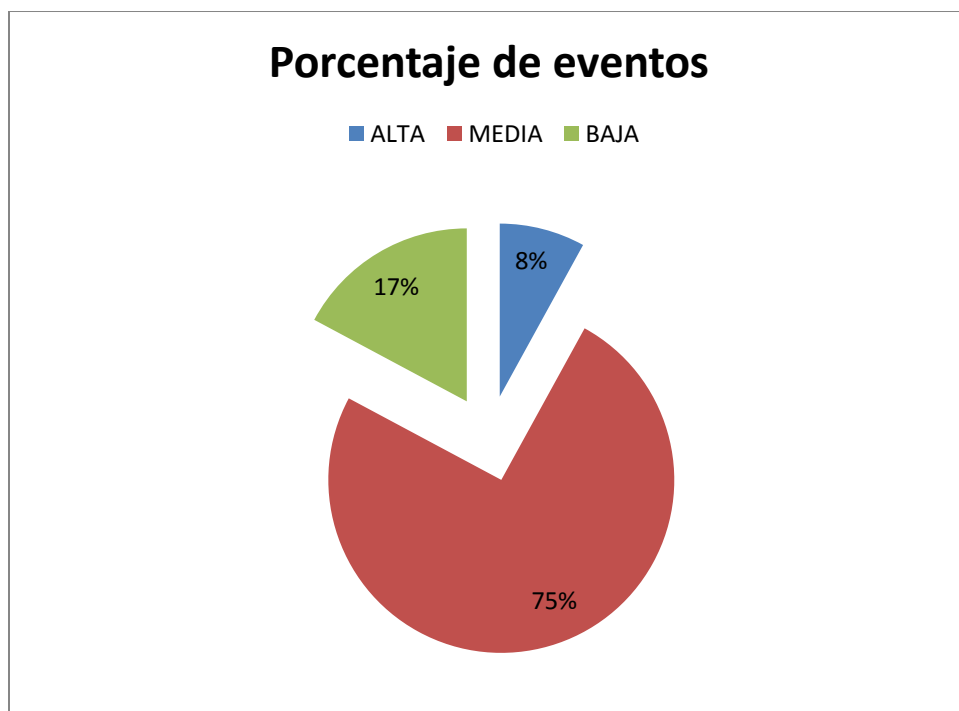
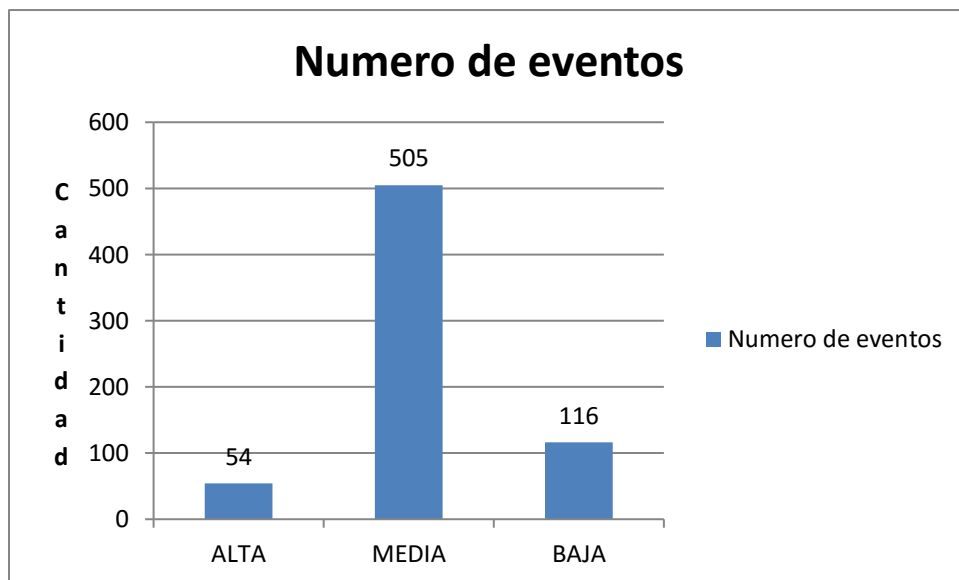


Figura 117 Validación de los resultados de susceptibilidad ante Movimientos en masa
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.5. Análisis la amenaza.

4.5.1. Introducción

La amenaza entendida como la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado, asociado a movimientos en masa, inundaciones o incendios forestales, tiene vital importancia en la determinación de qué tipo de procesos o eventos pueden presentarse en el territorio y que puedan afectar los bienes y elementos potencialmente expuestos.

Para el presente capítulo se realizó inicialmente el análisis para movimientos en masa teniendo como insumos principales los resultados geomecánicos de las caracterizaciones de las formaciones superficiales realizadas y posteriormente se efectuó el análisis de los factores de seguridad mediante el método de talud infinito, para luego obtener las probabilidades de falla que definieron el nivel de amenaza para cada sitio.

En una segunda instancia se evaluó la amenaza ante incendios forestales que involucro variables tales como: clima, pendiente, frecuencia de ocurrencia de eventos y accesibilidad a vías, es necesario aclarar que el eje fundamental de análisis es medir las condiciones pirogénicas de la cobertura vegetal que se encuentra dentro de la cuenca, adicionalmente, se definen las condiciones de precipitación y temperatura media anual, el gradiente de pendiente y el análisis consecutivo de eventos registrados en la cuenca.

Finalmente se efectuó la evaluación de la amenaza ante inundaciones se involucró la variable hidráulica en la evaluación de amenaza, es necesario realizar una modelación hidrológica – hidráulica de las zonas críticas a fin de prever los caudales máximos para diferentes períodos de retorno (modelación hidrológica de extremos), y obtener una idea sobre la magnitud del evento en la zona inundable con las características hidráulicas fundamentales de nivel máximo alcanzado por la lámina de agua, velocidad máxima, duración, carga de sedimentos, etc., (modelación hidráulica).

4.5.1.1. Resumen general.

Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio frente a incendios forestales está cualificada como Baja, la cual ocupa 15621,73ha y que representan el 27,47% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las zonas cualificadas como Muy Baja, la cual ocupa 5739,36ha y que representan el 10% del territorio.

Para la cuenca hidrográfica del río Risaralda se observa una zonificación de amenaza entre valores bajos con proporción alrededor del 51% (64.353 ha), medios cercanos al 26% (32.139 ha) y altos en el resto de la cuenca con un 23%(29.107 ha). La parte norte y suroeste de la cuenca cuenta con pendientes relativamente mayores sumado a altos niveles de espesor de las láminas de agua para los diferentes tiempos de retorno y valores geomecánicos menores que dan mayor propensividad la inestabilidad de taludes de las unidades geológicas superficiales principalmente en los municipios de Santuario, Apía y Belén de Umbria. Por su parte, Los municipios de Riosucio, Guática y Anserma, así como el sector del piedemonte y valle del río Risaralda existe una variación relativamente baja de pendientes sumados a unidades litológicas recientes de origen fluvial con pendientes bajas que se reflejan en las condiciones de estabilidad correspondientes con amenaza baja por movimientos en masa.

Para la cuenca hidrográfica del río Risaralda, la zonificación de la amenaza ante inundaciones se encuentran en la parte baja de la cuenca sobre los afluentes del Río Risaralda, Río Mapa y Río Totui, que confluyen hacia el municipio de la Virginia Risaralda, presentando niveles bajos y medios de amenaza con porcentajes de 22.99% y 33.74%, respectivamente, mostrando una amenaza alta de 43.26% esto sobre el río Risaralda principalmente sobre el municipio de Viterbo (Caldas), donde se muestra la mayor extensión de las manchas de inundación analizadas.

4.5.2. Inundaciones.

La evaluación de amenaza por inundaciones está mediada, tanto por la información disponible en las áreas críticas previamente identificadas, como por las propias características topográficas y de alteración antrópica de las mismas. El diagrama de flujo a seguir se presenta en la figura 109, presentándose tres vías diferentes para la definición de categorías de amenaza como se resume a continuación.

4.5.2.1. Resumen

La evaluación de amenaza por inundaciones está mediada, tanto por la información disponible en las áreas críticas previamente identificadas, como por

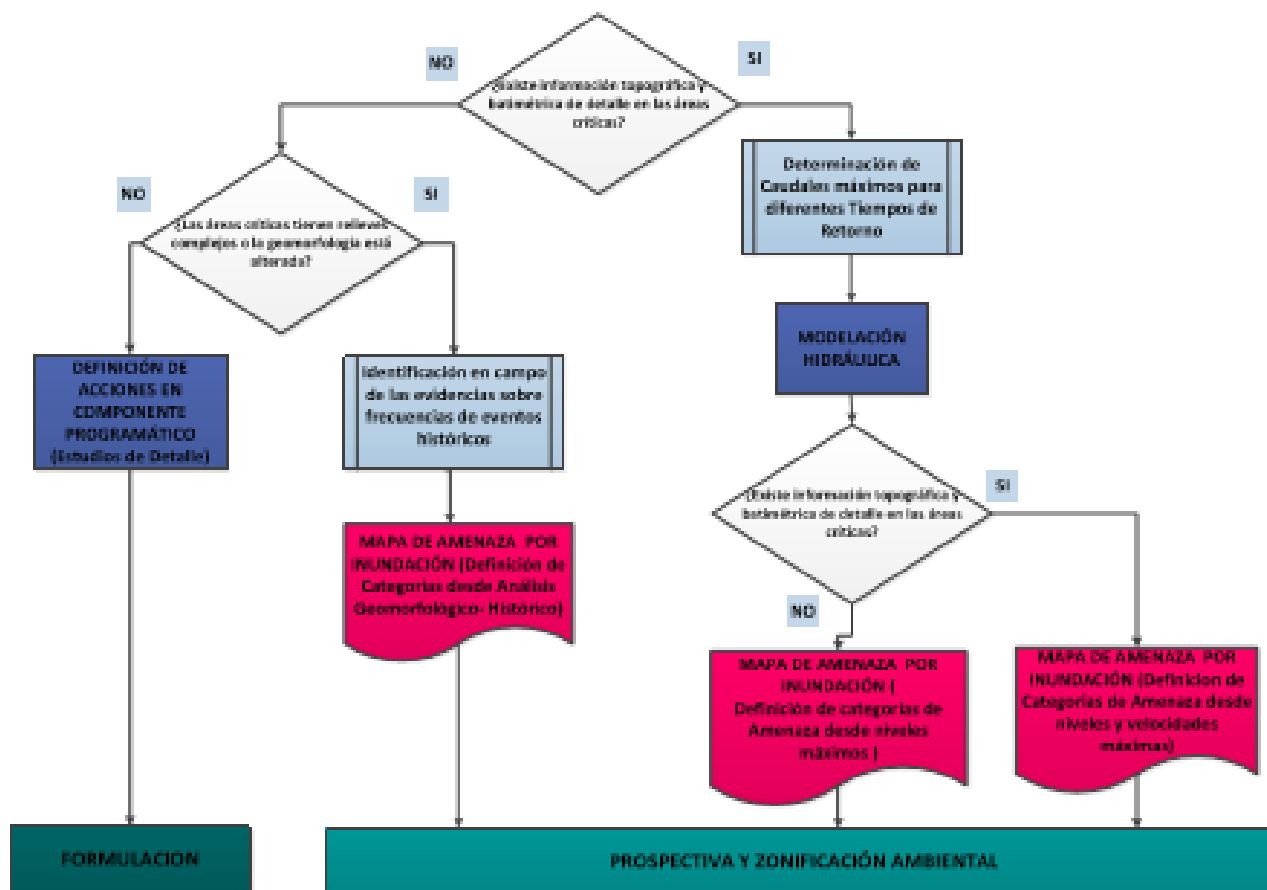


Figura 118 Diagrama de flujo para evaluación de la amenaza por inundaciones lentas

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

- **Amenaza Alta:** Geoformas asociadas a procesos activos, (valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trenzado), evidencias efímeras (restos flotantes o arribazones fluviales, depósitos sueltos de granulometría) o evidencias erosivas y sedimentarias nítidas (micro topografía muy irregular, altas pendientes y superposición de formas erosivas y sedimentarias, generalmente con morfologías de flujos secundarios representadas por morfologías canaliformes nítidas con un trazado continuo y marcado pero sin evidencias de actividad reciente), además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores o iguales a 15 años.
- **Amenaza Media:** Geoformas asociadas a procesos intermitentes (terrazas medias, meandros, entre otros), procesos erosivos o sedimentarios suavizados (micro topografía irregular con límites suavizados y de baja pendiente) o flujos

secundarios representados por evidencias de morfologías canaliformes de poca definición y continuidad, pero identificables en campo, además de eventos históricos con recurrencia mayor a 15 y hasta 100 años de período de retorno.

- **Amenaza Baja:** Categoría que refleja la recurrencia de eventos mayores a 100 y hasta 500 años de período de retorno o mayores; señala una unidad inundable con una sola evidencia de evento ocurrido; evidencias topográficas en campo que señalen terrenos con mayor altura a las dos categorías anteriores y que sea coincidente con una geoformas asociada a procesos fluviales antiguos, (terrazas altas).

Para la cuenca hidrográfica del río Risaralda, la zonificación de la amenaza ante inundaciones se encuentran en la parte baja de la cuenca sobre los afluentes del Río Risaralda, Río Mapa y Río Totuí, que confluyen hacia el municipio de la Virginia Risaralda, presentando niveles bajos y medios de amenaza con porcentajes de 22.99% y 33.74%, respectivamente, mostrando una amenaza alta de 43.26% esto sobre el río Risaralda principalmente sobre el municipio de Viterbo (Caldas), donde se muestra la mayor extensión de las manchas de inundación analizadas.

4.5.2.2. Modelación hidrológica-hidráulica

Para efectos de involucrar la variable hidráulica en la evaluación de amenaza, es necesario realizar una modelación hidrológica – hidráulica de las zonas críticas a fin de prever los caudales máximos para diferentes períodos de retorno (modelación hidrológica de extremos), y obtener una idea sobre la magnitud del evento en la zona inundable con las características hidráulicas fundamentales de nivel máximo alcanzado por la lámina de agua, velocidad máxima, duración, carga de sedimentos, etc., (modelación hidráulica).

4.5.2.2.1. Modelación hidrológica (Caudales extremos)

Para definir la hidrología de extremos de una cuenca extensa, se utiliza normalmente el llamado análisis regional de frecuencias, (Ref oo); de acuerdo con este análisis, si se conoce el comportamiento de caudales extremos, (máximos y/o mínimos), es posible regionalizar las curvas de frecuencia de manera que sea posible encontrar los caudales máximos de cualquier otra área no medida, siempre que esta se encuentre dentro de la región homogénea a la cual pertenecen los cauces que se han usado en la regionalización.

En el presente caso se utilizaron todas las estaciones de corrientes disponibles en el IDEAM con registros de máximos y mínimos anuales, (archivos del Anexo 2). Resultando homogéneas de acuerdo con el criterio de Dalrymple, las que aparecen en la siguiente tabla.

Para realizar los análisis de frecuencias se utilizaron varios programas que permiten ajustar hasta 10 distribuciones de frecuencia diferentes, lo mismo para determinar los caudales máximos como los mínimos. Para caudales máximos se utilizaron las distribuciones:

Gamma
Gamma (3P)
Gumbel
Normal
Log Normal
Log Normal (3P)
Log Pearson 3

Para caudales mínimos se utilizaron las distribuciones:

Frechet
Frechet (3P)
Weibull
Weibull (3P)
Gumbel
Normal
Log Normal
Log Normal (3P)
Log Pearson 3

Para cada uno de los ajustes obtenidos se determinaron 3 pruebas estadísticas así:

Chi Cuadrado
Kolmogorov-Smirnoff
Anderson-Darling

Con los resultados se obtuvo una calificación de acuerdo con la precisión estadística del ajuste y se seleccionó la que mejor ajuste dio para las tres pruebas calificadas como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 67 Distribuciones de probabilidad Seleccionadas para Qmax con las pruebas estadísticas de ajuste

ESTACIÓN	Distribución Seleccionada	Puesto en Kolmogorov-Smirnov	Puesto en Anderson-Darling	Puesto en Chi Cuadrado
La Agüita	Normal	1	1	2
Pte. Negro	Gumbel	1	2	1
Buenos Aires	Gumbel	1	2	1
La Virgen	Gumbel	1	1	1
La Bananera	Gamma (3P)	2	2	3
La Bretaña	LogPearson (3P)	2	1	2
La Reina				
La Paila	LogPearson (3P)	2	2	1
Sucre	LogNormal (3P)	1	3	2
Arabia	LogNormal (3P)	1	1	2
Gede	Normal	2	1	
El retén	Normal	1	3	1
Campestres	LogNormal (3P)	1	3	
Playa Rica	Normal	1	3	1

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 68 Distribuciones de probabilidad Seleccionadas para Qmin con las pruebas estadísticas de ajuste.

ESTACIÓN	Distribución Seleccionada	Puesto en Kolmogorov-Smirnov	Puesto en Anderson-Darling	Puesto en Chi Cuadrado
La Agüita	LogNormal (3p)	3	3	4
Pte. Negro	LogPearson (3p)	3	3	3
Buenos Aires	LogPearson (3p)	3	3	3
La Virgen	Frechet (3P)	1	1	2
La Bananera	Gamma (3P)	2	2	3
La Bretaña	Weibull (3P)	3	3	2
La Reina	Gumbel	1	2	1
La Paila	Gumbel	1	2	1
Sucre	LogNormal (3P)	3	4	3
Arabia	Gumbel	1	1	3
Gede	LogPearson (3P)	2	3	1
El retén	Gamma (3P)	2	3	3
Campestres	Normal	2	1	
Playa Rica	LogNormal (3P)	3	1	4

--	--	--	--	--

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.5.2.2.2. Análisis de frecuencias.

A partir de los resultados del análisis de frecuencias de caudales extremos, realizados de forma individual para cada estación hidrométrica analizada, y discutidos en el numeral anterior, y siguiendo la técnica de análisis regional de frecuencias, propuesta originalmente por Dalrymple (1960) y modificada por otros investigadores (Kite, 1988), se ha intentado proponer una ecuación de regionalización de caudales extremos para la cuenca del río Bogotá, que permita estimar de forma aproximada caudales para diferentes períodos de retorno en sitios no instrumentados de la corriente o de sus tributarios. Esta técnica en varios casos ha sido reportada como un procedimiento que, además de sencillo, brinda mejores resultados que los obtenidos mediante la aplicación de modelos lluvia-escorrentía mucho más sofisticados (Newton y Herrin, 1982). Adicionalmente, en general, el uso de la técnica de regionalización, al utilizar un conjunto de datos, permite obtener caudales más confiables que los obtenidos mediante análisis de frecuencia individuales. Lo anterior es debido a que el agrupamiento de los datos ayuda a reducir los errores e incertidumbres en las estimaciones individuales, ampliamente discutidas a lo largo de este informe.

La aplicación de la metodología de análisis regional de frecuencias supone que todas las estaciones incluidas en el análisis pertenecen a una región hidrológicamente homogénea, condición que se evalúa a través del test de homogeneidad regional propuesto por Dalrymple (1960). Esta prueba intenta evaluar estadísticamente si los registros de caudales en las estaciones incluidas en el análisis difieren en cantidades atribuibles a la aleatoriedad de los procesos hidrológicos, o si efectivamente pueden corresponder a datos disímiles que obliguen a separar los registros en zonas hidrológicamente diferentes. El procedimiento usado para evaluar la homogeneidad regional consiste en graficar los límites de homogeneidad definidos por Dalrymple (1960) (T_L y T_U) como función de la longitud efectiva de la serie. A continuación, para cada estación analizada se evalúa la relación $Q_{10}/Q_{2.33}$, y se calcula el valor promedio de esta relación para toda la zona. La relación promedio es ahora utilizada para estimar un nuevo valor del Q_{10} para cada estación (a partir del $Q_{2.33}$). Seguidamente y para cada estación se estima el período de retorno asociado con el nuevo valor del Q_{10} (T_E). Se determina el período efectivo de registros, igual al número de observaciones de la serie anual en cada estación más la mitad del periodo extendido para hacerlo concurrente en todas las estaciones (N_E). Los pares de coordenadas (T_E , N_E) se grafican sobre las curvas que definen los límites T_L y T_U . Estaciones para las cuales el par (T_E , N_E) se encuentre por fuera de los límites se asume no pertenecen a la región considerada,

y son descartadas del análisis. La Figura 119 muestra la evaluación gráfica del test para las 17 estaciones consideradas en el análisis regional, en la cual se observa que con excepción de la estación Santa Rosita, las demás estaciones cumplen el criterio de homogeneidad regional. De esta forma, la estación Santa Rosita, identificada previamente con características limitadas en los registros, no es incluida dentro del análisis regional de frecuencias efectuado.

Para la aplicación de la metodología de análisis regional de frecuencias un criterio adicional al de homogeneidad de los registros, que se sugiere garantizar es el régimen natural de la corriente cuyos registros son analizados. Esta condición no es satisfecha para un buen número de las estaciones hidrométricas analizadas sobre el río Bogotá y sus afluentes. Lo anterior impone una importante limitación sobre los resultados obtenidos. Deben adicionalmente resaltarse las limitaciones en la estimación de los caudales extremos en estaciones individuales, dada la incertidumbre en el ajuste de las curvas de calibración discutida y cualitativamente evaluada anteriormente.

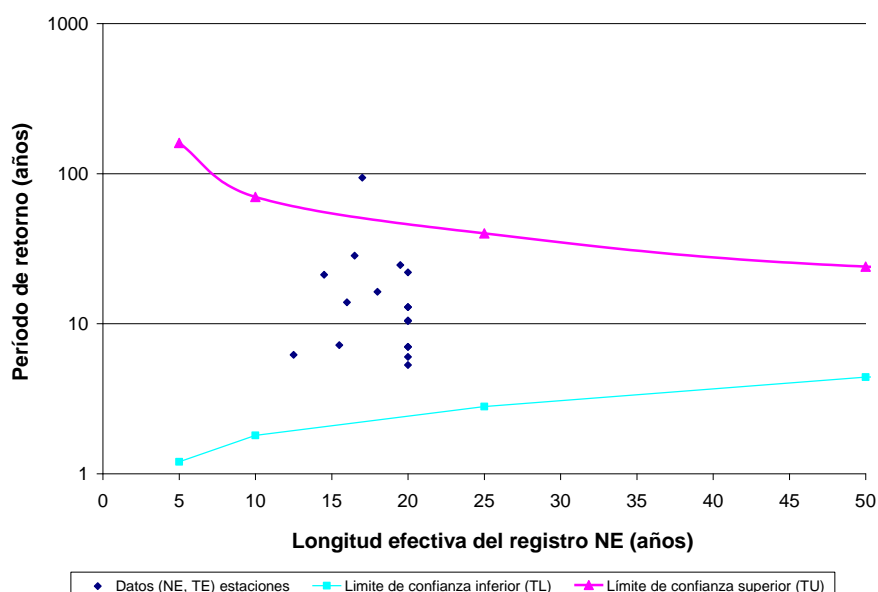


Figura 119 Resultados análisis de homogeneidad regional. Nótese que la estación Santa Rosita cae por fuera del límite superior en color magenta, y es descartada del análisis regional de frecuencias.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Dentro del análisis regional de frecuencias es posible incluir ya sea parámetros fisiográficos (área de drenaje, pendiente, longitud, elevación media etc.), como

también parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura etc.), como indicadores que intentan explicar el régimen de caudales extremos en una corriente. En estudios previos (IDEAM, 1995) se ha mostrado que el área tributaria es la que mayormente explica la generación de caudales extremos, por lo que en este estudio se ha intentado ajustar una ecuación potencial que relaciona el $Q_{2.33}$ con el área tributaria. Claramente la ecuación ajustada puede refinarse en la medida en que se cuente con datos de otros parámetros como los arriba anotados.

Igualmente, en la figura 115 se muestra la relación entre el caudal índice ($Q_{2.33}$) y los caudales para otros períodos de retorno (5, 10, 25 y 50 años) en cada una de las 16 estaciones hidrométricas investigadas, y los valores promedio y desviaciones estándar de estas relaciones, que son los utilizados en la aplicación del análisis regional de frecuencias, con fines de estimación de caudales en sitios no instrumentados de la cuenca. Para ello, conociendo el área tributaria hasta el sitio de interés, es posible estimar el caudal índice ($Q_{2.33}$) de la corriente, y a partir de este y con ayuda de las relaciones promedio presentadas, es posible estimar los caudales para los otros períodos de retorno, en sitios no instrumentados de la cuenca.

A pesar de las limitaciones del análisis regional de frecuencias antes anotadas, y a la luz del ajuste obtenido (coeficiente de determinación cercano a 0.90) para las ecuación entre el caudal máximo medio ($Q_{2.33}$) y el área tributaria, se considera que los resultados del análisis regional de frecuencias aunque analizados con cierta precaución, son útiles para los propósitos de este estudio. Adicionalmente, estos resultados han sido ajustados a partir del conocimiento de la regulación efectuada sobre la corriente en tramos de la corriente principal.

Tabla 69 Estaciones hidrológicamente homogéneas del departamento de Risaralda

Estación	Años	Área (Km ²)	$Q_{2.33}$ (mcs)	Q_{15} (mcs)	Q_{10} (mcs)	Q_{25} (mcs)	Q_{50} (mcs)	Q_{100} (mcs)	Q_{200} (mcs)
La Agüita	19	1.475,0	360,0	454,3	511,4	565,0	611,8	647,2	679,6
Pte. Negro	38	777,0	171,0	208,1	239,7	280,0	309,4	338,8	368,1
Buenos Aires	31	490,0	122,1	167,0	196,5	234,0	261,9	289,5	320,0
La Virgen	42	427,5	105,0	141,4	171,0	211,0	236,0	263,5	290,9
La Bananera	42	240,0	130,0	168,3	191,5	220,0	234,5	250,5	265,3
La Breña	35	215,0	53,0	73,0	87,9	106,0	120,0	133,4	146,8
La Reina	23	78,5	107,0	134,4	153,1	175,0	185,5	196,5	206,3
La Paila	40	75,0	78,0	129,7	200,9	330,0	445,0	594,1	777,0
Sucre	36	70,8	53,0	77,0	96,2	123,0	142,4	163,5	185,5
Arabia	33	48,3	22,0	27,7	32,4	38,2	43,4	48,3	53,3

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Los registros de las estaciones se extendieron por correlaciones entre ellas, hasta un periodo base uniforme de 43 años, entre 1971 y 2014, que corresponde con el de la estación La Virgen del río Risaralda, y la estación la Bananera del río Otún. Las estaciones de registro más bajo utilizadas tenían 19 y 23 años de registro. Los caudales extendidos no se utilizaron para definir la curva de frecuencias, pero si para mejorar la estimación de los periodos de retorno de los caudales medidos en el registro real de cada estación.

Dos gráficos definen el análisis regional: el grafico de $Q_{2,33}$ vs A, o gráfico de la avenida media anual contra el área de la cuenca, el gráfico regional de frecuencias que da la relación entre la avenida de cierto periodo de recurrencia, y el caudal $Q_{2,33}$ para el área de la estación que se desea calcular, Fig. 9. Ambos gráficos se obtuvieron con los datos de las estaciones en la tabla 2; en la Figura 9, la Relación de Frecuencia corresponde a la relación entre el caudal de periodo dado y $Q_{2,33}$: $Q_{TR}/Q_{2,33}$.

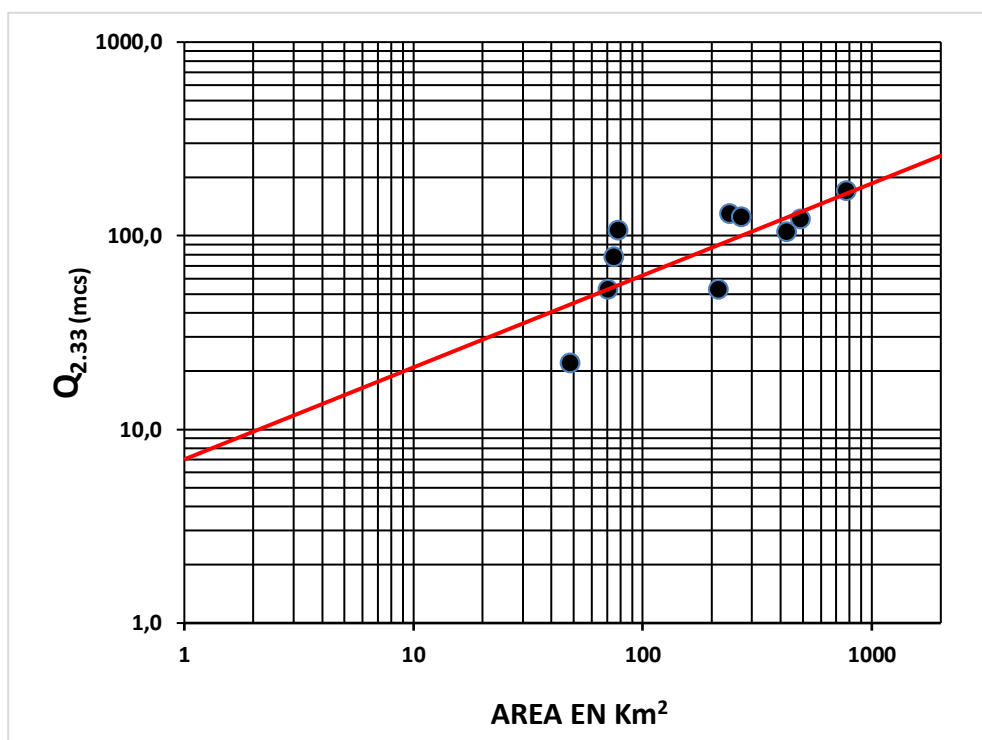


Figura 120 Curva de Área contra $Q_{2,33}$ para la región homogénea.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

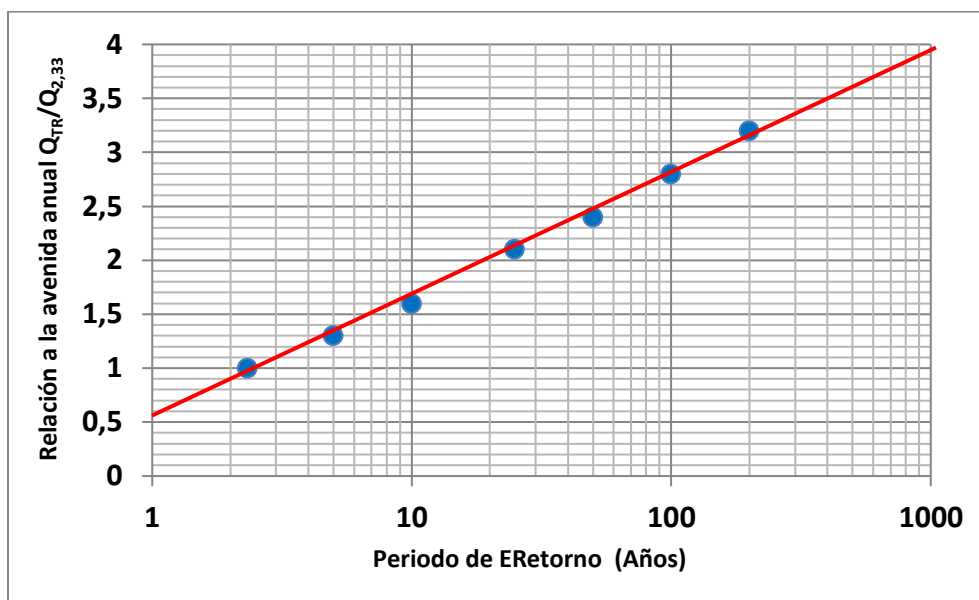


Figura 121 Curva regional de frecuencias de caudales extremos.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Los caudales extremos pueden calcularse para cualquier cuenca de la región, con solo conocer su área de drenaje. Para conocer la avenida media anual, $Q_{2,33}$, y con este valor se obtiene del caudal de cualquier periodo de recurrencia para esa área de drenaje. De esta manera, se puede entonces caracterizar los caudales extremos para las áreas de cada orden de magnitud en el ordenamiento de Strahler, como aparece en la Tabla 70.

Tabla 70 Caudales extremos característicos de las áreas medias de Strahler

Orden	Área (Km ²)	$Q_{2,33}$ (mcs)	Q_5 (mcs)	Q_{10} (mcs)	Q_{25} (mcs)	Q_{50} (mcs)	Q_{100} (mcs)	Q_{200} (mcs)	Q_{500} (mcs)
Relación Regional ➡		1,0	1,35	1,65	2,15	2,45	2,8	3,2	3,6
1	1,42	8	10,80	13,20	17,20	19,60	22,40	25,60	28,80
2	10,84	22	29,70	36,30	47,30	53,90	61,60	70,40	79,20
3	30,77	37	49,95	61,05	79,55	90,65	103,60	118,40	133,20
4	88,56	58	78,30	95,70	124,70	142,10	162,40	185,60	208,80
5	591,36	140	189,00	231,00	301,00	343,00	392,00	448,00	504,00
6	1256,00	200	270,00	330,00	430,00	490,00	560,00	640,00	720,00

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Con estos valores, y los valores de pendiente de los cauces y sección transversal promedio, es posible determinar en forma muy aproximada la altura máxima del

agua sobre el fondo medio del canal, y la velocidad máxima que puede adquirir el flujo en los canales, y al desbordar abruptamente sobre la planicie aluvial.

4.5.2.2.3. Modelación hidráulica

La naturaleza torrencial de una corriente, debe interpretarse por el número de Froude, que involucra la velocidad y la profundidad del flujo; este parámetro tiene que ver con el contenido de energía y el carácter dinámico de la corriente, y es el cociente entre la velocidad del flujo, y la velocidad de las ondas de pequeña amplitud que se pueden formar sobre su superficie, que es la raíz cuadrada de la profundidad del flujo, multiplicada por la aceleración de la gravedad:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy}} \quad (1)$$

En cauces de llanura, $F \leq 0.40$, en tanto que en ríos torrenciales F está en el rango $0.55 \geq F \leq 2.0$. En la naturaleza no se dan flujos supercríticos, ($F > 1.0$), por lo que los flujos con $F \geq 0.55$ se clasifican como “Casi-críticos”, y son los flujos de mayor velocidad en un cauce natural. Para definir el carácter de la corriente, se puede usar la ecuación de Manning, en la forma propuesta por Ordóñez³, reemplazando V y Y por sus equivalentes, q y F , ($q = V \cdot Y$) para calcular el valor de q capaz de producir un valor de F determinado en un canal con S y n conocidos:

$$q_F = \frac{g^5 n^9}{S^{4.5}} F^{10} \quad (2)$$

El subíndice F , que se le ha dado al caudal por unidad de ancho q , significa que la ecuación produce el valor de “ q ” que debe tener el cauce, para que el número de Froude adquiera el valor de F . Por ejemplo, utilizando la pendiente inferior del río Risaralda del 0,36% y un coeficiente de Manning conservadoramente alto, como 0.045, obtenemos que el número de Froude superará el valor de 0.50 para valores de q por encima de 6.6 m³/seg/m; esto implica que para la mayor parte de los casos prácticos, el flujo en el río Risaralda será siempre casi-crítico o torrencial.

La condición de flujo casi-crítico genera una serie de problemas en la modelación de los flujos torrenciales y en la interpretación de los fenómenos hidráulicos en este tipo de canales, particularmente en el caso de flujos de avenida. En efecto, la principal característica de los flujos con números de Froude entre 0.55 y 2.0, está en que la energía total del flujo está dentro de un rango de $\pm 10\%$ de la energía crítica, con lo cual el flujo es incapaz de decidir que profundidad debe tener, y genera

³ Ordóñez, J.I. “El Régimen del Flujo y la Morfología de los Cauces Aluviales”. Publicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2010.

una intensa inestabilidad de superficie, cuyos límites, de acuerdo con la teoría del flujo “Casi-crítico”, (Ordóñez, 2010), es como se muestra en la siguiente figura.

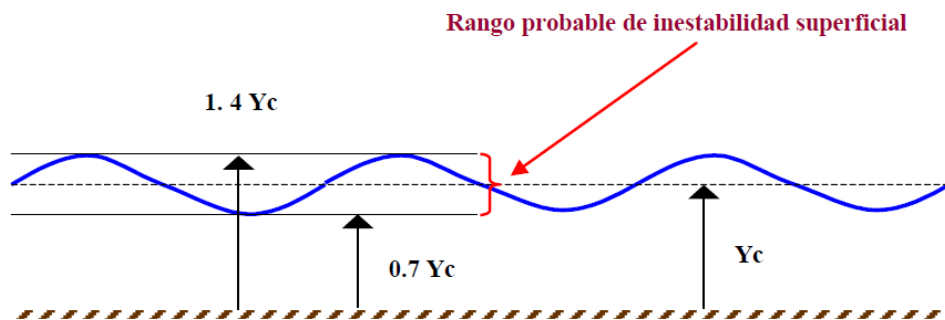


Figura 122 Inestabilidad superficial en fenómenos de flujo casi-crítico. (Ordóñez, 2010).
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Dado que la ecuación de flujo gradualmente variado produce una división por cero, para el caso $F = 1$, ningún modelo matemático puede dar respuestas para condiciones de flujo Casi-crítico; en estos casos, es preferible tener en cuenta el esquema de la figura 13, y calcular el valor promedio de la profundidad como la profundidad crítica Y_c , y la máxima altura del agua como $1.4 Y_c$; y la velocidad máxima del agua, como el caudal por unidad de ancho “ q ”, dividido por el tirante mínimo, $0.7 Y_c$. Esto genera la necesidad de determinar el valor de “ q ” en el canal, que desafortunadamente es variable en un canal abierto.

Para tener en cuenta este efecto, se puede utilizar el criterio desarrollado por Ordóñez con base en la observación de estos fenómenos en numerosas estaciones hidrométricas de primer orden en Colombia, y calcular el valor máximo del caudal por unidad de ancho con la siguiente ecuación:

$$q_{\max} = a \cdot q^n \quad (3)$$

Donde q_{\max} es el caudal máximo por unidad de ancho en la sección transversal del río, y q es el caudal promedio por unidad de ancho, valor teórico que resulta de dividir el caudal total por el ancho promedio de la sección de flujo. Los parámetros a y n son constantes que se han calculado estadísticamente para cauces naturales y aparecen en la tabla 4. El valor de F para el sector de máxima concentración del flujo se puede calcular por la ecuación:

$$F_m = b_1 F + b_2 \quad (4)$$

Donde los valores de b_1 y b_2 se pueden obtener de la tabla 69. Para cauces torrenciales se utilizarían los parámetros de la segunda fila.

Tabla 71 Parámetros para definir q_{max} y F_m según Ordóñez y Otros

TIPO DE RÍO	RANGO DE FROUDE	a_1	n	b_1	b_2
CAUCE DE LLANURA	$F < 0.40$	1.551		0.85	0.01
RÍO TORRENCIAL	$F \geq 0.40$	1.271	1.271	0.71	0.10

Fuente: Ordóñez y otros, Ref. (1)

Con estos valores es posible definir en forma muy aproximada las características dinámicas del flujo a lo largo del recorrido del río, dado que las condiciones hidráulicas están dadas por las condiciones del flujo principal en la zona de mayor caudal por unidad de ancho en la sección. De hecho, en canales rectos, el caudal por unidad de ancho es mayor cerca del centro de la sección, en tanto que en canales curvos el caudal es mayor en el lado cóncavo de la sección.



Figura 123 Inestabilidad superficial Q. Guática, (Derecha)

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

Así, por ejemplo, para el caso de la avenida con 10 años de periodo de recurrencia, teniendo en cuenta los valores de pendiente y coeficiente de fricción aproximados para las corrientes de diferente orden tendríamos la siguiente tabla de cálculo:

Tabla 72 Cálculos hidráulicos para flujo torrencial en el río Risaralda Q=Q10

Orden	So (%)	n	F	q _F	Q _f	y _c	1,4*y _c	0,7*y _c	V _{máx}	V _{min}	h _{vmax}	Y _{max}	q _m	b
1	35	0,075	1,90	0,47	13,2	0,28	0,39	0,20	2,37	1,19	0,29	0,68	0,46	28,94
2	27	0,075	1,85	1,15	36,3	0,51	0,72	0,36	3,21	1,60	0,52	1,24	0,93	39,16
3	27	0,075	1,85	1,15	61,05	0,51	0,72	0,36	3,21	1,60	0,52	1,24	0,93	65,86
4	20	0,065	1,90	1,60	95,7	0,64	0,90	0,45	3,58	1,79	0,65	1,55	1,20	79,68
5	7	0,050	1,65	4,16	231	1,21	1,69	0,85	4,92	2,46	1,23	2,92	2,54	90,93
6	0,36	0,045	0,50	6,63	330	1,65	2,31	1,15	5,74	2,87	1,68	3,99	3,67	89,99

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En esta tabla, q_F es el caudal máximo por unidad de ancho en la sección, calculado mediante la ecuación de Manning, (Ecuación 2), para las condiciones más probables de número de Froude Casi-Crítico, y condiciones conservadoras de coeficiente de rugosidad de Manning; Q_f es el caudal de 10 años de periodo de recurrencia para corrientes de cada orden de acuerdo con la primera columna, y la tabla 3; y_c es la profundidad crítica para el valor de q_F y los valores de V_{máx} y V_{mín} se calculan con 0,7 y_c y 1.4 y_c respectivamente, en tanto que h_{v máx} es la cabeza de velocidad calculada con V_{máx}, y y_{máx} es la máxima altura que puede alcanzar el chorro principal del flujo, (en ausencia de pérdidas de energía), que se recomienda como máximo nivel esperado de la inundación.

Los valores de q_m y b, son los valores estimados del caudal medio por unidad de ancho, calculado con base en la ecuación 3, con los coeficientes a₁ y n iguales a 1.271, para el caso torrencial, y el ancho aproximado de la superficie libre del agua estimado como Q_f/q_F. Este sería el ancho mínimo recomendado como ancho de la mancha de inundación para una avenida de 10 años de periodo de recurrencia.

De la misma manera se han calculado las tablas para 100 años y 500 años de periodo de recurrencia, con las cuales se pueden estimar las manchas de inundación correspondientes a esos caudales, para efectos de elaboración de planos de amenaza.

Tabla 73 Cálculos hidráulicos para flujo torrencial en el río Risaralda Q=Q100

Orden	So (%)	n	F	q _F	Q _f	y _c	1,4*y _c	0,7*y _c	V _{máx}	V _{min}	h _{vmax}	Y _{max}	q _m	b
1	35	0,075	2,00	0,78	22,4	0,40	0,56	0,28	2,82	1,41	0,40	0,96	0,68	32,80
2	27	0,075	1,95	1,95	61,6	0,73	1,02	0,51	3,82	1,91	0,75	1,77	1,40	43,92
3	27	0,075	1,95	1,95	103,6	0,73	1,02	0,51	3,82	1,91	0,75	1,77	1,40	73,86
4	20	0,065	2,00	2,68	162,4	0,90	1,26	0,63	4,25	2,12	0,92	2,18	1,80	90,32
5	7	0,050	1,75	7,49	392	1,79	2,50	1,25	5,98	2,99	1,83	4,33	4,04	97,13
6	0,36	0,045	0,53	11,87	560	2,43	3,40	1,70	6,97	3,49	2,48	5,89	5,80	96,56

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 74 Cálculos hidráulicos para flujo torrencial en el río Risaralda Q=Q500

Orden	So (%)	n	F	q _F	Q _f	yc	1,4*yc	0,7*yc	V _{máx}	V _{min}	h _{vmax}	Y _{max}	q _m	b
1	35	0,075	2,00	0,78	28,8	0,40	0,56	0,28	2,82	1,41	0,40	0,96	0,68	42,17
2	27	0,075	2,00	2,52	79,2	0,86	1,21	0,61	4,16	2,08	0,88	2,09	1,71	46,27
3	27	0,075	2,00	2,52	133,2	0,86	1,21	0,61	4,16	2,08	0,88	2,09	1,71	77,82
4	20	0,065	2,00	2,68	208,8	0,90	1,26	0,63	4,25	2,12	0,92	2,18	1,80	116,12
5	7	0,050	1,80	9,92	504	2,16	3,02	1,51	6,57	3,28	2,20	5,22	5,04	100,05
6	0,36	0,075	0,60	14,22	720	2,74	3,84	1,92	7,41	3,70	2,80	6,64	6,68	107,71

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Con los resultados para niveles y velocidades máximas alcanzadas por el flujo en la zona afectada, se puede identificar la amenaza, de acuerdo con las categorías a partir de los posibles daños que puede provocar de la relación de estas dos variables, así:

- **Amenaza alta:** zona comprendida entre la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- **Amenaza media:** zona ocupada por las manchas de inundación 100 años y velocidades y profundidades que generen daños moderados y/o molestias a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- **Amenaza baja:** zona comprendida entre las manchas de inundación de 100 a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños moderados y molestias.

Tabla 75 Áreas de las Manchas de Amenaza en la cuenca del Río Risaralda

Orden	Longitud (m)	b ₁₀₀	b ₅₀₀	Área m ² Amenaza Alta	Área m ² Amenaza Media	Área m ² Amenaza Baja
1	2950	32,80	42,17	96,760	96,760	27,642
2	5615	43,92	46,27	247060	247060	1,445
3	10102	73,86	77,82	747548	747548	40,410
4	19500	90,32	116,12	1'755,000	1'755,000	260,632
5	36,000	97,13	100,05	36'000,000	36'000,000	108,000
6	10,500	96,56	107,71	1'134,000	1'134,000	115,500
			TOTAL	40'000,000	40,000,000	550,000

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

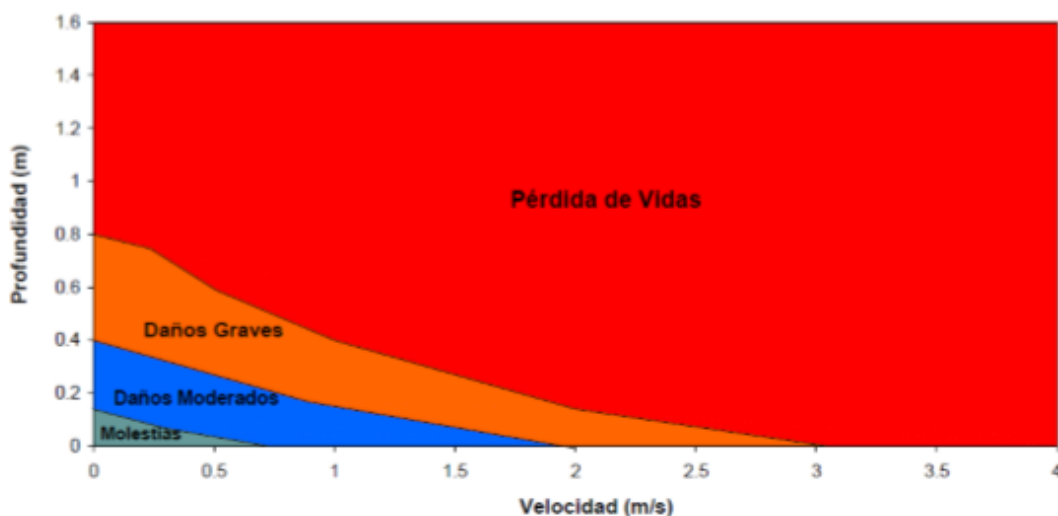


Figura 124 Tipos de daños potenciales por características de la inundación.

(Fuente: UNAL, 2013)

Debe tenerse en cuenta que los valores de “b”, el ancho medio del flujo para el caudal de avenida correspondiente a cada periodo de recurrencia calculado, es un valor adecuado del ancho de la mancha de inundación cuando el cauce está totalmente encajonado entre taludes de orilla más altos que el valor de $Y_{\text{máx}}$, sin embargo, cuando el valor de $Y_{\text{máx}}$ excede la altura de las orillas del río, el resultado es el desbordamiento y el riego del flujo sobre la planicie aluvial, aumentando el área de la mancha de inundación. Esto ocurre sin duda para corrientes de orden 5 y 6, y aún para algunas de orden 4, dado que solo en algunos casos el cauce permite valores de profundidad mayores de 2.0 m sin desbordarse.

El problema de demarcar manchas de inundación en casos de desbordamiento está en que se requiere modelación detallada de las condiciones hidráulicas, incluyendo la determinación de los volúmenes disponibles en cada avenida, mediante el cálculo de hidrogramas completos de tormenta, lo cual está fuera de alcance de los estudios realizados, y resulta difícil de determinar mediante las tablas de cálculo realizadas, dado que a la escala 1:25,000 es imposible discernir diferencias de nivel de 1 a 3 metros en la planicie inundable definida geomorfológicamente.

Por las anteriores razones, se considera preferible para los casos de corrientes de orden 5 y 6, combinar el conocimiento disponible de eventos pasados, con los siguientes criterios:

1. Las zonas de amenaza alta deben estar restringidos al ancho del cinturón de meandros del río.

2. Todas las zonas demarcadas geomorfológicamente como zonas de llanura aluvial, por fuera del cinturón de meandros del río deben considerarse como de amenaza media de inundaciones.
3. Las zonas demarcadas como terrazas aluviales, con alturas superiores al nivel de la llanura aluvial, deben demarcarse como zonas de amenaza baja.

4.5.2.3. Procesos dominantes en áreas críticas

4.5.2.3.1. Interpretación en campo

Se incluye la interpretación en la tabla 11, de acuerdo con los órdenes de Strahler para cada una de las cuencas de interés, de acuerdo con los siguientes tipos:

- Textura de los depósitos torrenciales: de acuerdo con diferentes mecanismos de transporte, (depósitos de flujos de detritos, flujos de lodo, flujos de tierra, y depósitos de origen fluvio-torrencial).
- Morfologías superficiales: presencia de diques o albardones, lóbulos frontales, bloques de más de 1m de diámetro, daños a la vegetación, canal trapezoidal.

Tabla 76. Procesos Dominantes en Ares Criticas

Orden	Río Risaralda		Río Dos Quebradas		Río mapa		Río Guática	
	<i>Textura</i>	<i>Morfología</i>	<i>Textura</i>	<i>Morfología</i>	<i>Textura</i>	<i>Morfología</i>	<i>Textura</i>	<i>Morfología</i>
1	Detritos	bloques	Detritos	bloques	Detritos	bloques	Detritos	bloques
2	Detritos	bloques	Detritos	bloques	Detritos	bloques	Detritos	bloques
3	Fluvio Torrencial	Canal erosionado	Fluvio Torrencial	Canal erosionado	Fluvio Torrencial	Canal erosionado	Fluvio Torrencial	Canal erosionado
4	Flujo de lodos	Daño a vegetación	Flujo de lodos	Daño a vegetación	Flujo de lodos	Daño a vegetación	Flujo de lodos	Daño a vegetación
5	Fluvio Torrencial	Albardones	Fluvio Torrencial	Albardones	Fluvio Torrencial	Albardones	Fluvio Torrencial	Albardones
6	Fluvio Torrencial	Albardones	Fluvio Torrencial	Albardones	Fluvio Torrencial	Albardones	Fluvio Torrencial	Albardones

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.5.2.3.2. Cronología de Eventos

Se ha realizado la Tabla 73, de acuerdo con los siguientes aspectos de cronología de eventos:

- Años: Huellas en el cauce, sin vegetación o rastrojo bajo en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, afectación de la corteza de árboles mayores, ausencia de líquenes en bloques de roca, ausencia de horizontes A y B de suelo. Coronas de cicatrices agudas.

- Decenas de años: Rastrojo alto o árboles mayores en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, líquenes en bloques, matriz fresca, coronas de cicatrices subredondeadas.

Para una respectiva zonificación de las áreas críticas con respecto a zonas inundables y avenidas torrenciales, se hace necesaria la interpretación y análisis facial de los cauces del río, observándose principalmente la textura de los depósitos y las morfologías superficiales encontradas, es necesario aclarar que dentro de este análisis se debe hacer un estudio temporal (cronológico) de dichos eventos, con base en las características de la zona y evidencias para diverso periodos (años y decenas de años).

Luego de la etapa de campo inicial y verificación de estos eventos mediante la aplicación de encuestas y sistematización de los eventos suministrados (ver anexo 12), se evaluaron diversos sectores así: áreas del municipio de Mistrató, Santuario y Balboa en zonas adyacentes al río Totuí, donde la comunidad reporta avenidas torrenciales e inundaciones fuertes con caída de bloques y detritos asociados a depósitos fluviotorrenciales, entre 30 – 40 cm, produciendo afectaciones principalmente en viviendas. Estas se relacionan a zonas de altas pendientes de ladera, lo que ocasiona mayor desprendimiento de material hacia las partes bajas.

Hacia las partes bajas de la cuenca y relacionado a ambientes de llanura y terraza aluvial, en los municipios de la Virginia, Viterbo y Belén de Umbría, se evidencian sobre los ríos Risaralda y Mapa, terrazas recientes con depósitos de grava y arena gruesa, con presencia de algunos bloques que superan los 50 cm, estas se encuentran localizadas sobre drenajes de orden 3 principalmente.

Al hacer un análisis facial sobre las que se encuentran las vías, se observan terrazas antiguas, donde se presenta mayor grado de meteorización del material rocoso, al igual que mayor compactación de la matriz envolvente, en su mayoría arenas finas a media con algunos intersticios de lodo.

Estos materiales de gran tamaño indican y dan una visión general de las áreas afectadas por eventos anteriores y que potencialmente podrían serlo, lo cual quedó consignado en el mapa de susceptibilidad ante avenidas torrenciales.

Tabla 77 Indicadores de cronología de eventos

Orden	Río Risaralda		Río		Río mapa		Río Guática	
	Tempranos	Tardíos	Tempranos	Tardíos	Tempranos	Tardíos	Tempranos	Tardíos
1								
2								
3	XX	XXX	XX	XXX	X	XX	X	XX
4								
5								
6								

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

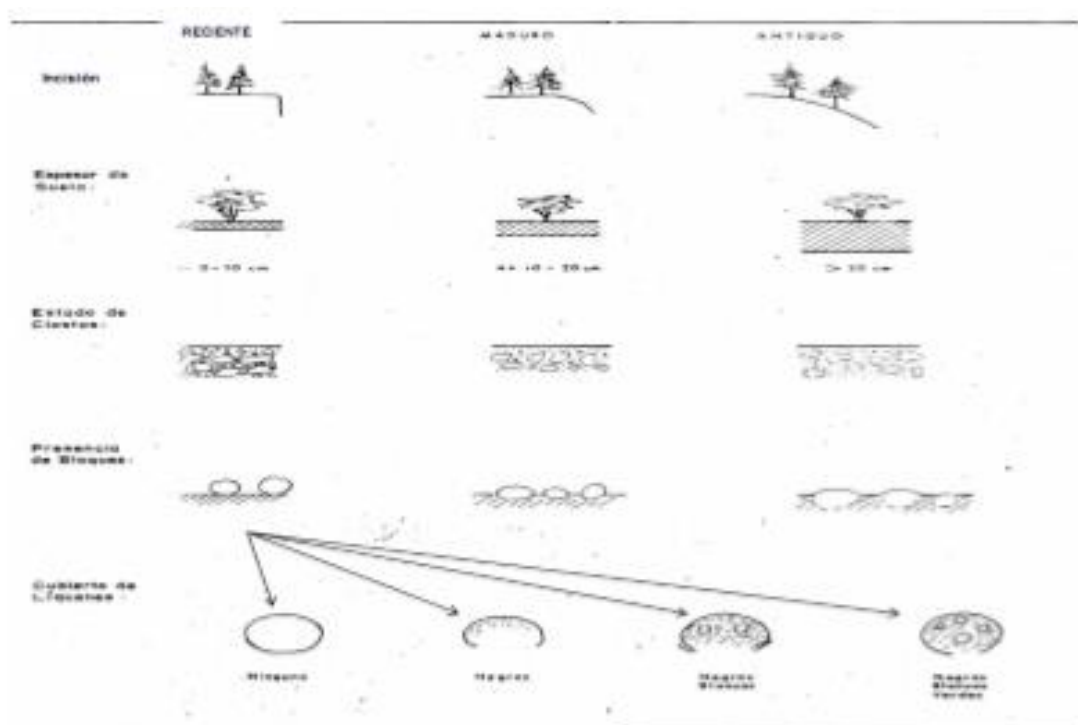


Figura 125 Indicadores de cronología de flujos densos por procesos torrenciales

Fuente: Adaptado de Parra, 1995

4.5.2.3.3. Definición de categorías de amenaza

Definición de categorías de amenaza considerando los siguientes criterios:

- **Amenaza torrencial alta:** zonas identificadas con actividad reciente y con evidencias históricas claras, (más de un evento histórico identificado). Indicadores cronológicos en la categoría de reciente.
- **Amenaza torrencial media:** zonas con actividad torrencial con evidencias históricas de al menos una avenida torrencial; elevación insuficiente por encima del canal torrencial de acuerdo con las características de la cuenca, principalmente del área de drenaje, (en general diferencias de elevaciones menores a 1.5m); aguas abajo de un punto de avulsión potencial, (disminución brusca de la sección, puentes o entubaciones de poca sección que puedan ser obstruidos por el material arrastrado). Indicadores cronológicos en la categoría de maduro de acuerdo con la Figura 125.
- **Amenaza torrencial baja:** áreas torrenciales identificadas por fotointerpretación (a la escala de trabajo o mayores), las cuales no pueden ser identificadas dentro de las categorías anteriores, (zonas alejadas de los canales torrenciales y sin evidencias claras de eventos históricos y sus afectaciones).

4.5.2.4. Identificación de la amenaza

4.5.2.4.1. Identificación de alturas máximas

Con los cálculos desarrollados por el profesional experto en hidrología, se midieron punto a punto las máximas alturas para periodos de retorno de 10, 100 y 500 (ver Tabla 45) esta identificación de puntos se aplicó para los ríos Risaralda, Mapa, Totuí, Apía y Guática (este último después de verificados los puntos se estableció que este cálculo a escala 1:25.000 es técnicamente poco procedente, ya que el buffer calculado por fuente hídrica según caudal en zona montañosa aplica de manera similar al cálculo punto a punto).

Tabla 78 alturas máximas para cada caudal

Orden	10			100			500			Fuente hidrica
	hvmax	Ymax	delta	hvmax	Ymax	delta	hvmax	Ymax	delta	
1	0,29	0,68	0,39	0,4	0,96	0,56	0,4	0,96	0,56	
2	0,52	1,24	0,72	0,75	1,77	1,02	0,88	2,09	1,21	
3	0,52	1,24	0,72	0,75	1,77	1,02	0,88	2,09	1,21	
4	0,65	1,55	0,90	0,92	2,18	1,26	0,92	2,18	1,26	
5	1,23	2,92	1,69	1,83	4,33	2,50	2,2	5,22	3,02	Río Mapa, Totui, Apía y Guatica
6	1,68	3,99	2,31	2,48	5,89	3,41	2,8	6,64	3,84	Río Risaralda

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.5.2.4.2. Definición de perfiles

Los perfiles se definieron por la imagen con INV, el DTM (resolución 12,5 m) y la geomorfología, sumado a las zonas con susceptibilidad alta y media a inundaciones. Los perfiles tienen una distancia entre sí, que varía entre 1000 y 500 metros en la parte del valle aluvial, en la parte de pie de monte la distancia entre perfiles varía entre 250 a 500 metros. Se crearon algunos perfiles que indiquen las variaciones de alturas de lámina de inundación principalmente en las zonas urbanas de valle aluvial.

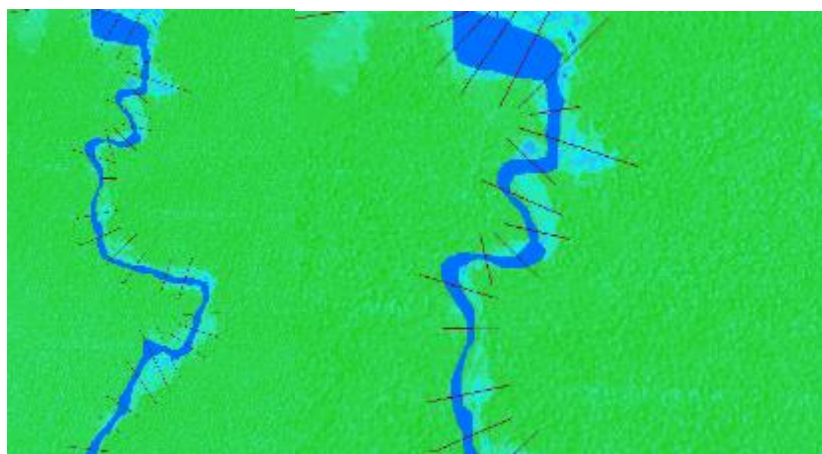


Figura 126 perfiles definidos para el análisis

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.5.2.4.3. Calculo de puntos de máxima inundación

Una vez definidos los perfiles se procedió a identificar los puntos paralelos de altura sobre el nivel del mar de inundación probable según cada periodo de retorno, proyectando el punto a partir del punto central del río hacia el punto con el nivel de altura correspondiente a la respectiva amenaza alta, media o baja. Para ello, se apoyó esta evaluación con la herramienta de Google Earth, utilizando los puntos que mostraran el menor error, en este caso el error máximo es de 12% bajo la escala 1:25.000. Algunos perfiles se replantearon para reducir el error.



Figura 127 perfil de puntos máximos ante inundaciones.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.5.2.4.4. Delimitación de zonas de amenaza por inundación

Finalmente se procedió a la delimitación de las polilíneas de amenaza alta, media y baja; uniéndolos los puntos antes calculados, orientando la interpolación de los mismos con la imagen de satélite preprocesada aplicando el índice diferenciado de vegetación (NVDI) para resaltar meandros y sectores con carga de agua.

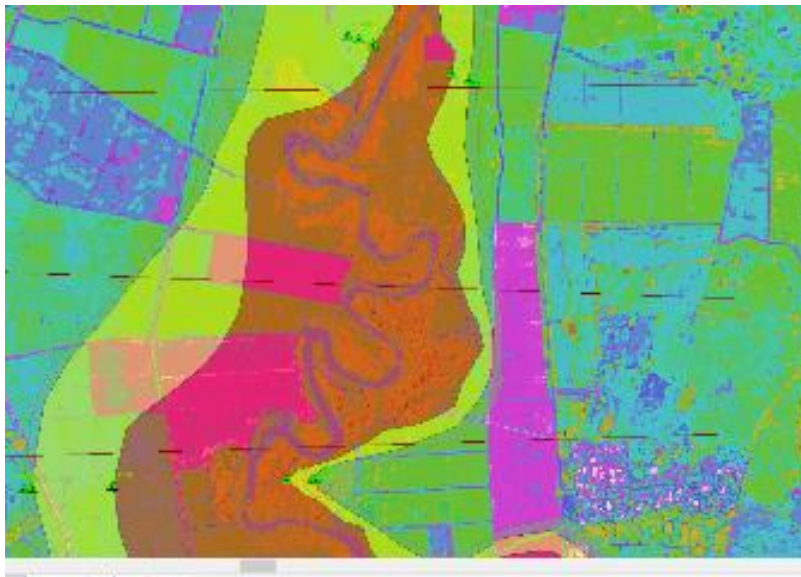


Figura 128 delimitación y marcación de zonas inundables.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En los sectores de partes altas como Mistrató, se aplicaron tanto niveles máximos (Y Máximo) y el ancho mínimo recomendado como ancho de la mancha de inundación para una avenida (b), siendo estos dos valores coincidentes.



Figura 129 Delimitación de zonas inundables en el municipio de Mistrató
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.5.2.4.5. Mapa de amenazas por inundación

Finalmente se obtuvo el mapa de amenazas por inundaciones que resalta principalmente la parte baja de la cuenca del río Risaralda y puede visualizarse con mayor detalle en el pdf adjunto.



Figura 130 localización de eventos inundables.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Es preciso destacar que si bien en la zona del municipio de La Virginia se construyeron obras de mitigación ante inundaciones mediante la instalación de “jarillones”, dichas obras requieren de mantenimientos continuos, implementación de obras adicionales para garantizar un correcto funcionamiento de dichas obras; adicionalmente se aprecia una fuerte intervención antrópica en las zonas adyacentes a estas estructuras mediante la instalación de edificaciones, ampliaciones de algunas existentes e intervención general de las áreas adyacentes que podrían contribuir el deterioro de las obras y general mayor susceptibilidad y amenaza ante eventos tipo torrenciales.

De acuerdo con lo anterior en el presente documento se plantea como zonas de Amenaza Alta ante eventos torrenciales en inmediaciones de los jarillones y Media en las zonas adyacentes para algunos barrios de La Virginia que coinciden con las zonas de antiguas afectaciones y cursos del río Risaralda, lo que establece la necesidad de efectuar valoraciones detalladas del estado de los jarillones, potenciales afectaciones ante eventos torrenciales estableciendo los volúmenes aportantes en cada una de las fuentes superficiales aferentes como también por el “represamiento” y aumento del nivel del río Cauca con relación a las obras descritas.

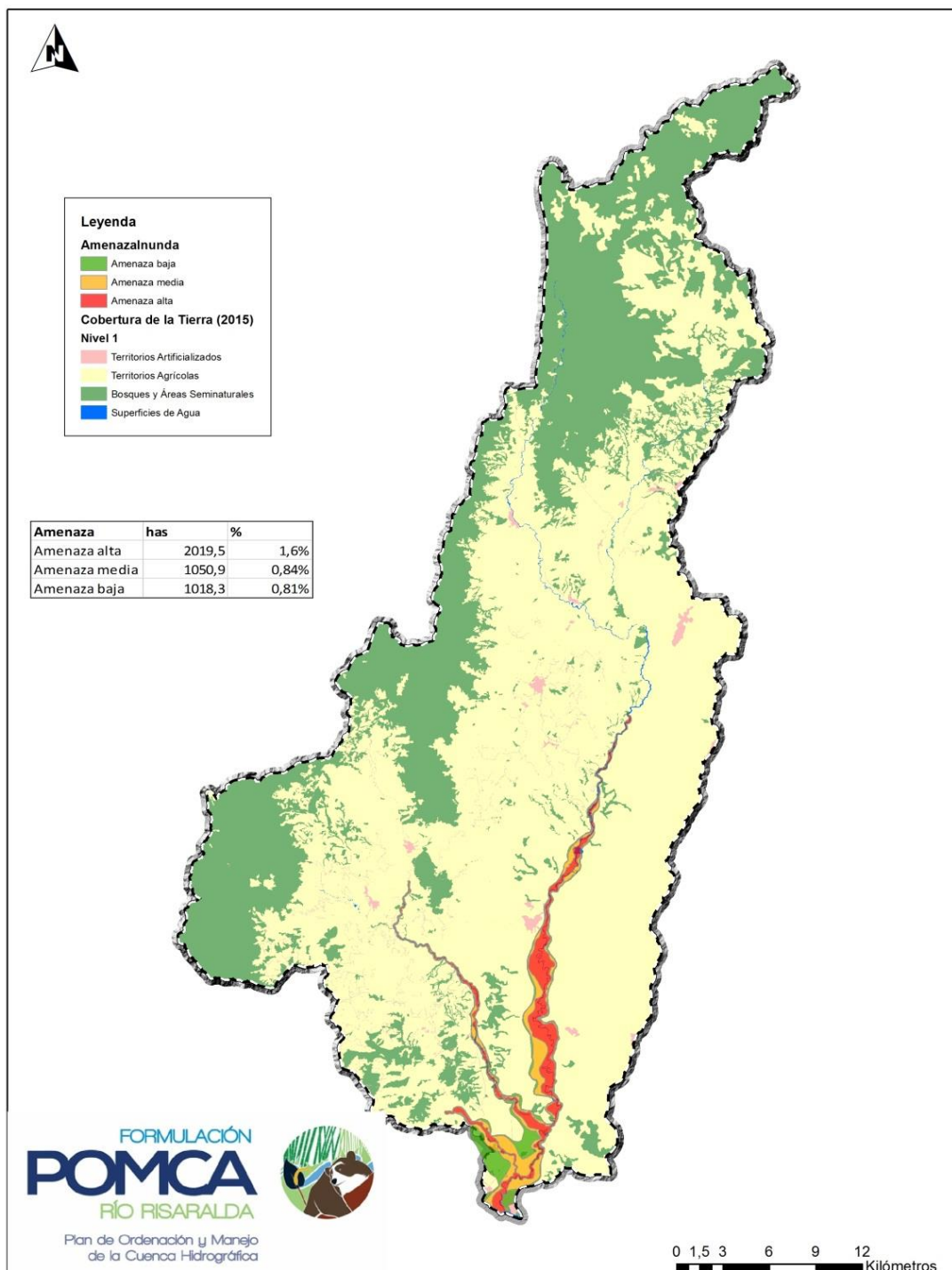


Figura 131 mapa definitivo de amenaza ante inundaciones.
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.5.2.4.6. Validación de los resultados del mapa de amenazas por inundación según eventos históricos.

De acuerdo como se relacionó en el ítem 4.3, “Caracterización histórica de eventos”, se realizó la recopilación de las bases de datos suministradas por el Desinventar, para así poder hacerse un dimensionamiento inicial de cómo se encuentra la cuenca con respecto a este tipo de eventos (inundaciones y avenidas torrenciales), se validaron los eventos ocurridos resaltándose las zonas de amenaza Media y Alta que coinciden con gran parte de los eventos ocurridos sobre los sectores de la Virginia, Viterbo, y Belén de Umbría, representando zonas planas de llanuras y terrazas aluviales, resaltando que la ubicación espacial y exacta de dichos fenómenos y su ubicación en la cartografía utilizada puede presentar algún tipo de variación según el nivel de amenaza presente dada la escala de trabajo adelantada. (Ver mapa de amenazas por inundaciones Torrenciales) y estos datos se registran en la base de datos anexa (anexo 11).

4.5.3. Incendios.

4.5.3.1. Resumen.

Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio frente a incendios forestales está cualificada como Baja, la cual ocupa 15621,73ha y que representan el 27,47% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las zonas cualificadas como Muy Baja, la cual ocupa 5739,36ha y que representan el 10% del territorio

4.5.3.2. Integración de factores

La evaluación de la amenaza se realiza a partir de la zonificación y calificación de los siguientes factores propios del territorio, los cuales le confieren una mayor o menor probabilidad de ser afectados por incendios.

4.5.3.2.1. Susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios

La susceptibilidad de la cobertura vegetal, se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo, 2007.

El modelo de combustibles representa la condición pirogénica de la vegetación colombiana, aspecto clave en la evaluación del comportamiento de nuestros ecosistemas frente al fuego, tanto en el inicio de un incendio, como en la modelación del comportamiento del fuego, en caso de presentarse eventos de esta índole.

El modelo de combustibles desarrollado, se estructuró mediante una clasificación jerárquica, conformada por los siguientes factores:

Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema: tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante.

Duración del tipo de combustible dominante: duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1 hr, 10 hr, 100 hr),

Carga total de combustibles: caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en Ton/a y humedad media de la vegetación obtenida a través de una distribución cualitativa de los rangos obtenidos a partir del índice de vegetación NDII. Este último nivel define el modelo de combustible para una determinada unidad de vegetación.

4.5.3.2.2. Factores climáticos

El clima es uno de los factores de fundamental importancia en la generación y la propagación de los incendios forestales ya que determina la duración y la severidad de las estaciones secas y calurosas en un área geográfica determinada, lo cual influye directamente sobre la humedad y la cantidad de combustible presente, ya que la humedad hace que la vegetación sea más o menos resistente a la afectación del fuego, lo que conlleva a que exista una mayor disponibilidad de combustible de fácil ignición y con mayor probabilidad de ser afectado por el fuego, razones que posicionan las condiciones climáticas como factor de utilización indispensable para la evaluación de la amenaza.

Los factores climáticos de mayor influencia en la generación y propagación de incendios forestales y que se consideran en esta propuesta, son la temperatura media multianual y la precipitación media multianual, bajo condiciones normales y bajo la incidencia de anomalías climáticas como el Fenómeno del Niño. Se

considera como información opcional a ser incluida, la relativa a los vientos dominantes y la radiación solar.

Para ello, se efectúa un procedimiento similar al de la calificación de la susceptibilidad, para generar los mapas de las variables climáticas a partir de la información de precipitación y temperatura con los cuales se caracterizan climáticamente los ecosistemas colombianos (IDEAM, 2007).

Tabla 79 peso relacionado para cada uno de los factores climáticos

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Árido (0-500)	MUY BAJA	1
Pluvial (>7000)	MUY BAJA	1
Muy húmedo (3000-7000)	MODERADA	2
Húmedo (2000-3000)	MODERADA	3
Seco (1000-2000)	ALTA	4
Muy seco (500-1000)	MUY ALTA	5

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
Nival (<1.5)	MUY BAJA	1
Extremadamente frío (1.5 - 6)	MUY BAJA	1
Muy frío (6 - 12)	MODERADA	2
Frío (12 - 18)	MODERADA	3
Templado (18 - 24)	ALTA	4
Cálido (>24)	MUY ALTA	5

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

4.5.3.2.3. Factor del relieve

La propagación del fuego aumenta con el ángulo que ofrece la superficie, la propagación a favor de la pendiente es rápida y peligrosa. Los incendios no ocurren al azar, sino que son más frecuentes en ciertas posiciones topográficas.

Con el propósito de incorporar este factor en la evaluación de la amenaza, es pertinente elaborar un mapa de pendientes a partir de la elaboración de un modelo digital del terreno.

El mapa de pendientes en porcentaje se reclasifica y se le asigna una clasificación según el siguiente cuadro.

Tabla 80 peso para el factor del relieve en la incidencia ante fenómenos de incendios forestales

PENDIENTE MEDIA (%)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 – 7 %	MUY BAJA	1
7 – 12 %	BAJA	1
12 – 25 %	MODERADA	2
25 – 75 %	ALTA	3
> 75 %	MUY ALTA	4

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

4.5.3.2.4. Factor histórico

A partir de la información contenida en los partes de incendios acaecidos durante un determinado periodo de tiempo (recomendable de 10 a más años), se realiza el análisis a través del índice de frecuencia de incendios forestales, el cual refleja la frecuencia de eventos, referido al área; aplicando la relación que se muestran a continuación:

$$Fi = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^n ni$$

Fi : Frecuencia de incendio
 a : Número de años
 ni : Número de incendios de cada año

4.5.3.2.5. Accesibilidad

Para este proceso, se debe realizar a partir del mapa vial (vías principales y secundarias), la generación de 4 zonas buffer cada una de 500 m de grosor; una vez generados los buffers, se procede a su calificación para la generación de las amenazas que se pueden presentar sobre la cobertura por efecto de la mayor o menor posibilidad de acceso que se tenga sobre ellas, de acuerdo a los siguientes criterios:

Tabla 81 peso utilizado para la accesibilidad

DISTANCIA A LA VÍA (GROSOR DEL BUFFER en m)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 – 500	MUY ALTA	5
500 – 1000	ALTA	4
1000 – 1500	MODERADA	3
1500 – 2000	BAJA	2
Más de 2000	MUY BAJA	1

Fuente: protocolo para la zonificación de riesgos ante incendios (IDEAM)

Expresada como la densidad vial, este factor se considera parte de la amenaza, debido a que es fundamental en la generación de la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas forestales y generar focos de incendio.

La figura siguiente muestra el diagrama de flujo que interrelaciona los factores de amenaza de incendios de la cobertura vegetal.

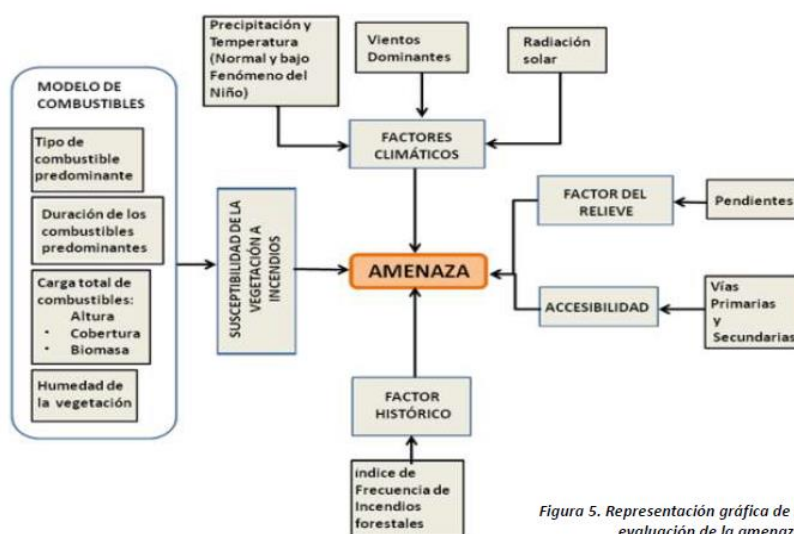








Figura 5. Representación gráfica de la evaluación de la amenaza.

Figura 1 Representación gráfica de la evaluación de la amenaza

Fuente: Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal (IDEAM)

4.5.3.3. Información requerida

Como se observó en la susceptibilidad a incendios forestales parte del análisis como combustible de las coberturas de la tierra. De acuerdo a la metodología del IDEAM, con este mapa y los siguientes insumos:

-  Mapa de frecuencia de incendios forestales
-  Mapa de Pendientes
-  Mapa de Susceptibilidad de combustibles
-  Mapa de Accesibilidad
-  Mapa de Amenaza a Incendio Forestales
-  Mapa de clima

Por escasez de información de datos históricos y la dificultad para homologar los datos para distribuirlos de forma discreta en un porcentaje donde se determine niveles de confiabilidad y disminuya el nivel de incertidumbre, fue necesario omitir la información de brillo solar, dirección y velocidad de los vientos y reportes de incendios forestales. Se omitieron también los valores de radiación, porque los incendios reportados en la cuenca tienen su origen en el factor antrópico y dadas las condiciones de pluviosidad y humedad presentes no es un factor detonante para dichos eventos.


-  Toda vez que los datos de insolación son solo de un momento en el día en el modelo y lo que se debe hacer es un promedio para los diferentes ángulos de inclinación en el día más caluroso el valor sería un valor constante después de su tratamiento estadístico dada la latitud, además que la cuenca tiene una distribución uniforme referente a la cantidad de insolación diaria por el efecto de la latitud en el Ecuador. Como se mencionó el promedio de los datos daría un valor constante para el máximo esperado para el día más caluroso por lo que no se espera variación de la insolación media calculada, ciertos reportes sobre radiación solar o insolación son determinantes en los trópicos y hacia los polos ver Tabla 82.

Tabla 82 Datos esperados de insolación en el ecuador

Hemisferio Norte					Ecuador	Hemisferio Sur			
Fecha	90	70	50	30	0	-30	-50	-70	-90
22-dic	0,00	0,00	178,60	472,51	854,83	1054,75	1070,64	1094,25	1164,48
04-feb	0,00	24,44	292,81	576,57	890,28	987,71	922,71	797,13	822,28
21-mar	0,00	310,85	584,21	787,10	908,86	787,10	584,21	310,85	0,00
06-may	793,85	769,75	891,36	954,34	860,42	557,42	283,24	23,78	0,00
22-jun	1090,97	1025,18	1003,06	988,17	800,87	442,68	167,33	0,00	0,00

Fuente: Atmósfera, tiempo y clima de R.G. Barry y R.J. Chorley

Con los insumos anteriores se procedió a establecer las ponderaciones o importancias de cada variable evaluando inicialmente lo establecido en el protocolo y posteriormente ajustando los valores con el fin de obtener datos proyectados a la unidad (100%) como se describe a continuación:

Tabla 83 Tabla de variables usadas y ponderación para la generación del mapa de Amenaza a incendios.

ITEM	VARIABLE	VALOR DE IMPORTANCIA O PONDERACIÓN
1	PENDIENTES	0,15
2	SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN	0,20
3	TEMPERATURA	0,25
4	PRECIPITACIÓN	0,25
5	FRECUENCIA OCURRENCIA INCENDIOS (años	0,10
6	ACCESIBILIDAD DISTANCIA A VÍA (GROSOS DEL BUFFER EN m)	0,05
7	ASPECTOS ANTRÓPICOS	0,00
	TOTAL	1,00

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Para definir la frecuencia se seleccionaron los eventos históricos de la Corporación, la base de datos de Desinventar y algunos incendios reportados por la NASA hasta 2015, excluyendo los incendios urbanos dado que la metodología está asociada sólo a cobertura vegetal.

De otro lado la metodología habla de la necesidad de generar un radio de acción (buffer) de 50 mts para la extensión esperada por incendios de 9 – 10 has para los incendios de esta zona.

Tabla 84. Distancias definidas para el buffer y la distancia euclidiana en frecuencia de incendios

0-250
250-500
500-1000
1000-2000
Mayores de 5000

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Como los valores para una hectárea están dados por el radio de acción, se tomó un buffer con distancia euclidiana, que garantizará el mínimo de distancia en 6,25 has que corresponde a 250 m y se unió a un factor promedio, para el caso del presente informe, la frecuencia dio dos incendios por año por lo que el valor mínimo donde se presentará un solo incendio fue dos y de acuerdo a la confluencia de los anillos por cercanía se asociaron al siguiente buffer y se multiplico por la cantidad de eventos asociados a la distancia. Luego se ajustó con límite de la cuenca para los valores mínimos que en este caso era uno para los valores mínimos o sin amenaza.

Por último, se realizó la suma ponderada y se generó el mapa para cada escenario.

Época Normal: Se encontró que el área que ocupa mayor proporción del territorio está cualificada como Baja, la cual ocupa 15621,73ha y que representan el 27,47% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las zonas cualificadas como Muy Baja, la cual ocupa 5739,36ha y que representan el 10% del territorio.

La Tabla 85 y la Figura 132 muestran en detalle los valores relacionados con la amenaza de incendios forestales en la cuenca del río Risaralda durante la época Normal

Tabla 85. Amenaza de incendios forestales durante época Normal.

Grado de Amenaza		Área	
Cualificación	Calificación	ha	%
Baja	2 – 3,3	76171	60,65
Moderada	3,3 – 4,6	31316	24,9
Alta	3,6 – 4,5	18113	14,4

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

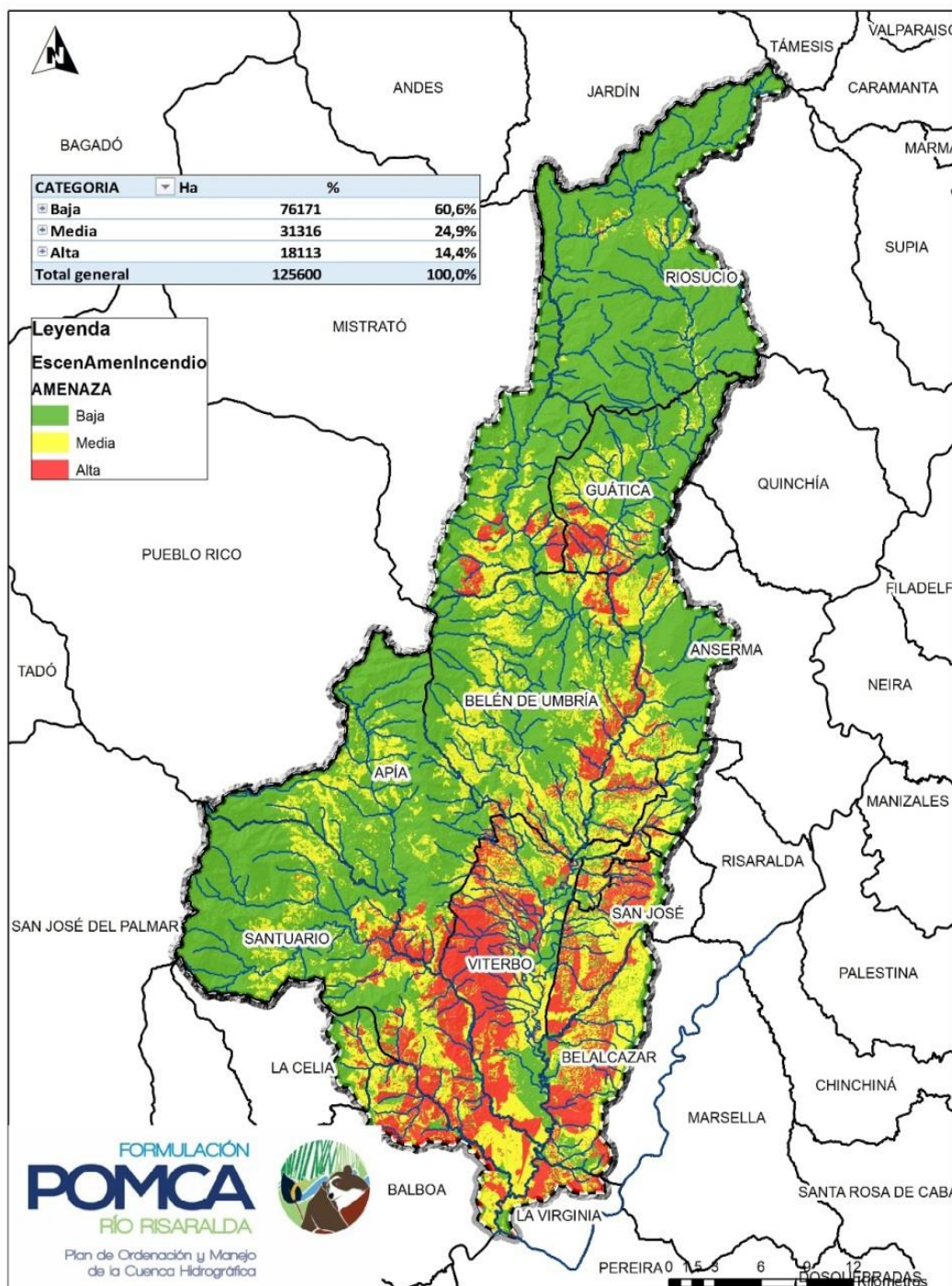


Figura 132 Amenaza de incendios forestales durante época Normal.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

4.5.4. Movimientos en masa.

4.5.4.1. Resumen

Para la cuenca hidrográfica del río Risaralda se observa una zonificación de amenaza entre valores bajos con proporción alrededor del 51% (64.353 ha), medios cercanos al 26% (32.139 ha) y altos en el resto de la cuenca con un 23%(29.107 ha). La parte norte y suroeste de la cuenca cuenta con pendientes relativamente mayores sumado a altos niveles de espesor de las láminas de agua para los diferentes tiempos de retorno y valores geomecánicos menores que dan mayor propensividad la inestabilidad de taludes de las unidades geológicas superficiales principalmente en los municipios de Santuario, Apía y Belén de Umbría. Por su parte, Los municipios de Riosucio, Guática y Anserma, así como el sector del piedemonte y valle del río Risaralda existe una variación relativamente baja de pendientes sumados a unidades litológicas recientes de origen fluvial con pendientes bajas que se reflejan en las condiciones de estabilidad correspondientes con amenaza baja por movimientos en masa.

4.5.4.2. Descripción metodológica para obtener amenaza por movimientos en masa

Dentro de la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se tuvo en cuenta el Protocolo para la incorporación de la gestión del Riesgo en los POMCA, el cual sugiere un procedimiento determinístico y la valoración de diversos escenarios con presencia de agua y sismo en diferentes periodos de retorno. En la Figura 133 se describe metodológicamente la obtención de la amenaza por movimientos en masa.

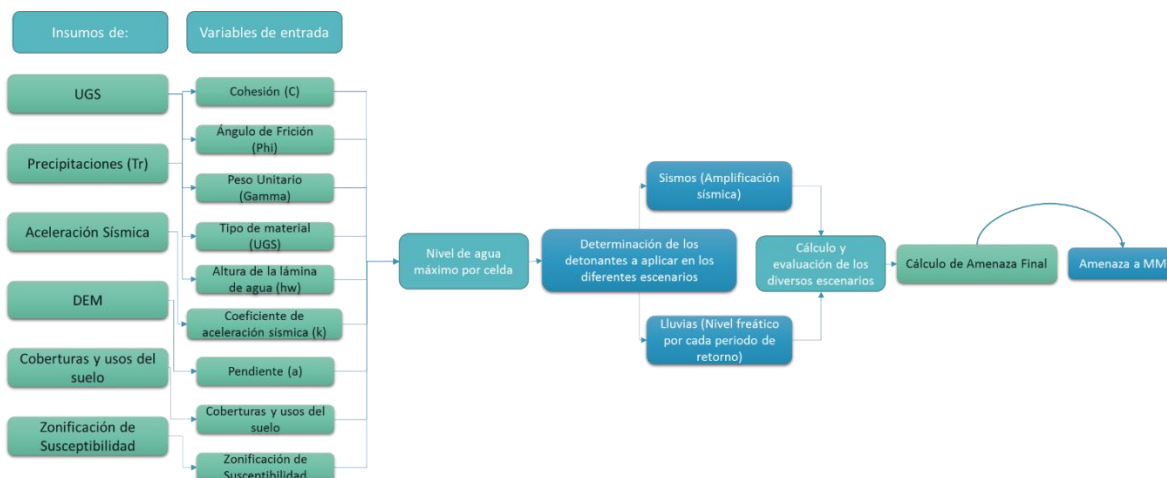


Figura 133 Estructura metodológica para la evaluación de amenaza por movimientos en masa.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

A partir de cartografía base de geología y geomorfología, así como de los resultados del programa de exploración del suelo y ensayos de laboratorio realizados se planteó el modelo geológico geotécnico que representa las zonas homogéneas de comportamiento geomecánico. Para su planteamiento se realizó el cruce espacial de los puntos de control de campo realizados que permiten la asignación directa de los parámetros de comportamiento mecánico en el caso de las unidades geotécnicas que coinciden con al menos uno de los puntos de control. Los parámetros de resistencia descritos en el numeral 4.5.4.3.4 se asignaron en este caso para cada celda considerando promedios ponderados y aproximaciones según las muestras que contienen información, asignándose un único valor de cada parámetro a cada píxel.

Una vez definidos los parámetros geotécnicos, se debe tener en cuenta la determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios (niveles freáticos y aceleración sísmica). Para considerar la condición de sismicidad se incluyó el efecto de la carga sísmica como una fuerza inercial horizontal a partir del coeficiente de aceleración horizontal en análisis de equilibrio límite pseudoestático. Se partió de los valores regionales de amenaza según el estudio de Amenaza Sísmica Nacional referido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10, los cual se describe con detalle en el numeral 4.5.4.3.3.

Para la evaluación del nivel freático se plantea la hipótesis en la que el mismo se encuentra en la superficie de falla y varía según el régimen de lluvias de cada píxel. El análisis de lluvia considera el concepto de una proporción de esta que cae al suelo y se infiltra, otro porcentaje queda detenido en la vegetación y en depresiones del suelo mientras se evapora y otro fluye como escorrentía directa. La cantidad de lluvia se obtuvo con los análisis de precipitaciones descritos en curvas IDF y se plantearon valores esperados precipitación máxima diaria por periodos de retorno de 1.33, 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años.

Para estimar dicha fracción de agua infiltrada se sugiere por el protocolo usar el método Álzate (2012) y Torres et al., (2014) que plantea una ecuación empírica en función de los factores que influyen en el proceso de infiltración. Sin embargo, dicha ecuación empírica propone el término de precipitación en el denominador, lo que indicaría menores niveles freáticos con mayores precipitaciones. Por lo anterior, se amplió el análisis utilizando el método lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del U. S. Department of Agriculture, el cual muy frecuentemente se utiliza para estimar cantidad de agua proveniente de una tormenta (P) que se convierte en escorrentía directa (P_e), pero que para este caso se estimó el complemento, esto es, el resto de la lluvia que no se convierte en escorrentía directa, sino que se infiltra, es decir: ($P_i = P - P_e$).

El método del SCS propone la estimación del Número de Curva (CN) en función de la cobertura y uso del suelo y un potencial de retención que se compara con las precipitaciones para obtener los valores de infiltración posibles según la cobertura y uso del suelo descritas en el numeral 4.5.4.3.1.

A manera de ejemplo se relaciona que para el caso de un material granular y de espesor moderado como los suelos transportados fluviales, si este se encuentra en zona cercana a piedemonte y con cobertura relacionada con pastizales en condiciones óptimas, a este le corresponde un grupo hidrológico de suelo primario con valores de número de curva entre 40 y 45 y por consiguiente una retención potencial máxima de unos 310 como valor adimensional. Así, para este caso, al cual le corresponde una lluvia máxima diaria de cerca de 325 mm correspondiente con un periodo de retorno de 100 años se calcula el valor de escorrentía según el método del SCS y su complemento corresponde a la infiltración, esto es 218 mm que corresponde a la variación de la lámina de agua en comparación con las temporadas secas para estas condiciones del terreno. Así, para cada condición específica del terreno y características de precipitación en cada periodo de retorno se calcula la lámina de agua correspondiente que aportaría a la saturación de los materiales y aportaría peso en favor de la generación de superficies de falla.

Finalmente, luego de definidos los factores condicionantes en función de las características y propiedades geomecánicas de los materiales y los factores detonantes a partir de la información de amenaza sísmica y precipitaciones, se procede a la definición de la amenaza por movimientos en masa. Para la zonificación básica de amenaza se determinó el factor de seguridad de cada unidad de trabajo (píxel 12.5 m), definidas por la malla y las columnas de suelo obtenidas.

El cálculo de la condición de estabilidad se basa en el método de equilibrio límite aplicando la ecuación de factor de seguridad para el método de bloque deslizante en un talud infinito (Newmark, 1965) para superficies de falla superficiales planas asociadas a deslizamientos traslacionales en cada una de las celdas de trabajo. La ecuación de factor de seguridad se expresa de la siguiente manera:

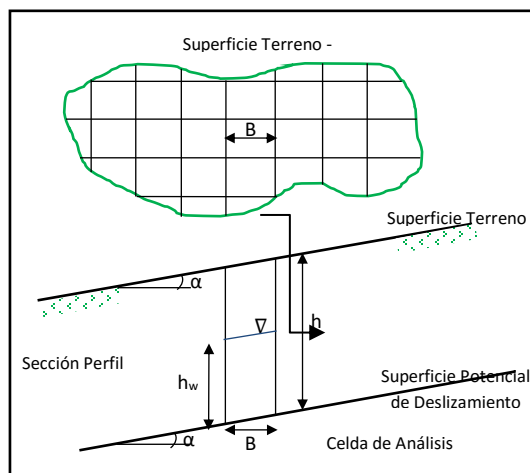
$$FS = \frac{c' b \sec \alpha + (\gamma b h \cos \alpha - k \gamma b h \sin \alpha - \gamma_w h_w b \cos^2 \alpha) \tan \phi'}{\gamma b h \sin \alpha + k \gamma b h \cos \alpha}$$

Donde,

- c es la cohesión del material
- α es la pendiente del terreno
- k es el coeficiente de amplificación sísmica
- h_w es el valor de la tabla de agua
- ϕ' Es el ángulo de fricción del material
- γ Gamma es el peso unitario del material

En la siguiente figura se ilustran los parámetros geométricos indicados.

Figura 134 Esquema del modelo de talud infinito



Fuente: (SGC, 2015)

El factor de seguridad se debe calcular en al menos diez (10) escenarios que corresponden con los parámetros considerando la profundidad de suelo según las interfaces suelo-roca con ausencia y presencia de agua como detonante modificado por las precipitaciones con periodos de retorno de 2, 20, 50 y 100 años y presencia o ausencia de sismo con periodo de retorno de 475 años. En esta zonificación de amenaza para la cuenca del Río Risaralda se calcularon estos escenarios mínimos requeridos y adicionalmente 90 escenarios más considerando más periodos de retorno de lluvias y varias profundidades de falla posibles.

Según las observaciones de campo, los espesores de materiales pueden variar entre los 2 y los 8 metros y la cuenca presenta cambios Morfométricos importantes en toda su área que indican variaciones espaciales importantes de espesores. Los suelos tienen un espesor promedio de 4,3 metros (calculado con su distribución areal en la cuenca) y su variabilidad puede ser importante aun dentro de cada UGS definida, por lo cual se define la profundidad de 4 m como profundidad promedio de contacto suelo-roca para el cálculo de los diez escenarios mínimos requeridos y se evalúan más profundidades de falla posibles en función de los espesores posibles.

El resultado final para la cuenca del río Risaralda es el cálculo del factor de seguridad en cada celda o píxel para 100 escenarios (Ver Tabla 86) que relacionan variaciones de nivel freático, presencia de aceleración sísmica, distintas profundidades de falla y condición media a desfavorable de parámetros geomecánicos por la presencia de materiales por encima de la superficie de falla.

La evaluación de este número de escenarios permite conocer la condición de estabilidad de los materiales con la variabilidad espacial del espesor de suelo y la valoración probabilística de amenaza para que esta sea expresada en términos de probabilidad de falla.

Tabla 86. Escenarios de factor de seguridad evaluados para la cuenca del río Risaralda

<i>Escenario</i>	Presencia de sismo	Presencia de agua* (m)	Profundidad de falla (m)	Escenario básico y adicional
2m	No	No	2m	Adicional
2mk	Sí	No	2m	Adicional
2m1_5m	No	1.5m	2m	Adicional
2m1_5mk	Sí	1.5m	2m	Adicional
2mhw1_33	No	hw1_33	2m	Adicional
2mhw1_33k	Sí	hw1_33	2m	Adicional
2mhw2	No	hw2	2m	Adicional
2mhw2k	Sí	hw2	2m	Adicional
2mhw5	No	hw5	2m	Adicional
2mhw5k	Sí	hw5	2m	Adicional
2mhw10	No	hw10	2m	Adicional
2mhw10k	Sí	hw10	2m	Adicional
2mhw20	No	hw20	2m	Adicional
2mhw20k	Sí	hw20	2m	Adicional
2mhw25	No	hw25	2m	Adicional
2mhw25k	Sí	hw25	2m	Adicional
2mhw50	No	hw50	2m	Adicional
2mhw50k	Sí	hw50	2m	Adicional
2mhw100	No	hw100	2m	Adicional
2mhw100k	Sí	hw100	2m	Adicional
3m	No	No	3m	Adicional
3mk	Sí	No	3m	Adicional
3m2m	No	2m	3m	Adicional
3m2mk	Sí	2m	3m	Adicional
3mhw1_33	No	hw1_33	3m	Adicional
3mhw1_33k	Sí	hw1_33	3m	Adicional
3mhw2	No	hw2	3m	Adicional

Escenario	Presencia de sismo	Presencia de agua* (m)	Profundidad de falla (m)	Escenario básico y adicional
3mhw2k	Sí	hw2	3m	Adicional
3mhw5	No	hw5	3m	Adicional
3mhw5k	Sí	hw5	3m	Adicional
3mhw10	No	hw10	3m	Adicional
3mhw10k	Sí	hw10	3m	Adicional
3mhw20	No	hw20	3m	Adicional
3mhw20k	Sí	hw20	3m	Adicional
3mhw25	No	hw25	3m	Adicional
3mhw25k	Sí	hw25	3m	Adicional
3mhw50	No	hw50	3m	Adicional
3mhw50k	Sí	hw50	3m	Adicional
3mhw100	No	hw100	3m	Adicional
3mhw100k	Sí	hw100	3m	Adicional
4m	No	No	4m	Escenario 2: Seco sin sismo
4mk	Sí	No	4m	Escenario 1: Seco con sismo
4m3m	No	3m	4m	Adicional
4m3mk	Sí	3m	4m	Adicional
4mhw1_33	No	hw1_33	4m	Adicional
4mhw1_33k	Sí	hw1_33	4m	Adicional
4mhw2	No	hw2	4m	Escenario 4: Precipitación 2 sin sismo
4mhw2k	Sí	hw2	4m	Escenario 3: Precipitación 2 con sismo
4mhw5	No	hw5	4m	Adicional
4mhw5k	Sí	hw5	4m	Adicional
4mhw10	No	hw10	4m	Adicional
4mhw10k	Sí	hw10	4m	Adicional
4mhw20	No	hw20	4m	Escenario 6: Precipitación 20 sin sismo
4mhw20k	Sí	hw20	4m	Escenario 5: Precipitación 20 con sismo
4mhw25	No	hw25	4m	Adicional
4mhw25k	Sí	hw25	4m	Adicional
4mhw50	No	hw50	4m	Escenario 8: Precipitación 50 sin sismo

Escenario	Presencia de sismo	Presencia de agua* (m)	Profundidad de falla (m)	Escenario básico y adicional
4mhw50k	Sí	hw50	4m	Escenario 7: Precipitación 50 con sismo
4mhw100	No	hw100	4m	Escenario 10: Precipitación 100 sin sismo
4mhw100k	Sí	hw100	4m	Escenario 9: Precipitación 100 con sismo
5m	No	No	5m	Adicional
5mk	Sí	No	5m	Adicional
5m4m	No	4m	5m	Adicional
5m4mk	Sí	4m	5m	Adicional
5mhw1_33	No	hw1_33	5m	Adicional
5mhw1_33k	Sí	hw1_33	5m	Adicional
5mhw2	No	hw2	5m	Adicional
5mhw2k	Sí	hw2	5m	Adicional
5mhw5	No	hw5	5m	Adicional
5mhw5k	Sí	hw5	5m	Adicional
5mhw10	No	hw10	5m	Adicional
5mhw10k	Sí	hw10	5m	Adicional
5mhw20	No	hw20	5m	Adicional
5mhw20k	Sí	hw20	5m	Adicional
5mhw25	No	hw25	5m	Adicional
5mhw25k	Sí	hw25	5m	Adicional
5mhw50	No	hw50	5m	Adicional
5mhw50k	Sí	hw50	5m	Adicional
5mhw100	No	hw100	5m	Adicional
5mhw100k	Sí	hw100	5m	Adicional
6m	No	No	6m	Adicional
6mk	Sí	No	6m	Adicional
6m5m	No	5m	6m	Adicional
6m5mk	Sí	5m	6m	Adicional
6mhw1_33	No	hw1_33	6m	Adicional
6mhw1_33k	Sí	hw1_33	6m	Adicional
6mhw2	No	hw2	6m	Adicional
6mhw2k	Sí	hw2	6m	Adicional
6mhw5	No	hw5	6m	Adicional

Escenario	Presencia de sismo	Presencia de agua* (m)	Profundidad de falla (m)	Escenario básico y adicional
6mhw5k	Sí	hw5	6m	Adicional
6mhw10	No	hw10	6m	Adicional
6mhw10k	Sí	hw10	6m	Adicional
6mhw20	No	hw20	6m	Adicional
6mhw20k	Sí	hw20	6m	Adicional
6mhw25	No	hw25	6m	Adicional
6mhw25k	Sí	hw25	6m	Adicional
6mhw50	No	hw50	6m	Adicional
6mhw50k	Sí	hw50	6m	Adicional
6mhw100	No	hw100	6m	Adicional
6mhw100k	Sí	hw100	6m	Adicional

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

*Los valores hw representan la variación de nivel freático por infiltración de precipitaciones por periodo de retorno

La condición de amenaza puede ser representada en el Factor de Seguridad siempre que se clasifique en los rangos o clases mostradas en la Tabla 87 para cada escenario en particular. Sin embargo, las evaluaciones de riesgo por movimientos en masa se desarrollan sobre una condición general de amenaza y no sobre escenarios particulares, de manera que no se debe expresar en términos de factor de seguridad para un escenario seleccionado sino en función de la combinación de todos los escenarios posibles. La evaluación de un número mayor de escenarios contempla la inclusión de un número mayor de posibilidades de falla (siendo esta siempre acotada por el método de evaluación) para representar los resultados en probabilidad de falla, la cual se calculó en cada celda o píxel considerando la media aritmética, varianza y desviación estándar y se clasificó con los rangos.

Por ejemplo, para un terreno que corresponde a una material rocoso moderadamente duro de la Formación Penderisco en ambiente denudacional, fragmentado en bloques angulares desajustados formados por muchos conjuntos de diaclasas, con superficies de contacto entre bloques que pueden presentarse moderadamente descompuestas y en regulares condiciones (GSI=35), con presencia de meteorización superficial que ha generado suelo residual entre 3,3 y 5,3 m de arena limoarcillosa de humedad muy baja, consistencia media, ángulo de fricción cercano a 28°, cohesión alrededor de 7 kPa y peso unitario de 17 kN/m³, distante de lineamientos y fallas geológicas, en una ladera con pendiente de 17° y

en un escenario que considera las precipitaciones con un periodo de retorno de 100 años que genera un aumento de la lámina de agua de 265 mm y se combina con un evento sísmico con periodo de retorno de 475 años que genera aceleraciones modificadas por la topografía alcanzando los 116 gales en superficie, se calcula un factor de seguridad de 0,9 que significaría la posibilidad de falla de ese tramo de la ladera. Se calcula el promedio y la varianza del factor de seguridad estimado para los 100 escenarios y se plantea de manera probabilística calculando el factor Z y la probabilidad de falla P de la siguiente manera:

$$Z = \frac{1 - FS}{desv(FS)} \quad , \quad P = (0,5 \pm Z) * 100$$

No obstante, el protocolo recomienda calcular la varianza del factor de seguridad final para cada celda de cada uno de los escenarios y no a partir de la combinación misma de todos escenarios calculados en una misma celda. Si bien la probabilidad de falla se obtiene calculando los factores Z tradicionales para evaluar probabilidad de ocurrencia de FS, para estabilidad de taludes se considera apropiado evaluar directamente la probabilidad de falla (caso en que las fuerzas actuantes son iguales a las fuerzas resistentes en la ecuación del factor de seguridad, es decir, que FS=1) considerando los planteamientos de González⁴ (2009); es decir, que si se tiene un resultado de FS igual a uno (1), la posibilidad de falla es la misma a la de la estabilidad, lo que corresponde con una probabilidad de falla del 50%, de manera que considerando una seguridad adicional se plantea la amenaza alta a partir de una probabilidad de falla superior al 40% y la amenaza baja como probabilidad de falla menor a 0,09%. Esto genera los rangos de probabilidad de falla que son compatibles y comparables con las condiciones de factor de seguridad y clasificaciones mostradas en la Tabla 84.

Si bien la probabilidad de falla se obtiene calculando los factores Z tradicionales para evaluar probabilidad de ocurrencia de FS, para estabilidad de taludes se considera apropiado evaluar directamente la probabilidad de falla (caso en que las fuerzas actuantes son iguales a las fuerzas resistentes en la ecuación del factor de seguridad, es decir, que FS=1) considerando los planteamientos de González⁵ (2009); es decir, que si se tiene un resultado de FS igual a uno (1), la posibilidad de falla es la misma a la de la estabilidad, lo que corresponde con una probabilidad de

⁴González G., Álvaro. Factores de seguridad... ¿por qué tantos? V encuentro de ingenieros de suelos y estructuras. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 2009.

⁵González G., Álvaro. Factores de seguridad... ¿por qué tantos? V encuentro de ingenieros de suelos y estructuras. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 2009.

falla del 50%, de manera que considerando una seguridad adicional se plantea la amenaza alta a partir de una probabilidad de falla superior al 40% y la amenaza baja como probabilidad de falla menor a 0,09%. Esto genera los rangos de probabilidad de falla que son compatibles y comparables con las condiciones de factor de seguridad y clasificaciones mostradas en la Tabla 87.

Tabla 87. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases

Nivel de Amenaza	Factor de seguridad	Color en el mapa
Alta	<1.2	Rojo
Media	1.2 - 1.5	Amarillo
Baja	>1.5	Verde

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 88. Clasificación de la amenaza por movimientos en masa en 3 clases

Nivel de Amenaza	Probabilidad de falla	Color en el mapa
Alta	0.4 - 1.0	Rojo
Media	0.09-0.4	Amarillo
Baja	0 – 0.09	Verde

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

La descripción en mayor detalle de las variables empleadas para la evaluación de amenaza y el análisis del resultado de la misma en función de probabilidad de falla se indican a continuación.

4.5.4.3. Descripción de las variables de amenaza por movimientos en masa

4.5.4.3.1. Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: nivel freático - Precipitación

• DESCRIPCION GENERAL DEL PROCEDIMIENTO DE CALCULO

En las exploraciones efectuadas NO SE EVIDENCIO LA PRSENCIA DE NIVELES FREATICOS, sin embargo, con el fin de determinar los niveles de agua esperados para los periodos de lluvias asociados a diferentes periodos de retorno, basado en la Guia metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa establecida por el Servicio Geológico Colombiano que se describe a continuación:

- Identificación de un valor promedio de número de curva (CN) de la unidad geotécnica por analizar, donde se muestran los valores para diferentes grupos hidrológicos de suelo y usos de estos para condiciones de humedad antecedente normal a partir de la tabla siguiente.

Figura 135 Valores CN de cada Unidad.

USO DE SUELO	GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada				
Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales				
Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	30	58	71	78
Bosques				
Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta en pasto (75 % o más)	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta en pasto (50 al 75 %)	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño promedio lote porcentaje promedio impermeable				
1/8 de acre 65	77	85	90	92
1/4 de acre 38	61	75	83	87
1/3 de acre 30	57	72	81	86
1/2 de acre 25	54	70	80	85
1 de acre 20	51	68	79	84
Parqueadero pavimentado, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: Chow et al., 1994.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

Teniendo en cuenta la siguiente clasificación hidrológica de los suelos:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, suelos francoarenosos.

Grupo C: Suelos francoarcillosos, francoarenosos poco profundos, suelos con bajo contenido organico y suelos con alto contenido de arcillas.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plasticas y ciertos suelos salinos.

- Se calculó la retención potencial máxima S como:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde

S está en milímetros y CN corresponde al número de curva previamente seleccionado como representativo de la zona

- Se calculó la precipitación infiltrada, a partir de los registros de precipitación diaria (P), en 24 horas (P_i), a partir de la ecuación del método lluvia-escorrentía del SCS:

$$P_i = P - P_e$$

Donde:

P_i = Precipitación infiltrada

P = Precipitación total

P_e = Precipitación que se convierte en escorrentía

- Posteriormente se acumularon los valores diarios de precipitación infiltrada para cada año calendario del registro y así se obtuvo el valor de precipitación infiltrada total anual.
- Se calculó la precipitación infiltrada media multianual y su coeficiente de variación (CV).

- Para la determinación de la profundidad del nivel freático medio la variabilidad de la lluvia infiltrada en función de la desviación estándar, expresada en términos del coeficiente de variación por la media de la profundidad del nivel freático mediante la siguiente expresión:

$$P_{f20} = (\bar{P}_f - 1,65 CV P_f) - (I_{120} * 24)$$

Donde:

P_{f20} : Corresponde a la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia para un periodo de retronó específico, en milímetros.

P_f : Corresponde a la profundidad media del nivel freático, en milímetros.

$CV P_f$: corresponde a la desviación estándar asignada a la variación del nivel freático, expresada en términos del coeficiente de variación de los acumulados anuales de precipitación infiltrada, en milímetros.

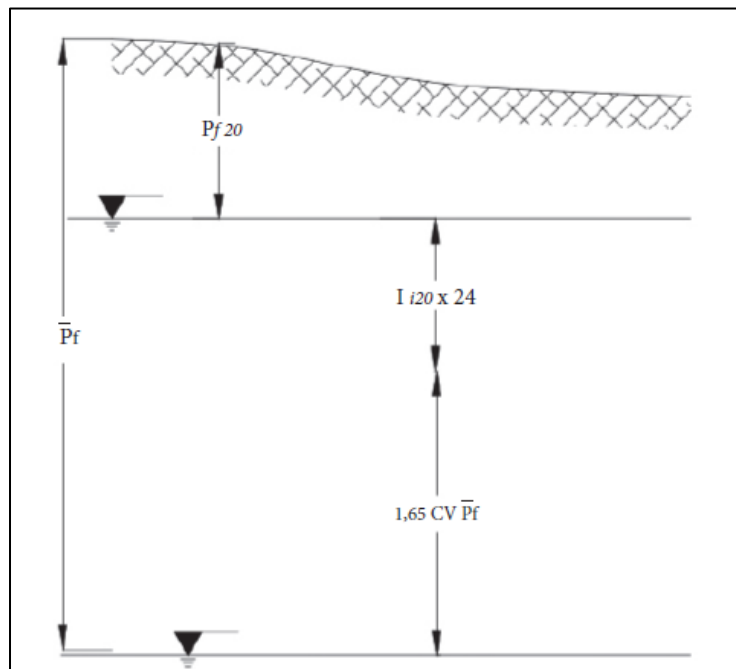


Figura 136 Representación gráfica para determinar el nivel Freático.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



En la Tabla 89 se remite a manera de ejemplo se remite el cálculo para un tipo de suelo residual de rocas básicas y un tipo de cobertura específica con el fin de visualizar el cálculo del procedimiento descrito.

En la Tabla 90 se determinan de manera general y “teórica” las profundidades calculadas para cada unidad superficial presente en la cuenca los valores del nivel freático calculado para cada periodo de retorno para diferentes profundidades, teniendo en cuenta un tipo general de cobertura.

Tabla 89. Calculo de Profundidad del nivel freático.

CALCULO TABLA DE AGUA TR 100 AÑOS	
Precipitacion (mm) /hora TR 100 años	156.22
Precipitacion (mm) / dia TR 100 años	3749.306001
CN	79.79
S	64.34
Escorrentia (mm)	3673.192
Precipitacion infiltrada/ dia (mm)	76.114
Acumulacion de valores diarios de precip infiltrada cada año (mm)	27781.519
Profundidad media NF (mm)	4000
Coeficiente de Variacion (Desviacion standard en terminos del coeficiente de variacion acumulados anuales de precipitacion infiltrada en mm) (CVPf)	0.00004
I tr. Intensidad de lluvia infiltrada diaria (mm/dia)	76.114
Profundidad nivel freatico (mm)	2173.270
Profundidad nivel freatico (m)	2.173

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 90. Calculo de Profundidad del nivel freático para diferentes periodos de retorno.

Formacion superficial. UGS	Espesor (m)	Profundidad Lamina de agua tr 2 años (m)	Profundidad Lamina de agua tr 20 años (m)	Profundidad Lamina de agua tr 50 años (m)	Profundidad Lamina de agua tr 100 años (m)
abanico aluvial	1	0.0040	0.0042	0.00416	0.0419
coluvion	2	1.03	1.03	1.02	1.02
	3	2.03	2.03	2.02	2.02
	4	3.03	3.03	3.02	3.02
deposito de llanura	3	1.70	1.68	1.68	1.67
deposito de terraza	1	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.93	0.92	0.92	0.92
	3	1.93	1.92	1.92	1.92
	4	2.93	2.92	2.92	2.92
depositos de ceniza	2	0.85	0.84	0.84	0.84
depositos fluvivolcanicos	2	0.61	0.60	0.60	0.60
	3	1.61	1.60	1.60	1.60
fm penderisco	6	3.53	3.49	3.48	3.47
formacion barroso	1	0.0040	0.0042	0.00416	0.0419
grupo cañasgordas	6	4.64	4.63	4.62	4.62
porfido andesitico	1	1.00	1.00	1.00	1.00
suelo residual igneo	4	2.20	2.18	2.18	2.17
suelo residual igneo volcanico	2	0.68	0.67	0.67	0.66
	3	1.68	1.67	1.67	1.66
	4	2.68	2.67	2.67	2.66
suelo residual sedimentario	1	0.0040	0.0042	0.00416	0.0419
	2	0.67	0.65	0.65	0.65
	3	1.67	1.65	1.65	1.65
	4	2.67	2.65	2.65	2.65

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Con el fin de obtener una mejor especialización y detalle en los resultados se calcularon las láminas de aguas para los siguientes periodos de retorno: 1,33 años, 2 años, 5 años, 10 años, 20 años, 25 años 50 años y 100 años, utilizando la metodología y procedimiento explicado anteriormente y haciendo uso de la combinación de diversos mapas mediante el SIG para obtener el “cruce” apropiado de variables, según el uso del suelo y tipo de materiales existentes y así establecer los resultados a utilizar en el análisis.

El análisis de lluvia considera el concepto a partir del cual una proporción de esta que cae al suelo y se infiltra, otro porcentaje queda detenido en la vegetación y en depresiones del suelo mientras se evapora y otro fluye como escorrentía directa. Dentro de la evaluación se emplea el valor de precipitaciones cruzado con el tipo de material y cobertura para obtener la retención potencial (S) mostrada en la Figura 127 y las respectivas láminas de agua o nivel freático sobre la superficie de falla para cada uno de los tiempos de retorno evaluados e identificados en la Tabla 87

Para la cuenca del río Risaralda se observan los mayores valores de retención potencial hacia el norte de la cuenca que corresponde con la de mayor elevación en el municipio de Riosucio y hacia las zonas de piedemonte junto a la zona de valle del río Risaralda en los municipios de Viterbo, San José y Belalcázar, mientras que hacia la parte de elevaciones medias de la cuenca y en el valle se observan valores medios y bajos de la misma.

RETENCIÓN POTENCIAL (S) CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

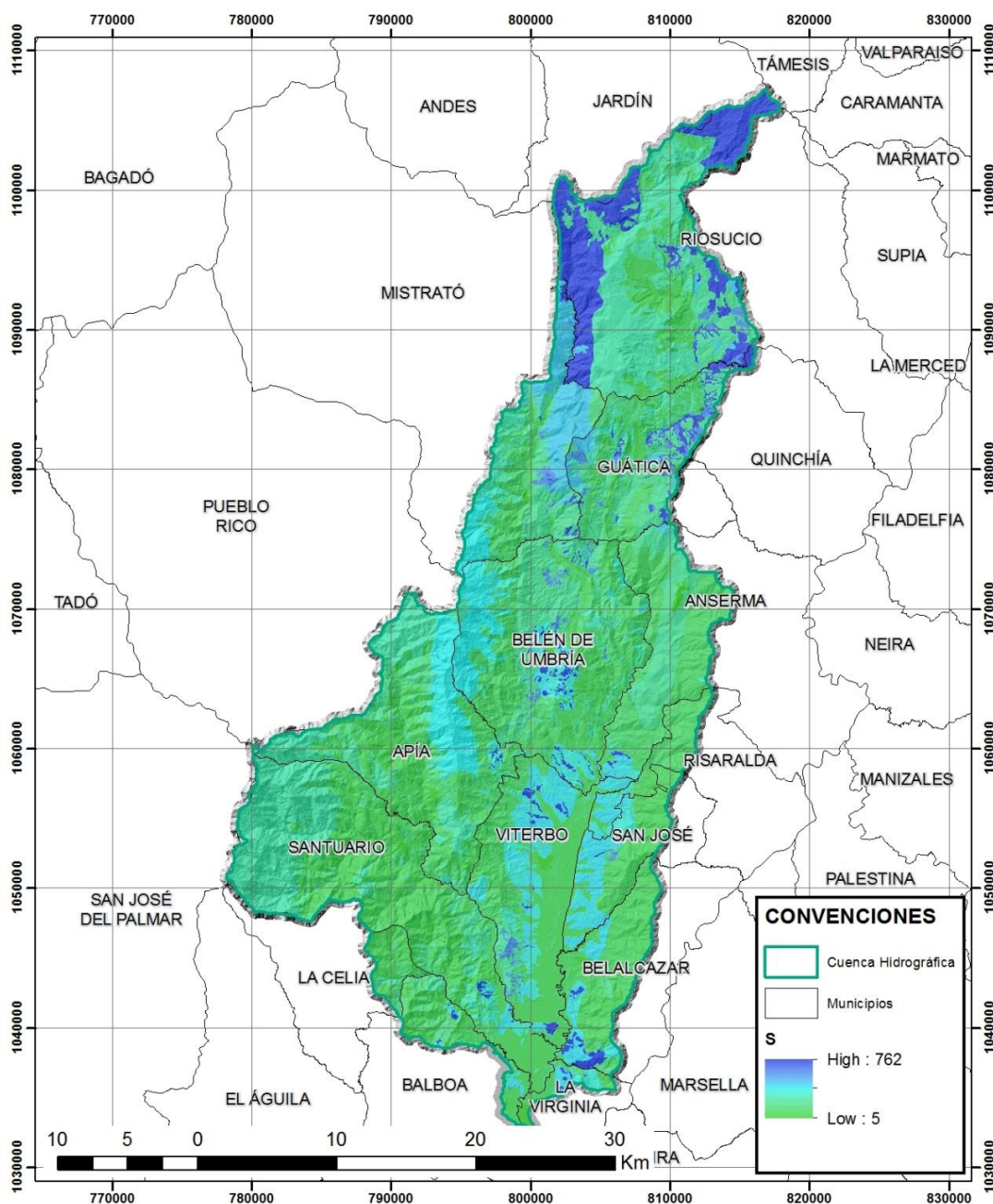
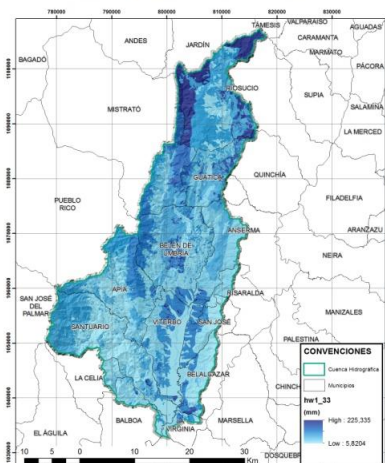


Figura 137 Retención Potencial dentro de la cuenca hidrográfica del río Risaralda
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

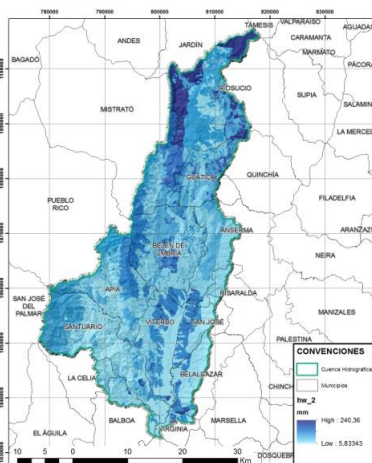
Tabla 91 Láminas de agua para cada tiempo de retorno evaluado dentro de la cuenca hidrográfica del río Risaralda

Lámina de agua para cada periodo de retorno

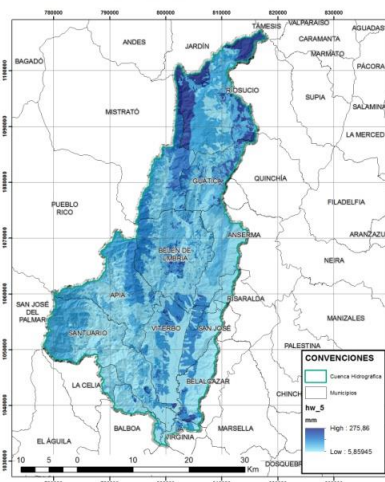
ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA PARA UN PERIODO DE RETORNO $t = 1,33$ yr
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA



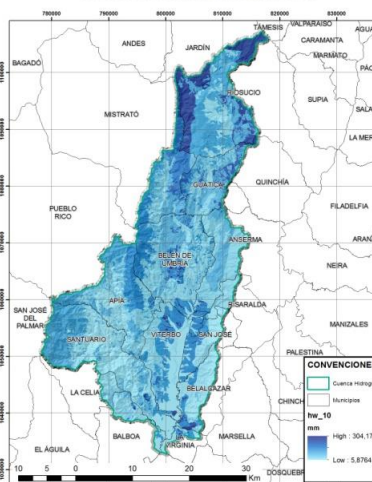
ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA PARA UN PERIODO DE RETORNO $t = 2$ yr
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA



ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA PARA UN PERIODO DE RETORNO $t = 5$ yr
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA



ALTURA DE LA LÁMINA DE AGUA PARA UN PERIODO DE RETORNO $t = 10$ yr
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA



Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

El procedimiento para la obtención de la lámina de agua fue descrito anteriormente.

Luego de evaluar el valor de la lámina de agua se observa un aumento moderado entre cada uno de los tiempos de retorno y la tendencia de los valores mayores se va manteniendo espacialmente a lo largo de la cuenca, predominando al norte de la misma.

4.5.4.3.2. Análisis de eventos VS precipitación ocurrida

Con el fin de establecer una correlación de la ocurrencia de eventos con respecto al factor detonante precipitación, se procedió a la evaluación de la ocurrencia de eventos y fueron asociados a la precipitación ocurrida para diferentes años como se describe a continuación:

Tabla 92 relación precipitación vs cantidad de eventos históricos en la cuenca

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (ml)	CANTIDAD DE EVENTOS
1927	151,3	1
1947	135,3	2
1962	158,8	1
1972	189,8	1
1975	158,8	2
1977	189,8	2
1979	158,8	3
1981	189,8	1
1983	158,8	1
1984	168,25	6
1987	151	1
1988	198,6	4
1991	182,6	2
1992	135,6	1
1993	193,2	4
1994	182,3	10
1995	189,5	3
1996	192,3	7
1997	160,3	6
1998	136,65	15
1999	198,6	17

2000	198,6	12
2001	189,5	1
2002	151	8
2003	186,5	4
2004	145,2	6
2005	200,5	13
2006	200,3	12
2007	160,5	16
2008	211,5	13
2009	136,65	8
2010	198,9	17
2011	275,8	53
2012	253,6	33
2013	274,6	20
2014	231,3	8
2016	200,1	65
TOTAL	275,8	379

Fuente consorcio ordenamiento cuenca Risaralda

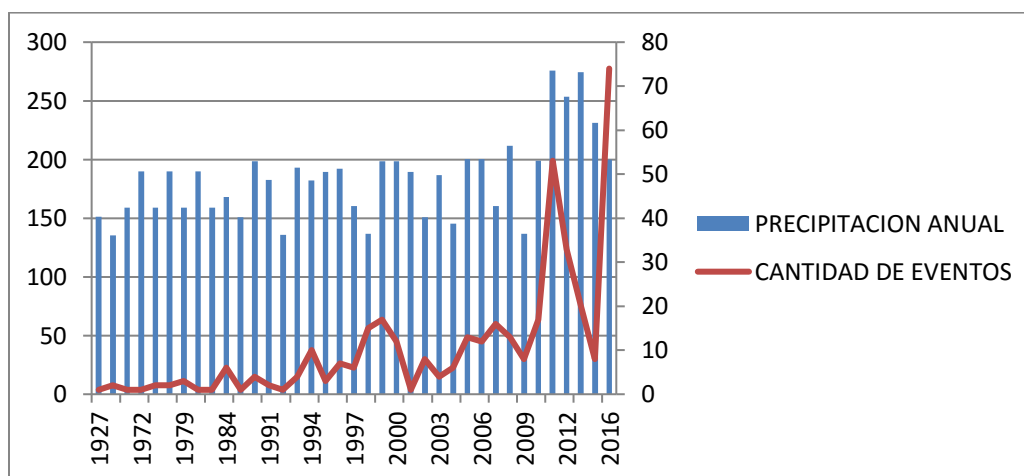


Figura 138 Interpretación grafica de la Tabla 92

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Se puede evidenciar a partir de la depuración y el análisis realizado anteriormente, que en los últimos años la precipitación anual ha aumentado substancialmente debido a las condiciones climáticas actuales, lo que ha incrementado directamente la cantidad de eventos y en específico los fenómenos de remoción en masa, observándose principalmente fenómenos de tipo rotacional, flujos y combinados, sobre sectores con mayor inestabilidad debido a las condiciones de meteorización del suelo. Y en específico el sector occidental de la cuenca sobre los municipios de Santuario, Apía y Mistrató.

A continuación, se mostrará un análisis para los últimos años, como se observa en las siguientes tablas.

Tabla 93 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2010 en la cuenca

AÑO	MES	PRECIPITACIÓN (ml)	CANTIDAD DE EVENTOS
2010	enero	186,9	1
	mayo	153,6	2
	junio	198,9	4
	septiembre	175,2	1
	octubre	176,5	1
	noviembre	186,2	6
	diciembre	175,3	1
	julio	186,9	1
Total 2010		198,9	17

Fuente consorcio ordenamiento cuenca Risaralda

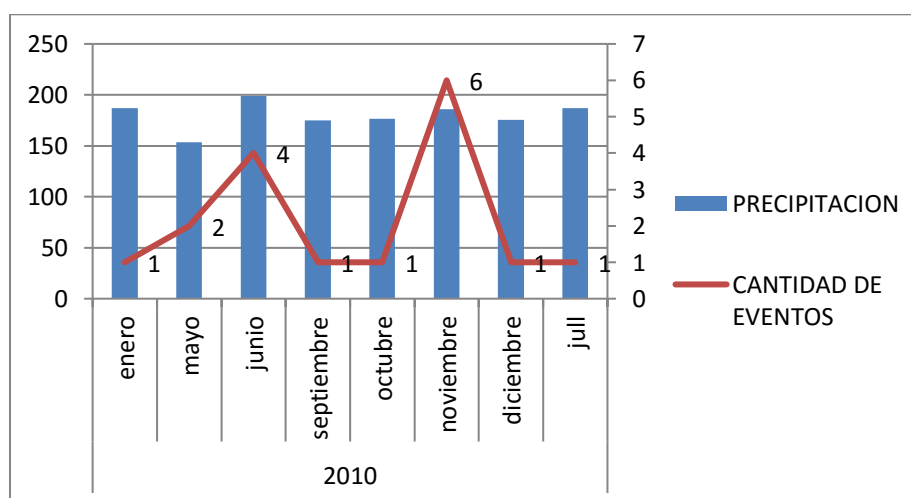


Figura 139 Interpretación grafica de la Tabla 93.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Como se observa en la gráfica anterior, se presenta mayor cantidad de eventos en los meses de junio y noviembre, lo que se relacionan con épocas de invierno, y debido a las condiciones mecánicas del suelo, estas son propensas a fenómenos de remoción en masa.

Tabla 94 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2011 en la cuenca

AÑO	MES	CANTIDAD DE EVENTOS	PRECIPITACIÓN (ml)
2011	enero	1	248,2
	febrero	1	145,9
	marzo	1	186,8
	abril	2	241,9
	mayo	23	275,8
	junio	4	211,5
	julio	2	211,8
	agosto	1	216,9
	septiembre	1	211,54
	octubre	4	243,6
	noviembre	4	261,5
	diciembre	9	245,9
Total 2011		53	275,8

Fuente consorcio ordenamiento cuenca Risaralda

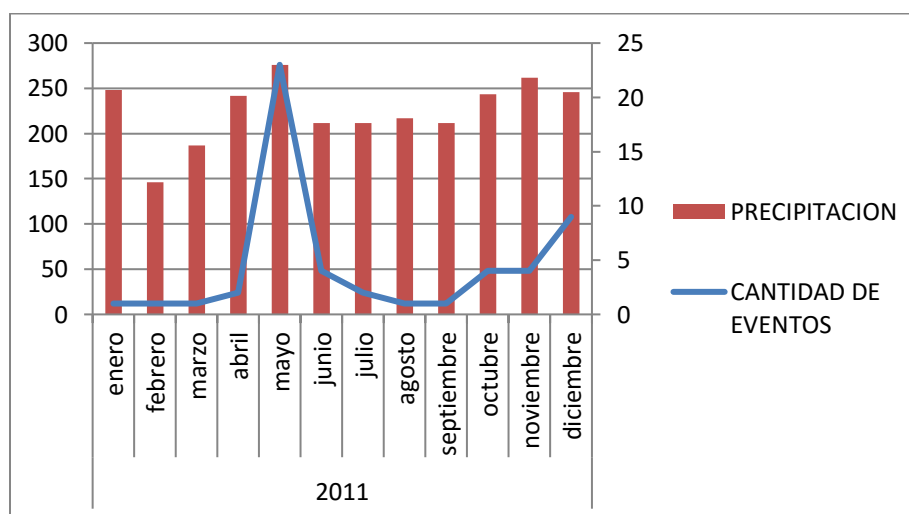


Figura 140 Interpretación grafica de la Tabla 94.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Para el año 2011 para el mes de mayo se observa la mayor precipitación y cantidad de movimientos en masa generados, siendo correlacionales los descensos de precipitación con respecto a los fenómenos de remoción en masa generados.

Tabla 95 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2012 en la cuenca

AÑO	MES	PRECIPITACIÓN (ml)	CANTIDAD DE EVENTOS
2012	enero	241,6	5
	febrero	125,9	1
	marzo	245,6	5
	abril	198	2
	mayo	253,6	8
	junio	210,5	2
	julio	189,6	1
	agosto	243,8	4
	septiembre	175,6	1
	octubre	210,6	1
	noviembre	145,8	1
	diciembre	245,6	2
Total 2012		253,6	33

Fuente consorcio ordenamiento cuenca Risaralda

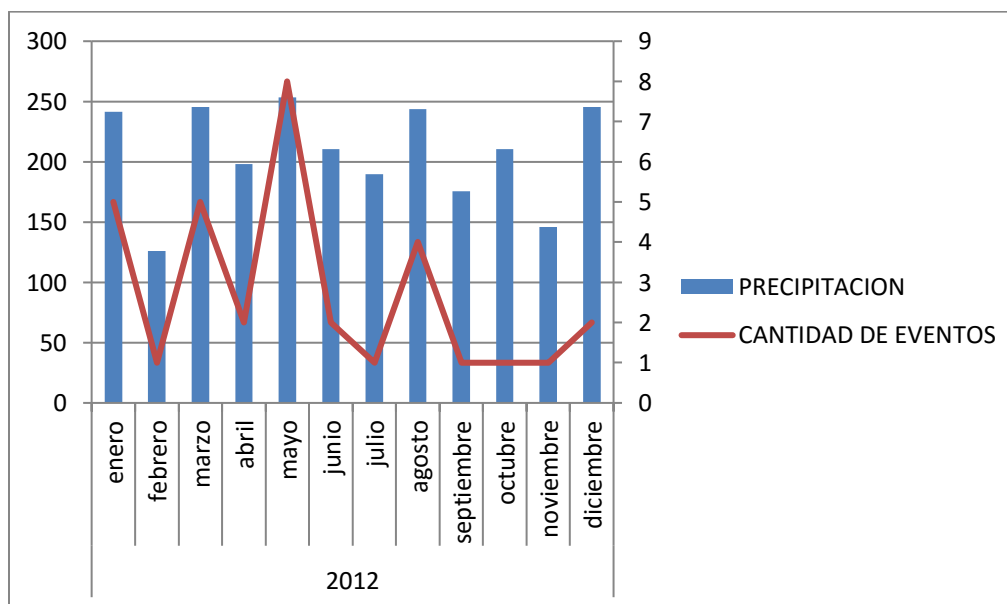


Figura 141 Interpretación grafica de la Tabla 95.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Para el año 2012 para el mes de mayo se observa la mayor precipitación y cantidad de movimientos en masa generados, siendo correlacionales los descensos de precipitación con respecto a los fenómenos de remoción en masa generados.

Tabla 96 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2013 en la cuenca

AÑO	MES	CANTIDAD DE EVENTOS	PRECIPITACIÓN (ml)
2013	enero	2	245,3
	febrero	4	274,6
	marzo	2	245,9
	mayo	2	241,6
	julio	2	216,5
	agosto	2	256,9
	diciembre	6	236,8
Total 2013		20	274,6

Fuente consorcio ordenamiento cuenca Risaralda

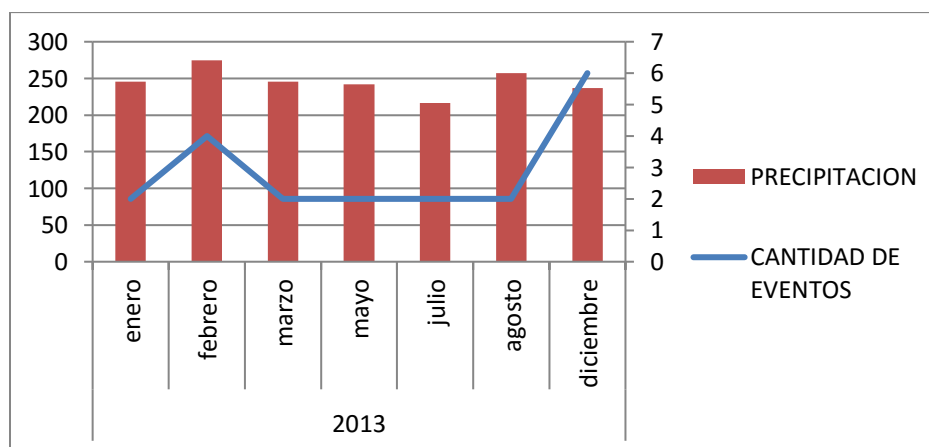


Figura 142 Interpretación grafica de la Tabla 96.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Para el año 2013 para el mes de febrero y diciembre se observa la mayor precipitación y cantidad de movimientos en masa generados, siendo correlacionales los descensos de precipitación con respecto a los fenómenos de remoción en masa generados.

Tabla 97 relación precipitación vs cantidad de eventos para el 2016 en la cuenca

AÑO	MES	CANTIDAD DE EVENTOS	PRECIPITACIÓN (ml)
2016	enero	1	110,50
	febrero	1	123,50
	marzo	1	142,30
	abril	20	181,75
	mayo	26	180,05
	junio	19	188,78
	julio	1	152,30
	agosto	1	154,60
	septiembre	1	147,30
	octubre	1	136,80
	noviembre	1	126,80
	diciembre	1	123,50
Total 2016		74	177,27

Fuente consorcio ordenamiento cuenca Risaralda

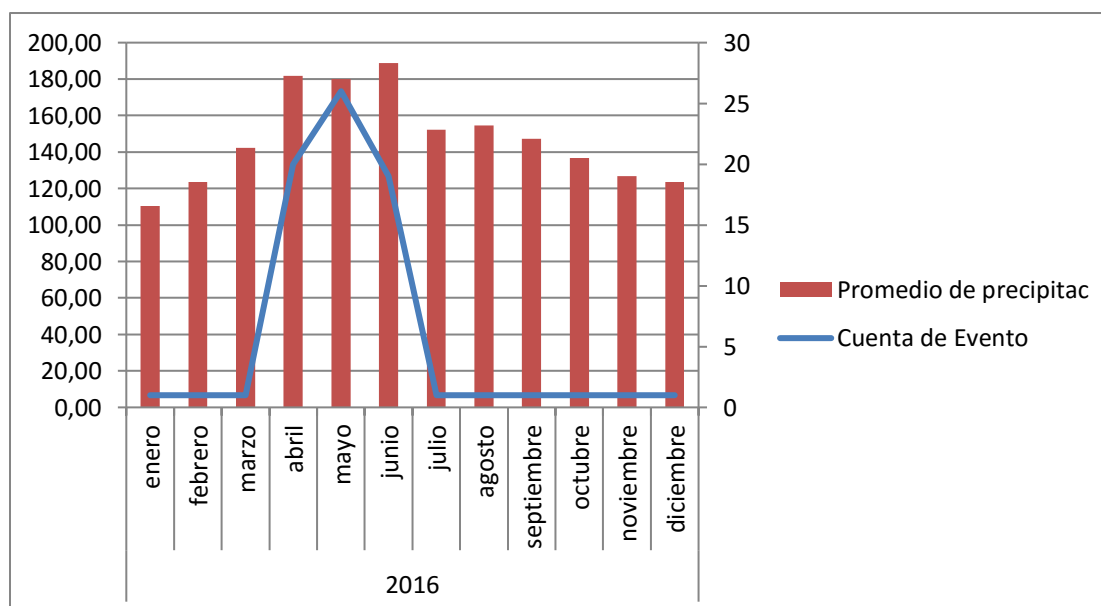


Figura 143 Interpretación grafica de la Tabla 97.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Para el año 2016 para el mes de mayo se observa la mayor precipitación y cantidad de movimientos en masa generados, siendo correlacionales los descensos de precipitación con respecto a los fenómenos de remoción en masa generados

En conclusión, para los meses de mayo es donde se presenta la mayor cantidad de eventos con respecto a fenómenos de remoción en masa, con precipitaciones máximas que oscilan entre 190 y 200 ml/mes, lo que evidencia el grado de disgregación y meteorización que se encuentra el material rocoso como el suelo como precursor para este tipo de fenómenos.

4.5.4.3.3. Aceleración Sísmica

Generada a partir del mapa de aceleración sísmica de Colombia y corroborada con los coeficientes de aceleración sísmica dados por AIS (2009).

- Fuente: SGC.
- Formato: Vector.

Según el Reglamento de Construcción Sismorresistente NSR-10, el coeficiente de aceleración sísmica para la ciudad de Pereira como capital de departamento y lugares aledaños es 0.25, lo que ubica a la cuenca del río Risaralda en una zona de alta amenaza sísmica. Para este ejercicio, en lugar de emplear un valor único de amenaza sísmica, se estimó para cada celda la aceleración pico efectiva en superficie de roca a partir del mapa de amenaza y se realizó el cálculo de efecto topográfico al valor de la aceleración sísmica de cada píxel para generar contrastes de amplificación y deamplificación del coeficiente de aceleración sísmica en la zona de estudio en función de la geometría del terreno

COEFICIENTE DE ACELERACIÓN SÍSMICA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

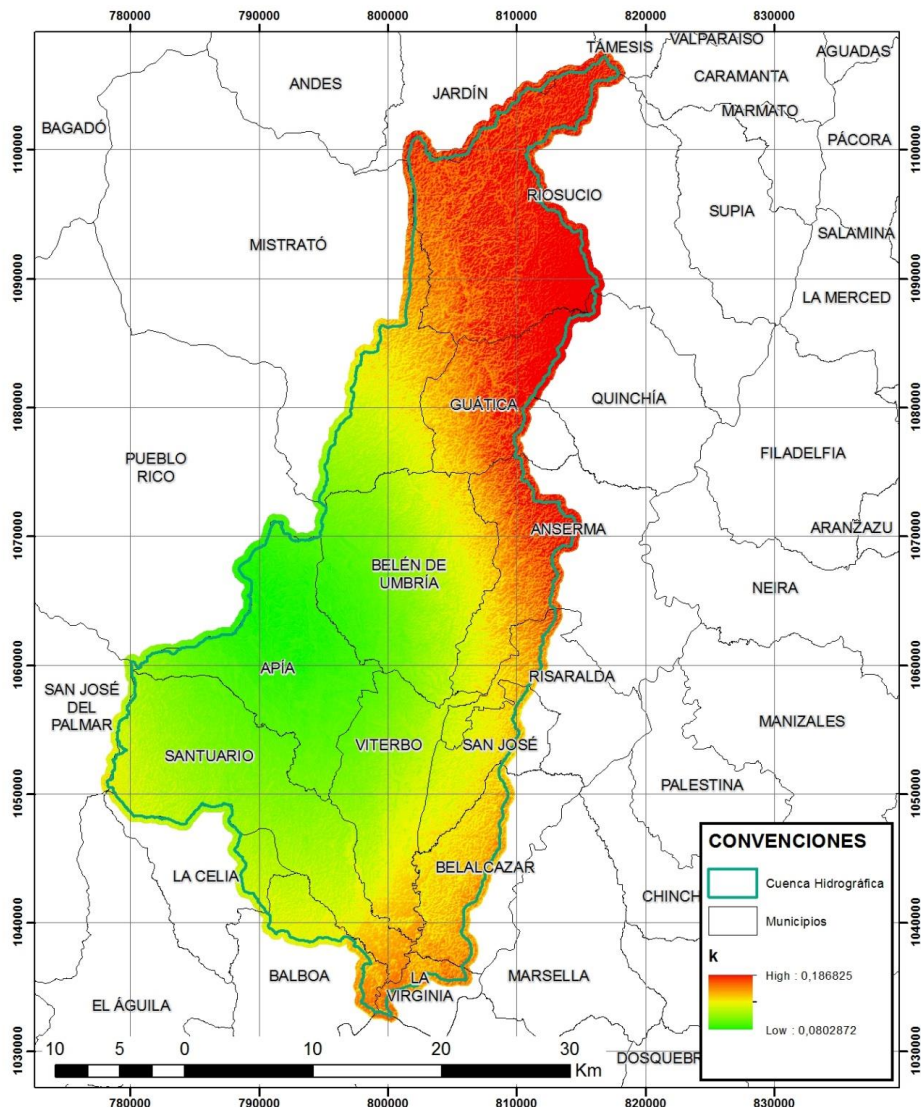


Figura 144 Coeficiente de Aceleración Sísmica para la cuenca hidrográfica del río Risaralda
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

Los mayores valores se encuentran hacia la parte nororiente de la cuenca alcanzando valores de 0,19g (186 gales) y menores hacia el centro oeste de la misma con magnitud cercana a 80 gales.

4.5.4.3.4. Parámetros geomecánicos para unidades de roca y unidades de suelo

Contiene polígonos que representan rocas, depósitos y suelos de superficie clasificados según lo propuesto por la IAEG (1981), Montero, González, Ángel (1982) y la “Propuesta metodológica para la cartografía geológica aplicada a geomecánica”, desarrollada dentro del “Proyecto Compilación de la Información Geomecánica”, elaborado por INGEOMINAS (2005). Cada unidad geológica superficial contiene los siguientes parámetros geométricos, de densidad y resistencia al corte:

- Ángulo de Fricción (Phi).
- Cohesión (C).
- Peso Unitario (Gamma).
- Profundidad de la interfase o límite roca-suelo.

Cada uno de estos atributos se estandariza y procesa para su uso en formato Raster en la ejecución de operaciones entre las capas resultantes. En la tabla 91 se presentan las calificaciones dadas a cada Unidad Geológica Superficial – UGS para la cuenca del río Risaralda y en la siguiente figura se relaciona una caracterización Geologica-Geotecnica de la zona determinando los tipos de rocas y suelos según sus propiedades geomecánicas (véase salida cartográfica geológica-geotecnica)

Tabla 98 Parámetros Geomecánicos evaluados para cada Unidad Geológica Superficial dentro de la cuenca hidrográfica del río Risaralda

UGS	C (kPa)	Phi (grados)	Gamma (kN/m ³)
Formación Penderisco	9,4	26,5	16,85
Formación Barroso	9,4	27	16,55
Grupo Cañasgordas	11	27,5	16,375
Pórfido Andesítico	9	30,5	16,54
Srii(Gabro de Anserma)	7,3	28,75	16,02
Srii(Gabro Urálico de Belén)	10,085	28,5	17,385
Srii(Plutón de Mistrato)	8,05	26	17,23
Srii(Ultramafita de Puente Umbria La Isla)	10,9	28	16,23
Sriv	6,5	27,64	16,375
Sriv2	6,5	27,64	16,975
Srs(Fm. Penderisco)	7,3	28,875	17,195
Srs(Grupo Cañasgordas)	8,8	28,875	17,52
Stf2	6,74	26,25	15,525
Stf3	6,74	29,275	16,93
Stf4	6,8	24,9	17,365
Strc1	7,4	27,12	18,125
Stv1	6,74	29,32	15,395

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

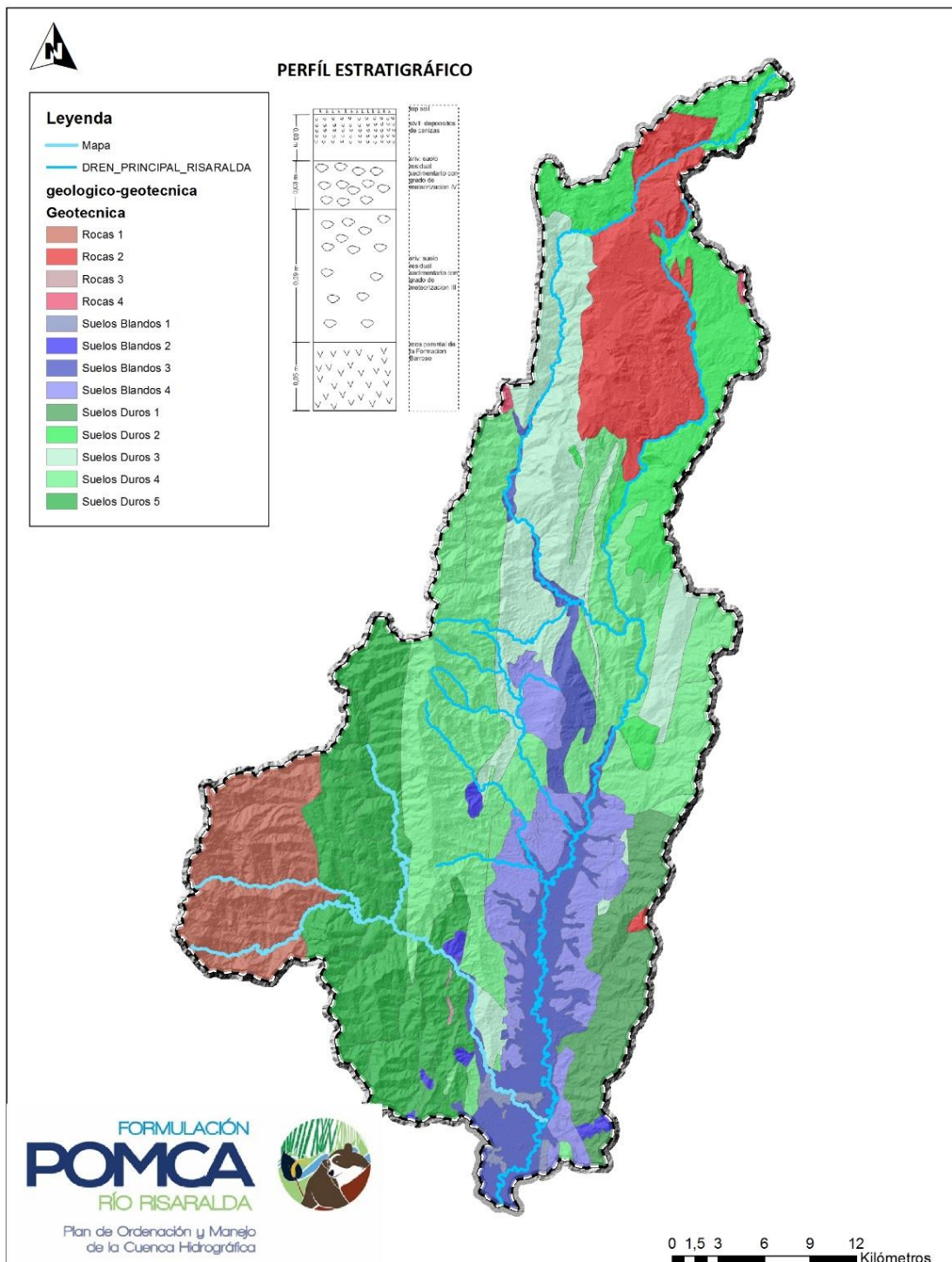


Figura 145 Zonificación geológico-geotécnica.
Fuente consorcio ordenamiento cuenca Risaralda.

4.5.4.4. Controles de campo y validación del mapa de amenaza.

Una etapa fundamental y principal dentro del análisis de la amenaza, es la verificación y validación de los resultados obtenidos para lo cual se efectuaron controles y visitas a sitios específicos mediante la aplicación de un formato-encuesta donde se consignaron datos sobre procesos morfodinámicos evidenciados en el sitio, morfometría, elementos vulnerables y afectaciones. Esta información fue suministrada por habitantes de la zona y complementada con los profesionales quienes efectuaron la evaluación general del sitio (ver anexo 12), con estos datos se efectuaron las verificaciones que el sitio corresponda con zonas de amenaza según el nivel arrojado por el presente trabajo; adicionalmente se realizaron recorridos por el área confrontando los datos obtenidos y que dichos recorridos no fueron objeto de diligenciamiento de formato alguno.

Posterior a la realización de controles y diligenciamiento de formato-encuesta, se pudo concluir que los municipios con mayor afectación por parte de procesos morfodinámicos son los del sur-occidente de la cuenca tal como lo son Santuario, Apía, Balboa y La Celia, donde se indicó por parte de la comunidad la gran mayoría de deslizamientos desde pequeña a gran escala, afectando en su gran mayoría a cultivos permanentes y transitorios, al igual que viviendas, cabe aclarar que estas condiciones de inestabilidad, es gracias a la actividad tectónica fuerte que se presenta en la zona y en general sobre toda la cuenca.

Otros sitios de gran interés, lo constituyen los municipios de Guática, Belalcázar, San José y Risaralda, aunque la densidad de eventos no sea tan representativa en comparación a los municipios mencionados anteriormente, es donde la comunidad manifestó mayores daños en bienes materiales, como caso específico se relacionan los sectores de Santa Teresa, Ospirma y Ocharma en el municipio de Guática, donde se produjeron aproximadamente unos 70 deslizamientos tipo flujo, que ocasionaron graves daños por pérdida de áreas ambientales, vías entre otros.

Como se mencionó en el ítem 4.3. Caracterización histórica de eventos, se hizo una recopilación de las bases de datos suministradas por el desinventar, para así poder hacerse un dimensionamiento inicial de cómo se encuentra la cuenca con respecto a este tipo de eventos (fenómenos de remoción en masa), se validaron, los eventos ocurridos que en gran parte de ellos coinciden con las zonas de amenaza Media y Alta, principalmente sobre los sectores de Santuario, Apía, Guática, Balboa, es preciso aclarar que con la validación de etapa de campo y las bases de datos suministradas por las corporaciones, se consolidó una información total de 859 eventos, que se registran en la base de datos anexa (anexo 11).

Análisis de la zonificación de la amenaza a movimientos en masa

Para la cuenca hidrográfica del río Risaralda se observa una zonificación de amenaza entre valores bajos con proporción alrededor del 51% (64.353 ha), medios cercanos al 26% (32.139 ha) y altos en el resto de la cuenca con un 23%(29.107 ha). La parte norte y suroeste de la cuenca cuenta con pendientes relativamente mayores sumado a altos niveles de espesor de las láminas de agua para los diferentes tiempos de retorno y valores geomecánicos menores que dan mayor propensividad la inestabilidad de taludes de las unidades geológicas superficiales principalmente en los municipios de Santuario, Apía y Belén de Umbría. Por su parte, Los municipios de Riosucio, Guática y Anserma, así como el sector del piedemonte y valle del río Risaralda existe una variación relativamente baja de pendientes sumados a unidades litológicas recientes de origen fluvial con pendientes bajas que se reflejan en las condiciones de estabilidad correspondientes con amenaza baja por movimientos en masa.

AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RISARALDA

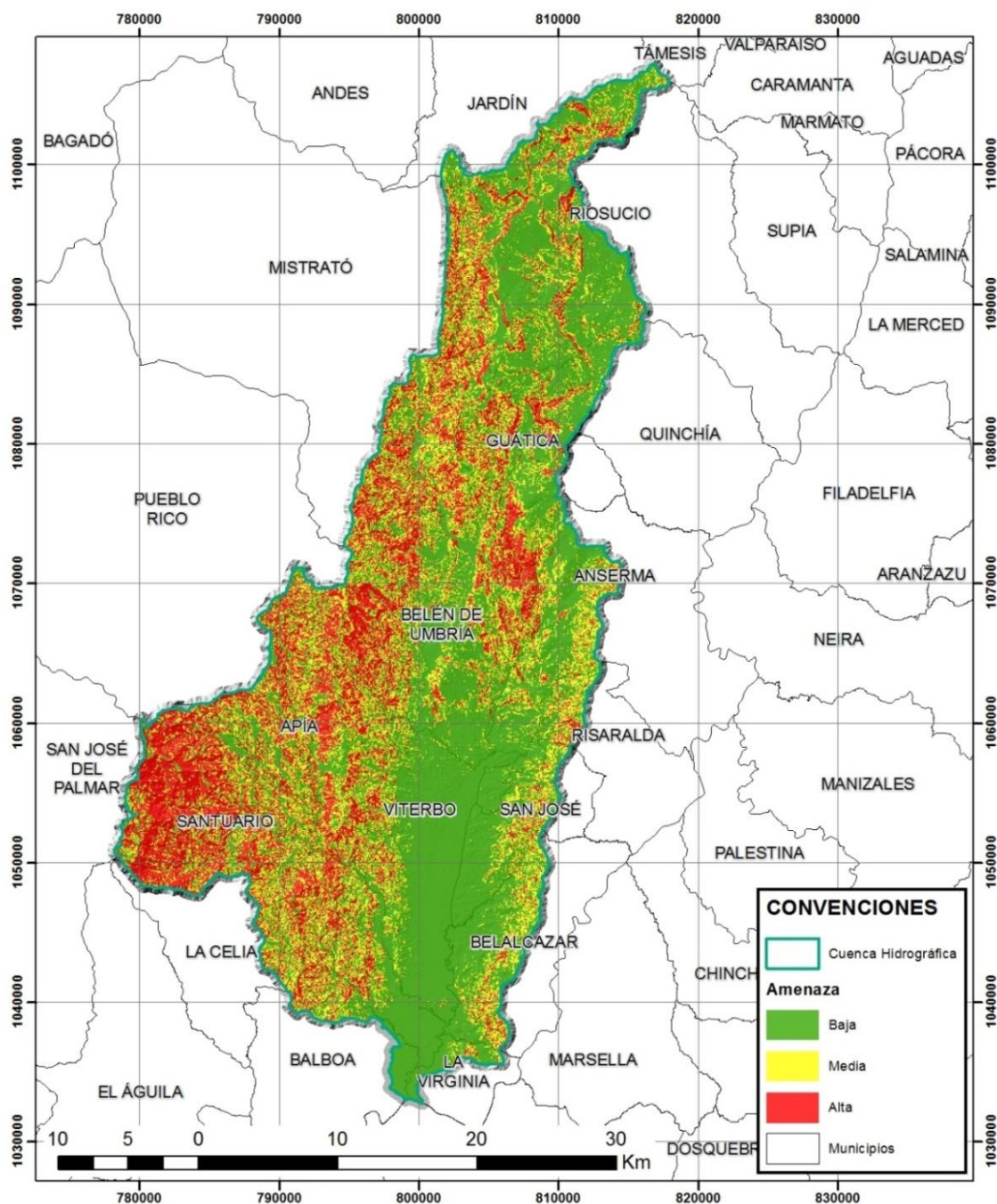


Figura 146 Amenaza por Movimientos en Masa
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

Tabla 99 tabla de amenaza en la cuenca

AMENAZA ANTE MOVIMIENTOS EN MASA		
AMENAZA	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
Baja	64353,70	51,24
Media	32139,31	25,59
Alta	29107,06	23,17
TOTAL	125600,07	100,00

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

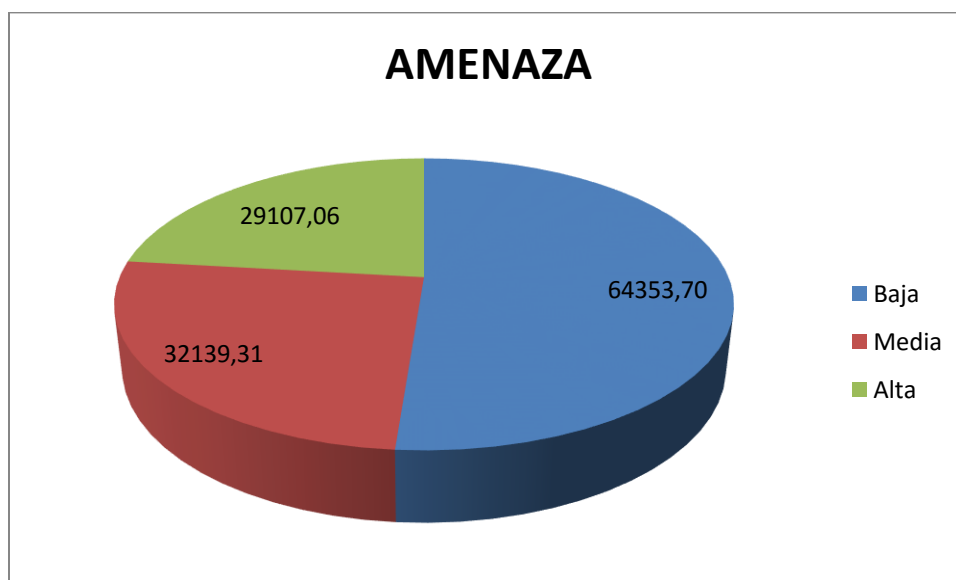


Figura 147 grafica de amenaza representada en la cuenca

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.5.5. Sísmica.

4.5.5.1. Evaluación de la amenaza Sísmica.

Para el análisis de la amenaza sísmica desde la perspectiva de su empleo en una cuenca hidrográfica, requiere la adaptación metodológica, en consideración que las valoraciones de amenaza sísmica se han dirigido en esencia a área urbanas, siendo

muy pocas las aplicaciones en entornos de tipo rural, con retos particulares en cuencas con tal nivel de predominio en área rural sobre urbana, que supera el 90 %, como es el caso de la Cuenca Hidrográfica del Río Risaralda.

El punto de partida consiste en la adopción de un marco probabilístico de referencia, y por lo cual la información de mayor aceptación corresponde necesariamente a la zonificación de amenaza sísmica, que formó parte del Estudio General de la Amenaza Sísmica de Colombia del año 2009, y que constituye la base empleada para la adopción del Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, el cual fue acogido por medio del Decreto 926 de 2010.

La revisión de diversos modelos de amenaza sísmica, procedentes de estudios de microzonificación sísmica adelantados para ciudades como Manizales, Pereira, Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal, Armenia, Manizales y Bogotá, así como de estudios realizados por diversas entidades, no muestran variaciones en órdenes de magnitud significativos, cuando se comparan con los adoptados mediante la NSR-10.

En consideración de la cuenca del Río Risaralda, cuenta con un entorno geotectónico particular, dentro de la esquina noroccidental colombiana, donde ocurre la interacción de tres placas tectónicas, la placa suramericana, la placa Nazca y la placa Caribe, que conjuntamente con el bloque Choco, constituyen los principales rasgos que determina el patrón de incidencia y comportamiento sísmico característico de la región. Dicho contexto ha generado la distribución de los esfuerzos tectónicos, y por ende la dinámica misma del movimiento de las fallas y sus patrones dinámicos, en el marco espacial y temporal.

Es evidente, de la revisión histórica y de la revisión de aspectos de geotectónica regionales y locales, que la cuenca del Río Risaralda, corresponde a una zona con notable incidencia para la ocurrencia de sismos, y que está circunscrita en un marco regional de influencia para diversas fuentes sísmicas. Una de las fuentes relevantes, se refiere a los sismos derivados en profundidad, como es el rango 80-160 km correspondiente a la zona Wadati-Benioff de la placa Nazca subducida debajo del continente, y que ha ameritado su atención en relación con potencial de daños y en aspectos de índole sismológica (Monsalve, H.1998), siendo elemental en la interpretación de la amenaza sísmica regional, y que puede generar eventos próximos o sobre el territorio de la cuenca.

De otro lado, el segundo aspecto relevante corresponde a la distribución de notables e intrincado sistemas de falla, que corresponde a los accidentes tectónicos orientadas en una alta proporción en dirección Norte- Sur, donde se destacan cruzando la cuenca en sentido norte sur las fallas Quebradanueva, Toro, Mistrató y La Argelia, mientras se destacan algunos trazos en sentido Noroeste – Sureste, como la denominada Falla Santa Rosa Río Mapa, además de otros trazos de menor prominencia.

Estas estructuras de dirección NW-SE, constituyen elementos de segmentación y traslape para las estructuras principales de dirección Norte- Sur, como las mencionadas anteriormente. Algunas de las fallas mencionadas, en particular las de dirección Norte – Sur, han sido clasificadas como activas y potencial, y se les ha asignado magnitudes máximas probables entre de 6.1 y 6.9 (Guzmán, J. et al,1998), y en algunos ejercicios posteriores se ha extendido tentativamente dicho rango hasta 7.1 con la aplicación de funciones empíricas en relación con segmentos de ruptura calculados con base a criterios morfoneotectónicos.

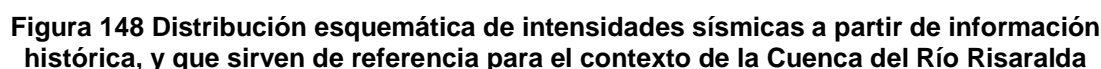
4.5.5.2. Sismicidad histórica

Para entender el nivel de sismicidad general en referencia al POMCA del Río Risaralda, debemos ampliar el contexto de referencia al conocimiento de las fuentes sísmicas que potencialmente pueden influir sobre dicho contexto, y que abarcan fuentes sísmicas localizadas principalmente en los departamentos de Valle del Cauca, Quindío, Tolima, Caldas, Chocó, Antioquia y Risaralda, e incluso como se discutirá más adelante se debe ampliar el área de influencia a otros sectores del país y de la región del océano pacífico.

Para efectos de la valoración y el contexto de la amenaza para la cuenca se han tomado radios de acción del orden de 100 – 200 km, ajustándose según necesidades del contexto geodinámica mismo. Es evidente que cuando se realiza la pregunta sobre cuáles son los sismos con evidencias destructivas para la región, es la propia historia la que nos confirma dichos radios de acción para la referencia y valoración de las implicaciones de la actividad sísmica en la zona de la Cuenca Hidrográfica del Río Risaralda.

Diferentes bancos y plataformas de datos sirven de referencia para la selección de los principales eventos de desastre, así como el banco de datos de sismicidad histórica de Colombia, entre ellos el compilado en Desinventar y proveniente de varias fuentes, y otros específicos como son el inventario realizado por Espinosa (1997). Con referencia a estos, se destacan que las máximas intensidades registradas, se ubican en el rango VII - VIII (MSK), y que en los que respecta a principales eventos reconocidos y de influencia para el área de la cuenca por haber presentado localmente dicho rango de intensidad, se tiene los eventos de los años 1938, 1961, 1962, 1979 y 1999, mientras se han registrado intensidades de hasta VI para eventos como los ocurridos en 1906 (enero 31), 1925 (junio 7), 1967 (9 de febrero), entre otros.

Para efectos de discriminar los sismos históricos relevantes, se tienen en cuenta para los propósitos de este documento, los eventos que han sido sentidos en el contexto regional, con una intensidad igual o mayor a VI, y que cuenten con información sobre fecha y hora de ocurrencia, referentes epicentrales y discriminación de intensidades.



Con base a dichos registros históricos, se han estimado períodos de recurrencia de cada intensidad, de tal forma que Espinosa (1996) en su análisis a nivel regional, determinaron un rango para los sismos de mayor relevancia en términos de su potencial destructivo, aquellos que han manifestado intensidades principalmente entre V-VIII, obteniéndose un período de 12 a 13 años para los eventos de intensidad igual o mayor a VI, mientras se ha estimado del orden de 20 años para intensidades de VII. El Servicio Geológico Colombiano, en la actualidad tiene disponibles mapas de Intensidad Sísmica Esperada, basados en registros de sismos sentidos, que han permitido obtener zonificaciones de referencia.

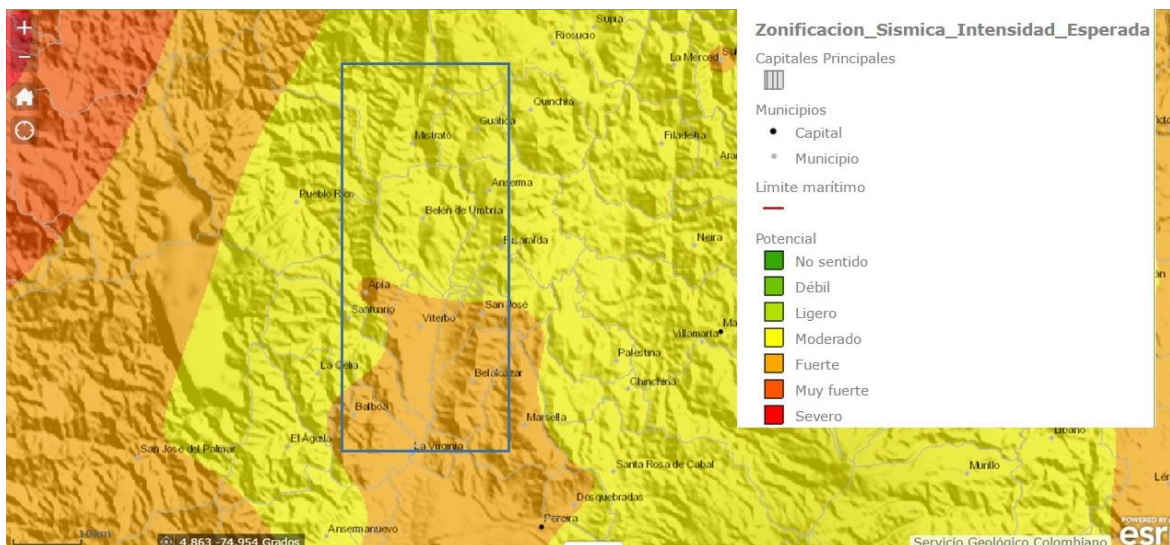


Figura 149 Delimitación de la Intensidad Sísmica Esperada para el sector de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda
(Fuente: Servicio Geológico Colombiano)

Tabla 100 Catálogo de Sismos históricos notables del viejo Caldas (Tomado de: Monsalve et al. 2000)

AÑO	MES	DÍA	HORA LOCAL	EPICENTRO	FUENTE	LAT. N	LONG. W	lo (M.S.K)	MAG N.	I. MAX. REG.	PROFUNDIDAD
1766	07	09	16:00	San Pedro (Valle)	E96	4.00	76.25	VIII		VIII	20
1824	12	17	18:25	Pto Triunfo – Cocorná (Antioquia)	O	5.94	74.8			VII	20
1827	11	16	18:00	Timaná (Huila)	A	2.00	75.9	X		VII	10 O
1878	02	09	14:30	Parque Nacional de los Nevados	O	4.78	75.5	VII		VII	25 O
1878	09	09	11:15	Parque Nacional de los Nevados	O	4.78	75.5	VIII		VIII	
1884	11	05		Aguadas (Caldas)		5.6	76.5			VII	
1906	1	31	10:35:51	Océano Pacífico Sur	O	2.38	79.31	X		VIII	25 O
1924	1	10		Cartago	E96	4.73	76.09	VI		VI	
1925	6	7	18:41:42	Yotoco (Valle)	M	3.90	76.40	VII-VIII		VI	170 O

AÑO	MES	DÍA	HORA LOCAL	EPICENTRO	FUENTE	LAT. N	LONG. W	lo (M.S.K)	MAG N.	I. MAX. REG.	PROFUNDIDAD
1938	2	4		Neira-Aranzazu-Filadelfia	O	5.36	75.63	VIII		VIII-IX	90 O > 45 E
1961	12	20	8:25:34	Ansermanuevo-Balboa	O	4.79	75.96	VII		VIII	40 O > 45 E
1962	7	30	15:20	Aranzazu (Caldas)	E96	5.27	75.51	VIII		VII	69 O > 45 E
1967	2	9	10:25:45	E de Neiva		2.90	74.90	IX		VI	36 O
1973	4	3	8:54:00	Filandia	O	4.70	75.67	VII		VII	146 O < 20 E
1973	4	24	17:47:01	Santa Rosa de Cabal	E96	4.90	73.60	VII		V	19 O < 20 E
1979	11	23	18:40	Santa Rosa de Cabal	E96	4.90	73.20	VIII	7.5	VIII	105 O > 45 E
1988	11	29	6:23	San José del Palmar (Chocó)	G	5.13	76.68		5.5	V-VI	90 G
1990	11	23	17:35	Pijao-Roncesvalles		4.34	75.39			V	129 V
1995	2	8	13:40:25	Calima (Valle)	R	4.13	76.74	VII	6.6	VI	100 R

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

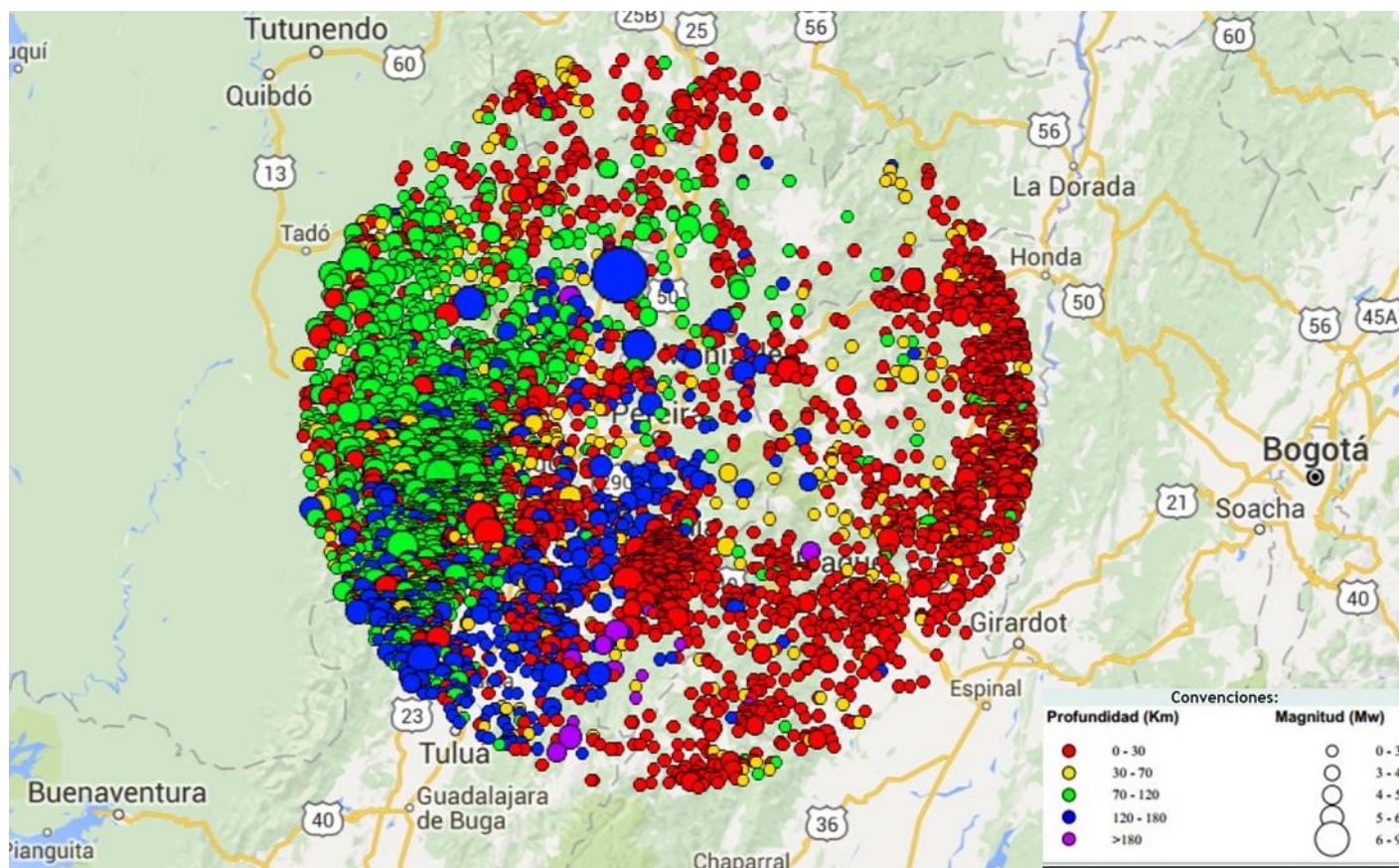


Figura 150 Eventos sísmicos instrumentales registrados por la RSNC en un radio de 100 km a partir del centroide de la Cuenca del Río Risaralda, para el período de 1993 – 2016 con 5889 registros registrados y procesados, discriminados por magnitud (Mw) y profundidad
Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

Tabla 101 Eventos sísmicos registrados instrumentalmente con magnitud mayor o igual a 5 (ML) en un radio de 100 km., para el periodo de 1993 – 2016, desde el centroide de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda.

Fecha	Hora UTC	Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud MI	Magnitud Mw	Departamento	Municipio
28/02/1994	13:40:08	5.099	-76.111	120	5		CHOCO	SAN_JOSE_DEL_PALMAR
19/08/1995	21:43:33	5.133	-75.713	120.9	6.5		CALDAS	RISARALDA
17/11/1996	18:44:15	4.501	-76.278	109.1	5		VALLE DEL CAUCA	EL_DOVIO
25/01/1999	18:19:17	4.439	-75.698	0	6.3		QUINDÍO	CÓRDOBA
25/01/1999	22:40:18	4.414	-75.724	3.5	5.8		QUINDÍO	CÓRDOBA
15/01/2004	0:25:05	4.221	-76.227	152	5.1		VALLE DEL CAUCA	ANDALUCÍA
08/03/2005	15:59:43	4.572	-76.084	5	5.2		VALLE DEL CAUCA	TORO
08/03/2005	15:59:44	4.531	-76.062	23.9	5.2		VALLE DEL CAUCA	LA VICTORIA
21/04/2005	3:39:24	5.194	-76.393	89.6	5.3		CHOCO	TODO
13/09/2008	9:32:01	4.994	-75.697	137.4	5.3		CALDAS	PALESTINA
21/02/2015	22:26:45	4.674	-76.186	95.5	5	5.2	VALLE DEL CAUCA	ARGELIA

Fuente: Servicio Geológico Colombiano (RSNC).

4.5.5.3. Mapa de fallas activas

Para la depuración de la información sobre trazas de fallas activas, su categorización y la referencia para estimación de las magnitudes máximas probables, se complementó la información proveniente de CARDER (1997) y se depuró a través del uso de imágenes de satélite Landsat, y con el apoyo de modelos digitales del terreno (SRTM).

Tomándose como referencia, la interpretación de fallas activas realizada a través para el estudio regional de la Microzonificación Sísmica de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal (Guzmán, et al., 1998), que involucra un alto porcentaje de la cuenca del Río Risaralda, y que se depura la categorización de fallas, en dependencia de las evidencias y los datos diagnósticos disponibles, con base a los atributos morfoestructurales, y que en su momento, contó con el análisis de información microtectónica para el cálculo de tensores de esfuerzos.

Esta información neotectónica resulta de alto interés, dado que la información sobre sismicidad histórica e instrumental es muy limitada para el caso de las fuentes sísmicas superficiales, objeto principal de la interpretación neotectónica.

La localización de la cuenca del Río Risaralda, presenta principalmente sistemas de dirección N-S a N20 E, relacionados con la Falla Cauca-Patía, donde se destacan diversos ramales como son las fallas Apía, Toro y Mistrató, mientras hacia el oriente de la cuenca del Río Risaralda, corresponde a la Falla Quebradanueva, igualmente correspondiente a varios ramales.

Se han determinado además de dichos sistemas de fallas, estructuras de dirección NW-SE, que generan desplazamientos sobre los sistemas antes referidos, con un movimiento aparente lateral izquierdo (Guzmán, J. et al. 1997; Estrada, J.J. y Viana, R. 1998).

Estas estructuras se presentan de forma sistemática y generan control de drenajes, y se encuentran espaciadas entre 15 y 25 km., y se asocian a la distribución de depósitos aluviales como el cauce del Río Mapa. Estas estructuras influyen en la segmentación de las fallas principales de dirección Norte- Sur, determinando igualmente influencia sobre los segmentos potencialmente movibles.

4.5.5.3.1. Falla Quebradanueva

Sobre el sector sur y oriental de la cuenca del Río Risaralda, pasan varios ramales de la Falla Quebradanueva, en una franja de 10 km de amplitud, que generan traslapes con comportamiento sinistral y componente inversa, cuya tasa de actividad estimada ha sido categorizada como moderada, y donde su buzamiento



principal se dirige hacia el Este, y donde algunos de sus trazos del sistema presentan buzamientos hacia el W, correspondiendo probablemente a estructuras de retrocabalgamiento.

Se evidencian rasgos de actividad neotectónica muy significativos, que la destacan como una falla muy importante en lo que respecta a la evaluación de la amenaza sísmica regional. Inmediatamente al sur de la cuenca, entre las poblaciones de Viterbo y Cartago se evidencian notorios escarpes de falla, con diferencias altimétricas superiores a 30 metros.

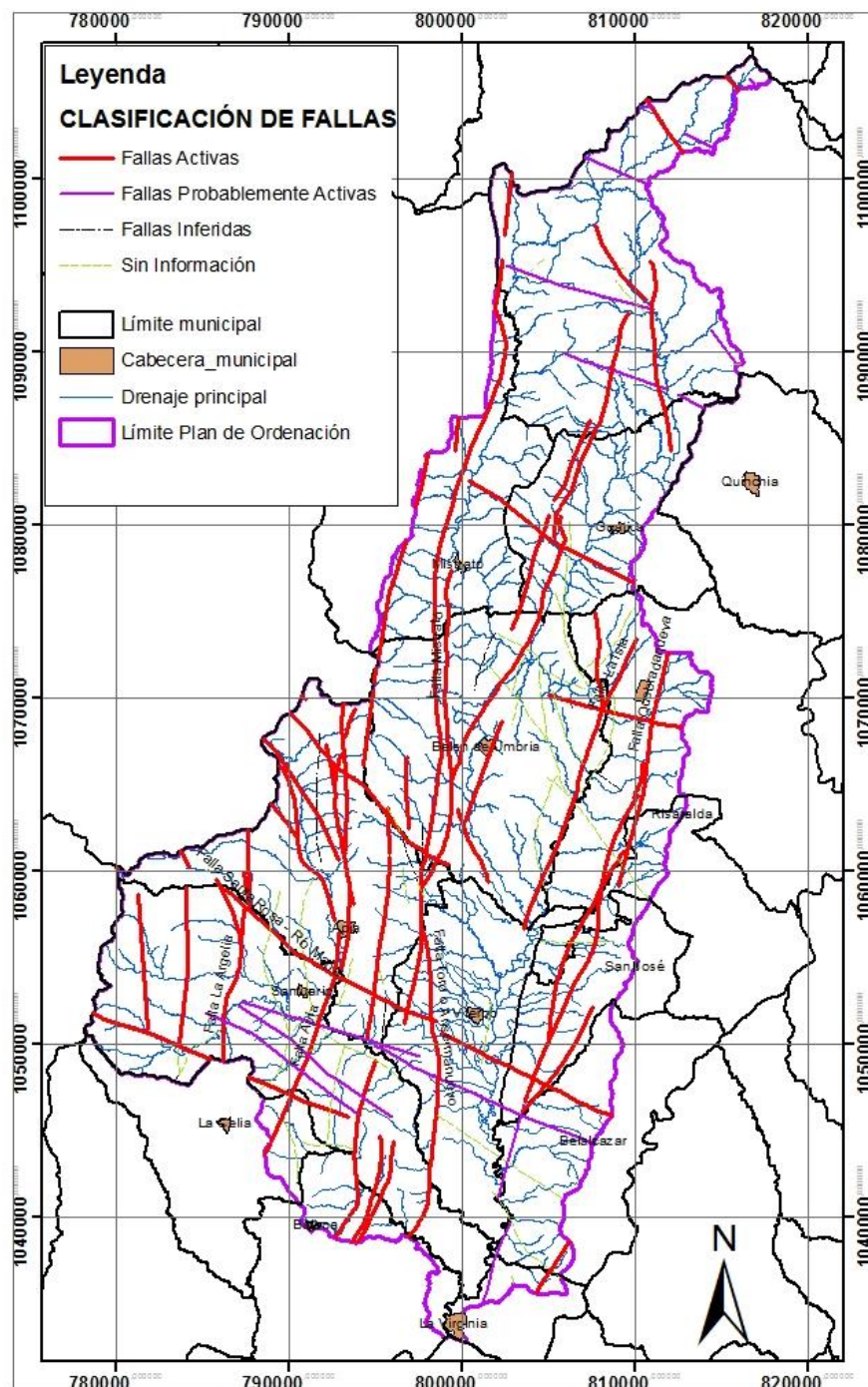


Figura 151 Mapa de fallas activas del área de la cuenca del Río Risaralda.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

4.5.5.3.2. Falla Apía.

La Falla Apía establece contacto entre limolitas del Miembro Urrao con vulcanitas de la Formación Barroso (Estrada, J.J. y Viana, R. 1998), empalmándose hacia el norte con la Falla Mistrató, y evidenciando rasgos morfoetectónicos importantes de una falla de rumbo con componente inversa, mostrándose evidencias como alineamiento de coluviones hacia el sector de Apía, y sufriendo desplazamiento de estructuras de dirección Noroeste, tales como la Falla Santa Rosa-Rio Mapa, y otra que cruza hacia el sector de la población de Apía.

4.5.5.4. Amenaza sísmica y fuentes sismogénicas

En primera instancia se toma como referente la aceleración en roca obtenido por análisis y el mapa de amenaza sísmica contenido en el Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, y el Estudio General de la Amenaza Sísmica de Colombia (2009). Los modelos de atenuación de referencia, en este y otros estudios para diversas fuentes sísmicas, incluyen Cambell (1997), Gallego (2000), García et al. (2005), Sadigh et al. (1997) y, Youngs et al. (1997), correspondientemente si son fuentes de carácter cortical, fosa de subducción o plano de Benioff.

Para el cálculo de la amenaza sísmica, dentro de dicha parametrización, se incluyen diversas fuentes y sus aproximaciones probabilísticas, para consolidarse en un mapa de isoaceleración A_a , para una probabilidad de excedencia del 10 % (q_0), en un tiempo (t) de 50 años, equivalente a un período de recurrencia de 475 años, que suministra los niveles de amenaza base para el análisis de la cuenca hidrográfica del río Risaralda

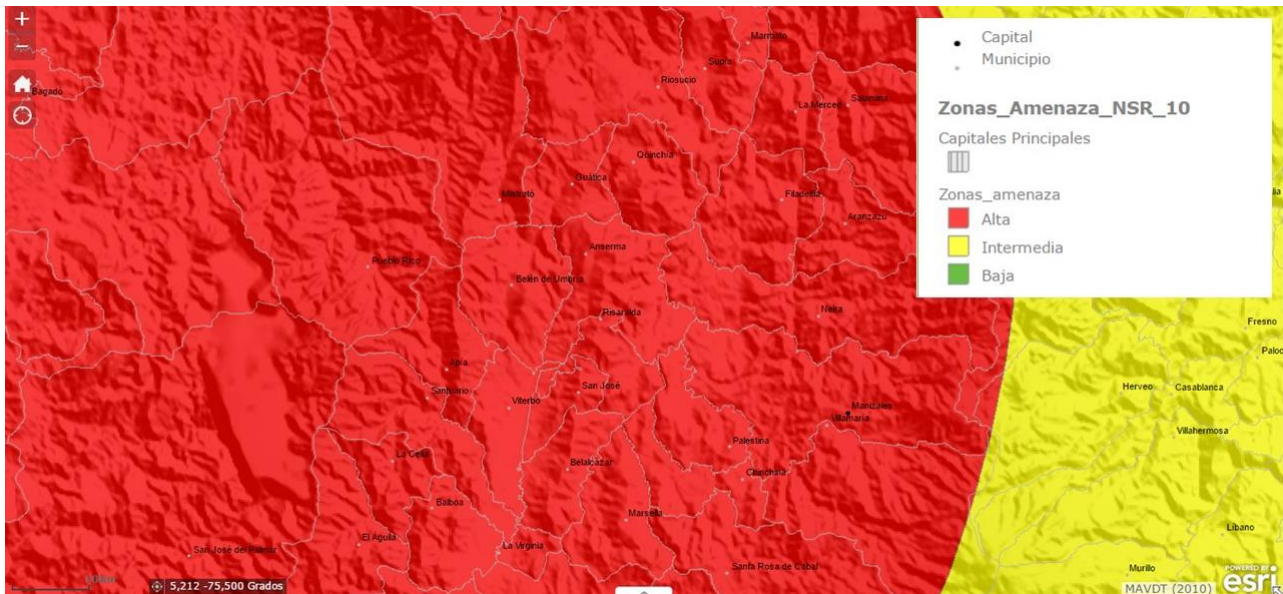


Figura 152 Mapa de Amenaza Sísmica expresado como valores de Aa para el área de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda con valores de 0.25 y 0.30, conforme a la NSR-10 (Fuente: Geoportal SGC).

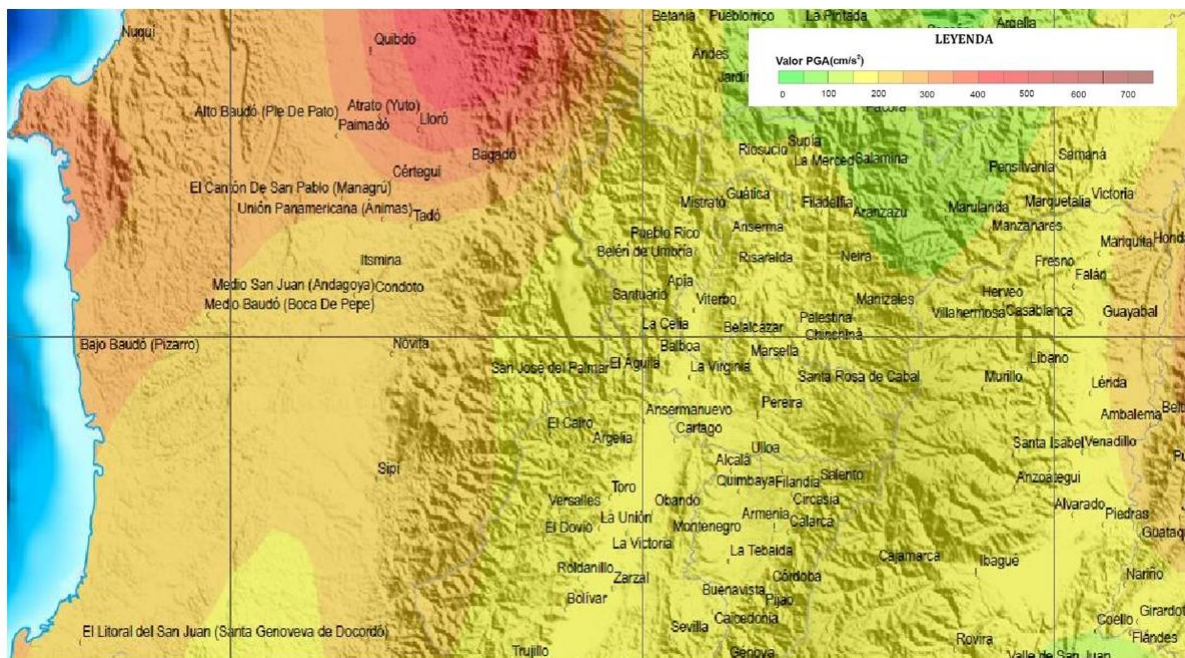


Figura 153 Mapa de Amenaza Sísmica expresado en rangos de isoaceleraciones en roca para un período de recurrencia de 475 años, incluyéndose el área de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda, conforme a la NSR-10
(Fuente: Geoportal SGC).

Es evidente que el contexto geológico y tectónico del occidente colombiano, su estructura y su dinámica, ha diferenciado las siguientes fuentes sísmicas de influencia, y que para el caso de la cuenca objeto de análisis no es excepción. Se discriminan entonces las siguientes fuentes sismogénicas:

✓ Fuente de fosa de subducción

Corresponde a la propia franja de convergencia y hundimiento por debajo del continente, de la placa oceánica de mayor densidad, y para la cual se asocian los sismos con mayor magnitud potencial, que es evidenciada por el propio contexto y dinámica tectónica regional, como por los registros históricos e instrumentales.

Sin embargo, los registros de eventos sísmicos mayores en la franja que delimita la fosa de subducción, se concentran hacia el suroeste del océano pacífico

Colombiano, e incluyen eventos como los ocurridos el 31 de enero de 1906 ($M_w=8.6$), y el del 12 de diciembre de 1979 ($M_w=7.7$), y que cuenta con documentación sobre distribución de intensidades, que oscilaron entre IV-VII (Espinosa, 1996), mientras más recientemente y en una latitud más próxima al territorio de referencia, como corresponde al sismo de Pizarro de noviembre 15 de 2004 que presentó una magnitud de 7,2 (M_w).

✓ Fuente de subducción intermedia y profunda (Plano de Benioff)

La profundización del plano de subducción bajo el continente, desde el propio lugar de la fosa antes mencionada, se ha evidenciado a través de la información instrumental, fragmentos donde se concentran los sismos de mayor frecuencia en el tiempo, dentro de rangos de profundidad entre 70 y 220 Km., entre los que por su importancia como eventos sentidos y con daños en la zona, se pueden mencionar los eventos ocurridos el 4 de febrero de 1938 ($M_w=7.0$, prof. 160 km), 20 de diciembre de 1961 ($M_b=6.3$, prof. 176 km), 30 de julio de 1962 ($M_w=6.7$, prof. 108 km), 23 de noviembre de 1979 ($M_b=6.4$, prof. 108 km) y 8 de febrero de 1995 ($M_w=6.6$, prof. 100 km).

Se pueden mencionar otros sismos de importancia en términos de intensidad en la región, algunos de los cuales fueron sentidos en diversas poblaciones de la región con niveles de intensidad de hasta V (Espinosa, 1999), como corresponde a los sismos del 24 de abril de 1973 ($M_b=5.1$, prof. 118), 29 de noviembre de 1988 ($M_b=5.7$, prof. 175 km), 23 de noviembre de 1990 ($M_s=6.0$, prof. 138 km), 19 de agosto de 1.995 ($M_s=6.5$, prof. 126 km), 17 de noviembre de 1996 ($M_w=5.2$, prof. 114 km), 19 de febrero de 1997 ($M_b=5.7$, 108 km), septiembre 9 de 1997 ($M_w=6.7$, prof. 221 km) y diciembre 11 de 1997 ($M_w=6.3$, prof. 193 km), pero que sólo en algunos casos y de forma aislada, generaron algún tipo de alarma o daño en la región.

✓ Fuentes sísmicas superficiales

Las fallas geológicas son abundantes, ramificadas y traslapadas sobre el territorio objeto de análisis, y donde se presenta un potencial sísmico, donde de manera probabilística no se dispone de adecuado nivel de conocimiento, apuntando el cálculo de magnitudes máximas probables al campo determinístico.

Dentro de estos sismos, el más destacado para la región corresponde al evento de enero 25 de 1999 (ML=6.2), que corresponde prácticamente al es el primer sismo superficial e afectar diversas poblaciones en el eje cafetero, y que relevantemente determina el interés en evaluar otros tramos de los diversas estructuras propias de la región.

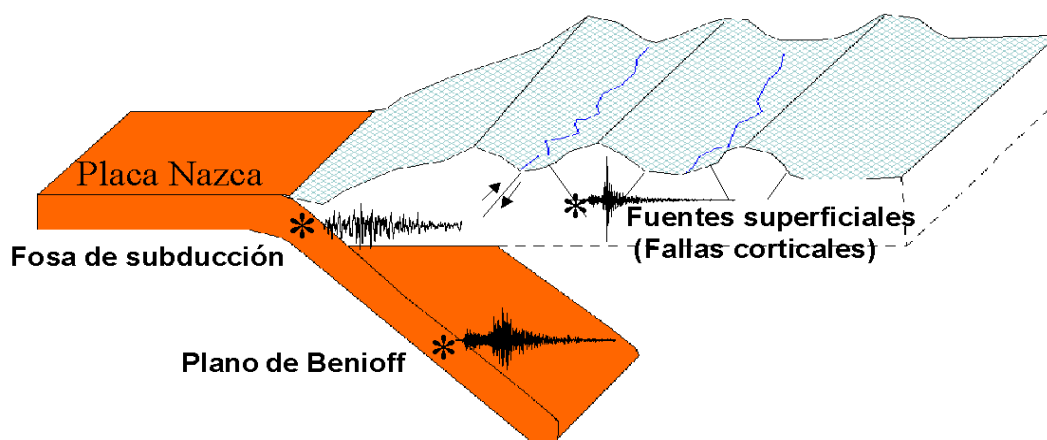


Figura 154 Esquematzación de los tipos de fuentes sísmicas asociables al sector de la cuenca hidrográfica del río Risaralda.

Fuente: CARDER (2000).

La asignación y parametrización de fuente sísmicas, en la región, han determinado diversos modelos, donde el número de trazas delimitado es muy superior al número final de fuentes sísmicas corticales establecidos en los diversos modelos, tales como el establecido por Montes, et al. (2002).

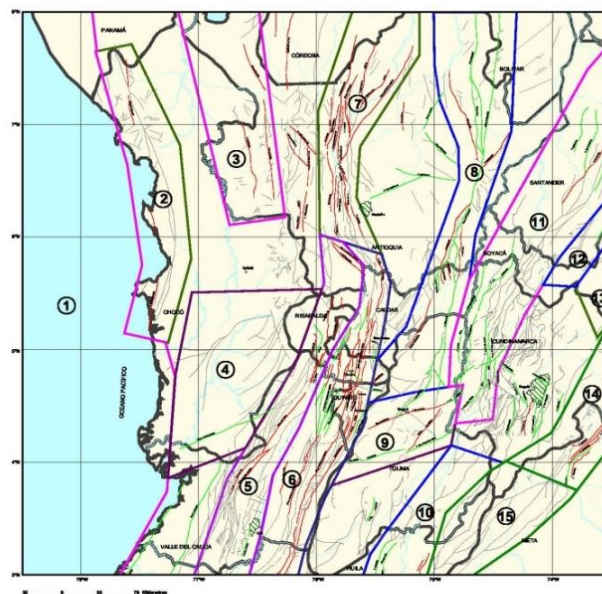


Figura 155 Delimitación de fuentes sísmicas superficiales para el sector centro occidental colombiano. Obsérvese el nivel de simplificación derivado del nivel de información sismológica y paleosísmica disponible.
 Fuente: Montes et al. (2002).

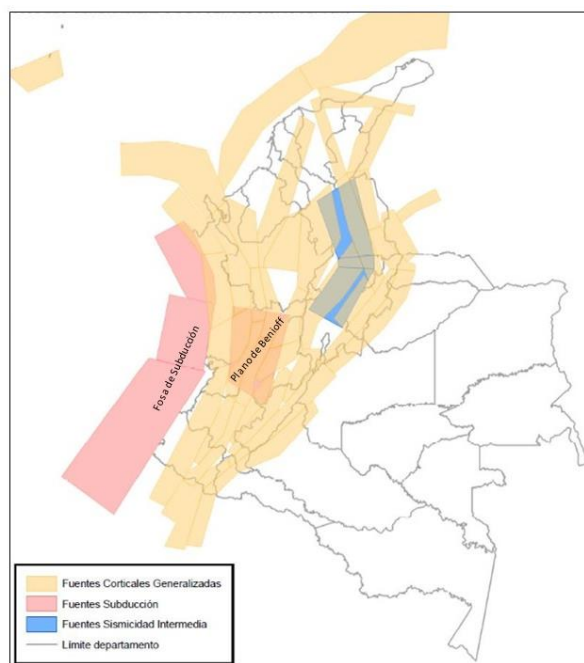


Figura 156 Delimitación de fuentes sísmicas corticales, fosa de subducción y plano de Benioff, de influencia para el área de interés.
 Fuente: SGC.

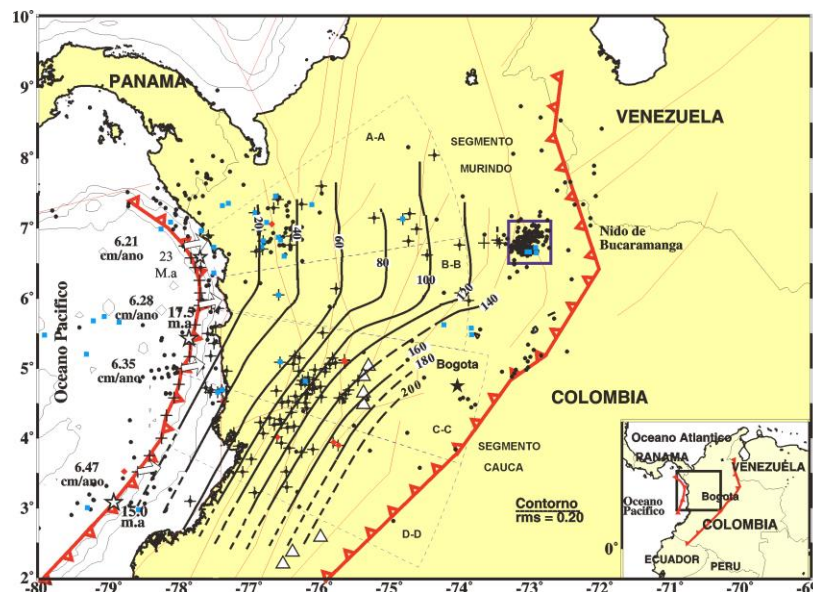


Figura 157 Contornos de isopropundidad de eventos en el plano de Wadati-Benioff.
Fuente: Monsalve, H. 1998.

Es así como de la identificación de trazos individuales sobre un área de influencia para las cuencas de referencia, se determina y complementa un mayor detalle a través de la interpretación de imágenes de satélite Landsat y RapidEye, y con el apoyo de modelos digitales del terreno, que ha permitido la demarcación de trazos de mayor contundencia en la interpretación de fallas activas, con la respectiva asignación de magnitudes máximas probables dentro de un rango de 6.3 – 7.2 (Mw) para eventos de tipo cortical.

De la observación de la distribución de eventos sísmicos instrumentales, se ha podido avanzar en la definición de la geometría de la placa subducida bajo el continente, de tal forma que por parte de Monsalve, H. (1998), se efectuó una caracterización de contornos de isopropundidades con rangos de 40 km, que ha significado un aporte para la interpretación y discriminación de fuentes sísmicas, aún dentro de un mismo proceso dinámico, y de igual forma, el acercamiento a la asignación de magnitudes últimas puede realizarse de forma más adecuada.

Sin embargo, cabe señalar que, con información sismológica más reciente, como la publicada por el Servicio Geológico Colombiano, los isocontornos diferenciados y referidos antes, pudieran tener depuraciones importantes, para ser incluidas en la valoración de la amenaza sísmica para ser incluidos en próximos códigos de sismoresistencia.

4.5.5.4.1. Falla Toro-La Isla

En el sector medio de la cuenca se evidencia un contacto fallado entre el Gabro Anserma con la Formación Barroso, con una dirección NNE, y donde localmente se asocian algunos reducidos cuerpos plutónicos máficas y Ultramáficas. Esta Falla Toro-La Isla, se interpreta como la continuidad norte de las Falla Toro y Ansermanuevo, que al parecer es enmascarada bajo los sedimentos del Valle del Río Risaralda entre Ansermanuevo y el sector de La Isla.

Hacia el norte de la cuenca, se observan dos segmentos de falla, hacia los municipios de Anserma y Riosucio, uno de ellos sobre el Río del Oro, que exhibe un trazo rectilíneo de su cauce y se evidencian rasgos morfoestructónicos relevantes y sistemáticos, como son escalonamientos (benches), microescarpes y contraescarpes, en un trayecto del orden de 11 kilómetros, y con bifunciones y distribución de aluviones que pueden asociarse con probables cuencas de tracción holocénicas, y megadeslizamientos asociables a la estructura entre Anserma y Guática.

Al sur de Anserma, en el análisis microestructural se definió una compresión pura de dirección E-W, asociada con una dinámica inversa, mientras en el sector de Río del Oro, se describen rasgos microestructurales hacia la Vereda Llanogrande, cuya interpretación se asocia con un movimiento inverso y componente sinistral, y una tasa de actividad moderada, con diversos sectores donde sería de gran utilidad la exploración paleosísmica.

4.5.5.4.2. Falla Santa Rosa Río Mapa.

La continuidad de estructuras de dirección NW-SE cruzando la cuenca del Río Risaralda, de forma sistemática, es evidente, resaltando la Falla Santa Rosa-Río Mapa. Las estructuras NW-Se cruzan desde la Cordillera Central a la Occidental., cruzando el área de la cuenca sobre el sector del Valle aluvial del Río Mapa, donde evidencian algunos coluviones, que indican como bloque levantado el sector norte de la misma, y su definición se puede realizar con la ayuda de imágenes de satélite. La falla afecta a todas las litologías localizadas a lo largo de su trazo, incluyendo depósitos cuaternarios; por lo tanto, su actividad se encuentra dentro del rango temporal de la neotectónica.

La actividad de estas fallas de dirección NW-SE, aunque cuenta con limitada información, ha sido posible asociar sismicidad instrumental superficial de cierta importancia, que evidencia la dinámica de dichas estructuras y, de otro lado, en análisis neotectónicos son determinantes diversas estructuras paralelas, en su

función en la segmentación de fallas de dirección N-S, espaciadas entre 15 y 30 km, con algunos probables traslapes.

4.5.6. Volcánica.

Como referencia al contexto de amenaza volcánica de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda, se incluyen como fuentes de información las evaluaciones de amenaza volcánica del volcán Nevados del Ruiz (INGEOMINAS, 2007; Servicio Geológico Colombiano, 2015), evidencian influencia generalizada en términos generales por caída piroclástica, conforme a la distribución de depósitos de ceniza volcánica evidenciados en los depósitos de ceniza volcánica presentes en diversos sectores de la cuenca, con espesores generales menores a 5 metros. Así mismo, en registro de emisiones de ceniza volcánica suministrado a través de seguimiento satelital

Aunque en el Mapa de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado del Ruiz elaborado por el INGEOMINAS (2007) y versiones previas, se integran la amenaza por productos volcánicos como flujos de lava, flujos piroclásticos, explosión lateral dirigida de bajo ángulo (Blast), caída de piroclastos y flujos de lodo (Lahares), de todas formas en una versión más reciente se involucran algunos modelos de dispersión (SGC, 2015), que permitieron depurar la zonificación y extender sitios de afectación potencial no incluidos en radios previstos en zonificaciones antecedentes.

Es así como para la cuenca hidrográfica del río Risaralda, el volcán Nevado del Ruiz, como fuente de emisión se localiza entre 56 a 70 km. Dentro del registro geológico de erupciones volcánicas del volcán Nevado del Ruiz, se incluyen algunos eventos con VEI > 3, y muchos eventos correspondientes a erupciones con VEI de 1 y 2, como las ocurridas en 1623 y 1984 un VEI de 1, 1916, 1833, 1831, 1829, 1828, 1826, 1805 con asignación de VEI 2, y que cuentan con el respectivo registro histórico, pero desconociéndose aspectos sobre la dispersión de cenizas.

Como referencia importante se han presentado diversas emisiones de cenizas, que han traído aporte a la calibración y por sobre todo a la comprensión de los modelos de dispersión de cenizas, con columnas eruptivas.

De las emisiones de cenizas presentadas en los últimos años, se ha podido verificar la caída de cenizas en diversas poblaciones de la cuenca, tal como ocurrió para mayo 29 de 2012, donde se cuenta con registro de caída de ceniza en las poblaciones de Viterbo, Apía, Anserma, Guática y Pueblo Rico (Servicio Geológico Colombiano, 2016), así como el evento del 9 de junio de 2012, involucrando el sector norte de la cuenca.

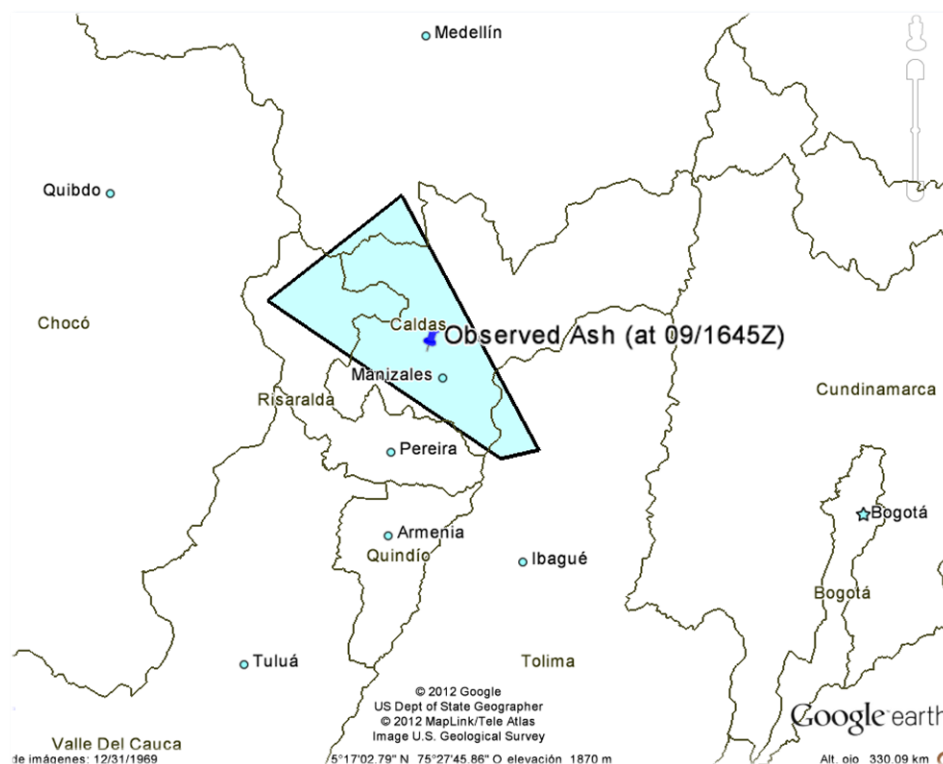


Figura 158 Dispersión de ceniza para el evento del 9 de junio de 2012, procedente del Volcán Nevado del Ruiz e involucrando la zona norte de la cuenca del Río Risaralda
Fuente: Volcanic Ash Advisory Center –VAAC.

Así mismo, se ha contado con el registro satelital de emisiones de ceniza provenientes del Volcán Nevado del Ruiz, donde se puede observar la influencia sobre diversos municipios al interior de la Cuenca Hidrográfica del Río Risaralda, entre las que se mencionan las siguientes:

- 12 de agosto de 2012: Guática, Quinchía y Riosucio.
- 11 de julio de 2013: Risaralda, Anserma, Guática y Mistrató.
- 6 de agosto de 2015: Guática y Mistrató.
- 13 de septiembre de 2015: Anserma, Guática, Quinchía y Riosucio.
- 27 de septiembre de 2015: San José, Risaralda y Belén de Umbría.
- 4 de marzo de 2016: Risaralda, San José, Belalcazar y La Virginia.

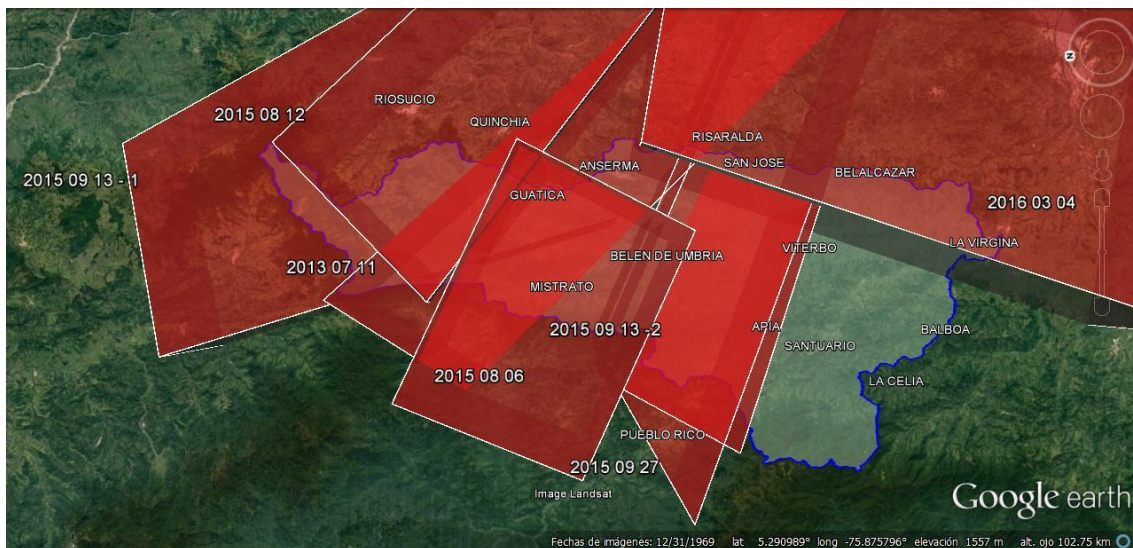


Figura 159 Distribución de cenizas volcánica observada en eventos eruptivos del Volcán Nevado del Ruiz, que se asociaron con la Cuenca Hidrográfica del Río Risaralda, entre el año 2013 y 2016

(Fuente: Volcanic Ash Advisory Center –VAAC. Plataforma Google Earth)

Así mismo, se han registrado otras emisiones de ceniza importantes en el volcán Nevado del Ruiz, que han traído información de utilidad para la calibración de modelos de dispersión, entre otros como el ocurrido en noviembre de 2014, acompañados de sismos de largo periodo, y varios tipos de tremor volcánico, asociados al movimiento de fluidos (gases, fluidos, magma) en el interior del volcán o a emisiones de gases y ceniza a la atmósfera. Para dicho período se presentaron emisiones de ceniza, los días 18 y 21 de noviembre, con emisiones importantes de vapor de agua y gases, principalmente de dióxido de azufre, alcanzando la columna de gases una altura cercana a 2600 m para el 28 de noviembre de 2014.

Derivado de eventos eruptivos y en referencia a la cuenca hidrográfica del Río Risaralda, se tiene como producto principal de influencia potencial sobre la cuenca las caídas piroclásticas (principalmente cenizas), cuya distribución dependerá de la dinámica de los vientos, la altura de la columna eruptiva, la duración de los eventos eruptivos y sus probables fases de ocurrencia, entre otros aspectos que pueden influir en dicha dinámica, para dispersión entre 56 y 80 km hacia el Oeste y Noroeste de la fuente volcánica.

Entre las afectaciones evidenciadas se ha mostrado dentro de la cuenca, los problemas de drenaje inducidos sobre techos de las viviendas, y muy probablemente la afectación del sector agrícola, aún con bajo nivel de estimación.

Es importante referir que dentro de la reciente actualización del mapa de amenaza volcánica del volcán Nevado del Ruiz (SGC, 2015), con el correspondiente análisis

de dispersión de cenizas en referencia a una columna eruptiva de 20 km. de altura, un VEI 4 y una tendencia predominante de los vientos en el área con dirección occidente-nororiente, que ha dado lugar al ajuste de versiones anteriores de mapas de amenaza volcánica, para la delimitación de las zonas potencialmente afectadas por caídas de ceniza y lapilli, donde se emplearon datos geológicos, históricos y con el apoyo de modelos numéricos de advección-difusión, en particular TEPHRA2 (Bonadonna et al., 2005), que ya habían sido puestas en evidencia con fenómenos de emisión de ceniza, manifestos durante las últimas décadas.

El Servicio Geológico Colombiano, advierte en referencia al uso e interpretación de la Zonificación de Amenaza Volcánica del Nevado del Ruiz, que: “La información contenida en este mapa es de carácter referencial, para ser usado en el manejo de emergencias asociadas con este volcán. Las líneas punteadas entre las zonas de amenaza indican un cambio transicional y de ningún modo representan límites absolutos. Frente a la ocurrencia de eventos extremos poco frecuentes no contemplados en este mapa, se requiere investigaciones e inclusiones adicionales.”

En dicha zonificación en referencia, se incluyen y diferencian los siguientes aspectos, y que corresponde en esencia a la Zonificación de amenaza por caída de piroclastos y las denominadas zonas proyectadas para cada nivel de amenaza diferenciado:

Amenaza Alta: Con los parámetros enunciados anteriormente, se estableció una zona de afectación potencial por caídas de ceniza y lapilli, donde se presentaría acumulaciones mayores a 10 cm (carga sobreimpuesta > 100 kg/m²), con un radio aproximado de 25 km. Este nivel de amenaza, conforme a la cartografía del SGC (2015), se descarta sobre la Cuenca Hidrográfica del Río Risaralda, aún con vientos favorables al momento del proceso eruptivo.

Amenaza Media: Ya dentro de la amenaza media, se incluye igualmente la “caída de cenizas y lapilli con acumulaciones entre 1 y 10 cm de espesor, con carga sobreimpuesta entre 10 y 100 kg/m², acorde a la tendencia de los vientos imperantes en la zona” y para cuya distribución no incluiría a los municipios de la cuenca en consideración.

Amenaza Baja: Finalmente, dentro de la zona de amenaza volcánica baja se incluyen un área “potencialmente afectada por caída de ceniza y lapilli con acumulaciones de 0.5 mm y 1 cm, con carga sobreimpuesta entre 0,5 y 10 kg/m², dentro del cual quedaría el 71 % del área de la cuenca del Río Risaralda, principalmente en su sector medio y bajo, donde involucra Santuario, Apía, Viterbo, Balboa, La Virginia, Belalcázar, San José, Risaralda, Anserma, Belén de Umbría, y las áreas de los municipios de La Celia y Balboa involucradas en la cuenca del Río Risaralda.

Amenaza Baja proyectada: Zona expuesta a caída de piroclastos con acumulaciones entre 0,5 m y 1 cm, cubriendo las direcciones alrededor de la cima

a del edificio no contempladas en la tendencia principal de los vientos. Lo cual podría afectar otras cabeceras y/o zonas rurales de municipios, en particular al norte de la cuenca, cubriendo el 29 %, e involucrando gran parte de las áreas municipales de Mistrató, Guática y Riosucio.

La zona proyecta, dentro de la metodología, buscan cubrir aquellas direcciones alrededor de la cima del edificio volcánico, no contempladas en la tendencia principal de los vientos establecida en el modelo principal, lo que permite incluir otras áreas de afectación potencial, de interés en el análisis de vulnerabilidad y riesgo y de gran utilidad en el establecimiento de planes de emergencia y contingencia.

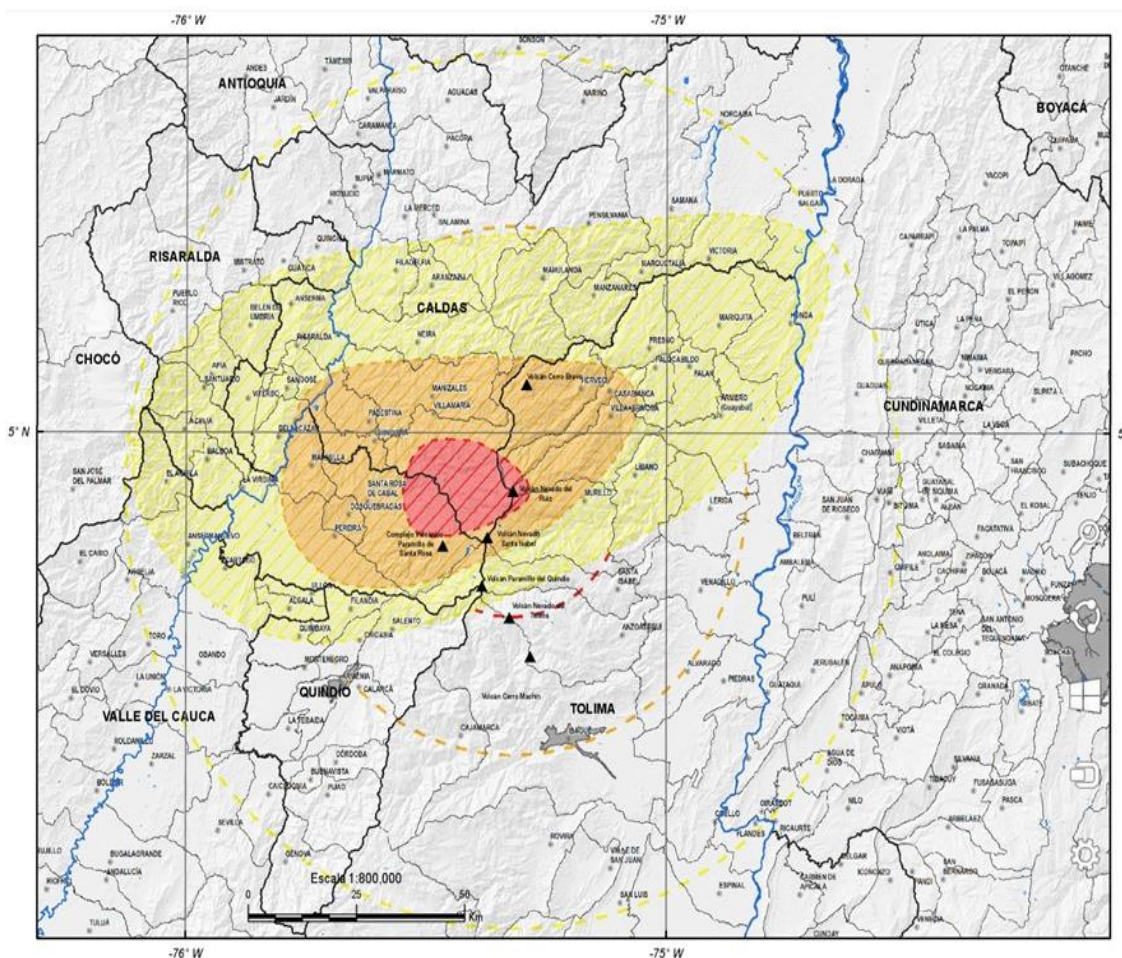


Figura 160 Zonificación de Amenaza Volcánica del volcán Nevado del Ruiz, que incluye Interpretaciones recientes sobre dispersión de cenizas volcánicas para una columna eruptiva de 20 km. de altura, y en evento de VEI=4, que han permitido ajustar las versiones ant.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

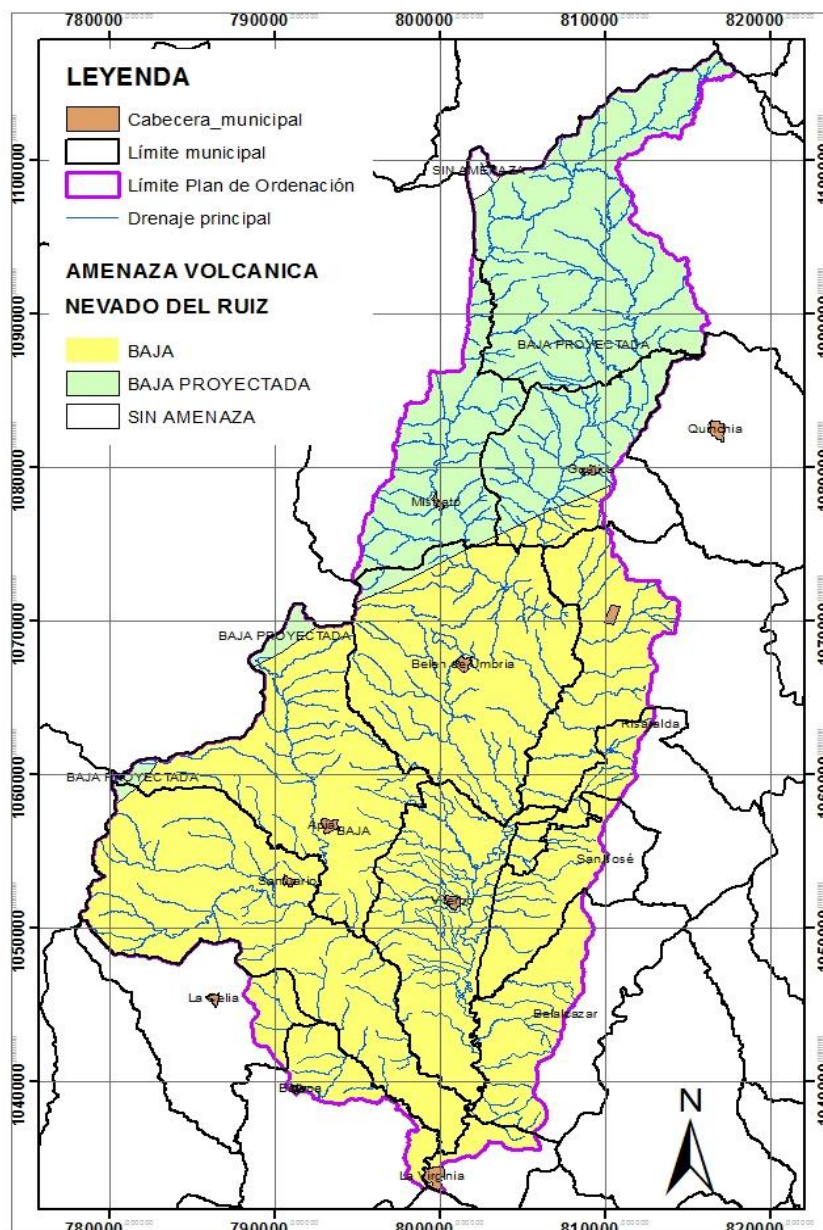


Figura 161 Mapa de Amenaza Volcánica para la cuenca del Río Risaralda, en consideración del Volcán Nevado del Ruiz
 (Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2015)

4.5.7. Indicadores de niveles de amenaza media y alta.

Posterior al análisis de las diferentes amenazas se procederá a la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo para las diversas áreas definidas y los elementos involucrados.

Las diferentes amenazas evaluadas para los fenómenos descritos que serán objeto del posterior análisis de vulnerabilidad y riesgo, fueron plasmadas en el mapa D-BF30 del anexo 1, donde se establecen los porcentajes de niveles de amenaza MEDIA y ALTA ante movimientos en masa, inundaciones torrenciales e incendios forestales.

Es preciso resaltar que, en el análisis de los capítulos de vulnerabilidad y riesgo para cada fenómeno, se referenciaron los niveles de amenaza correspondientes y que fueron consignados en las tablas de vulnerabilidad y riesgo remitidas en los anexos 7 y 8.

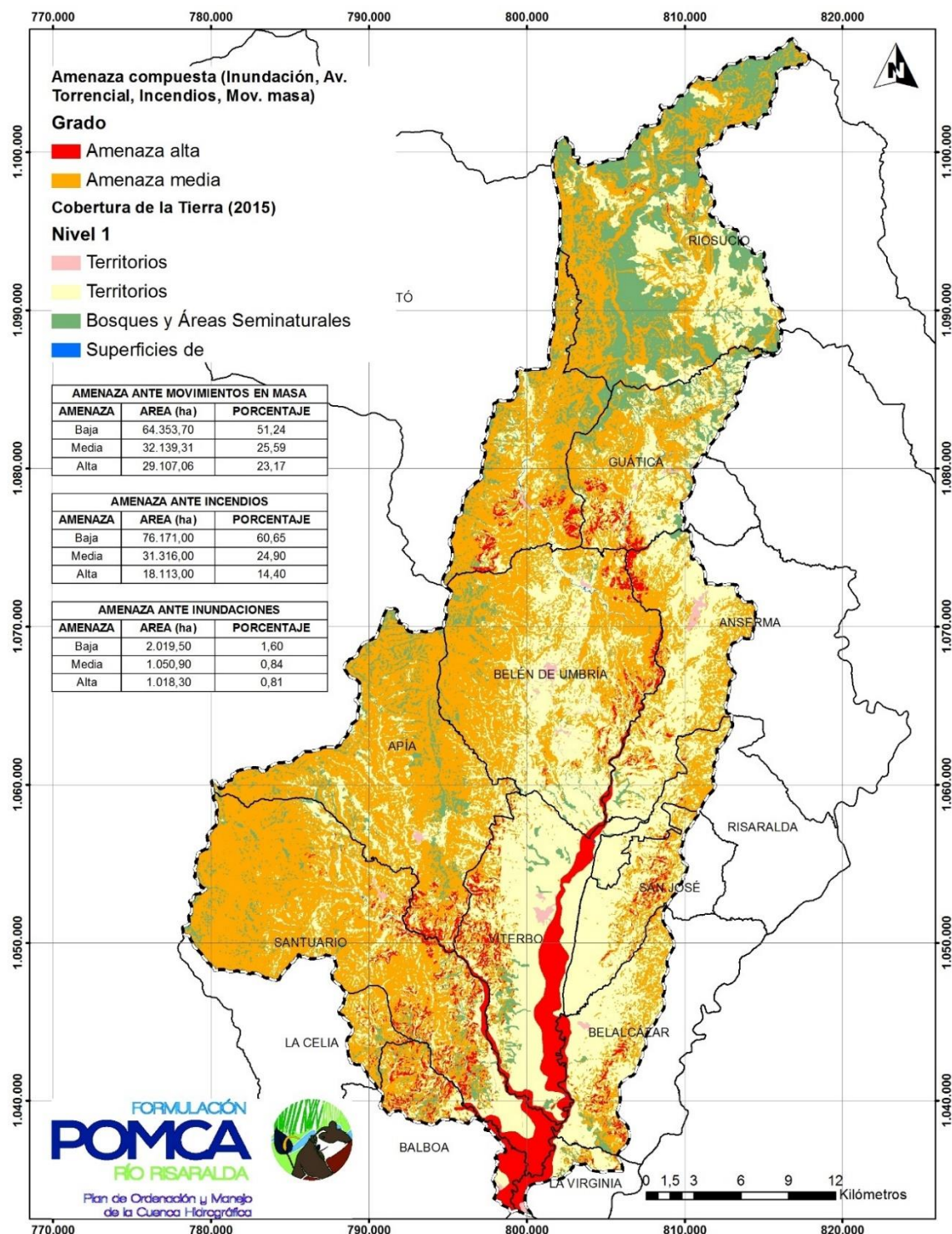


Figura 162 Indicadores de porcentajes de niveles de amenaza media y alta
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.6. Análisis de la vulnerabilidad.

4.6.1. Introducción

Esta fue analizada desde el punto de vista de las condiciones físicas de los elementos que se encuentran en la cuenca, tales como vías, puentes, bocatomas, gasoducto e infraestructura, y por consiguiente afectaciones sobre la población, que es la directamente afectada. Cabe aclarar que, en los estudios ambientales, no solo se tiene en cuenta las condiciones físicas del territorio, sino también cuales son las principales afectaciones sobre el terreno, lo que conlleva a un análisis exhaustivo de las áreas de protección ambiental, como también verificar si los usos del suelo que se presentan actualmente, son favorables o desfavorables para el territorio.

Para el análisis anteriormente mencionado fue necesario hacer una etapa de campo, en donde, se hace necesario hacer un reconocimiento de cuáles son las condiciones estructurales de los elementos físicos, y si estos se encuentran en una zona susceptible a movimientos en masa.

La vulnerabilidad está definida como el nivel de exposición y predisposición de un elemento o conjunto de elementos a sufrir consecuencias negativas como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural o de origen antrópico no intencional de una magnitud dada (DPAE 2000).

El análisis de vulnerabilidad es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica; y para el presente numeral se evaluar a la amenaza ante movimientos en masa MM.

De acuerdo a los elementos expuestos unos eventos determinados existen diversos tipos de vulnerabilidad según lo establecido en el PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de adaptación 2014):

- **Vulnerabilidad física:** Población, viviendas, líneas vitales, zonas ambientales o tecnológicas.
- **La vulnerabilidad social:** Involucra factores de educación, edades, percepción del riesgo, infraestructura de salud, seguridad, aspectos organizacionales, costumbres y creencia ideológica, entre otros.
- **La vulnerabilidad económica:** caracteriza a la población de acuerdo a los ingresos económicos, edad, género, entre otros.

- **La vulnerabilidad ambiental y/o ecosistémica:** se refiere a la extensión de la degradación de la naturaleza y sus recursos”.

Las variables utilizadas para el análisis de vulnerabilidad general fueron extraídas de las Geodatabase básica y temática de la Cuenca del Río Risaralda, específicamente correspondientes a los features dataset transporte terrestre, biótico, áreas de ecosistemas estratégicos, recurso hídrico superficial, de ella se recopilaban los elementos puntuales, lineales y areales correspondientes a tejido urbano continuo y discontinuo, áreas de protección ambiental, áreas de uso del suelo con fines agrícolas y elementos de infraestructura en general como vías, bocatomas, cabe expresar que algunas variables como líneas de acueducto, gasoducto y puentes fueron recopiladas por medio de entidades locales como ACUASEO, Aguas y Aguas de Pereira y Ecopetrol.

4.6.1.1. Generalidades

A continuación, se hará un análisis de cada uno de los elementos expuestos, identificando cuales son las principales.

Vías: presenta una afectación total en la cuenca de 2051565.25 m, estas vías nacionales están directamente relacionadas con áreas susceptible, lo que podría afectar directamente la movilidad vial del municipio y de Colombia hacia el occidente colombiano, tal es el caso, de la vía que conlleva hacia el departamento de Choco,

Bocatomas y captaciones: presentan una densidad alta sobre la cuenca, representadas en 107 bocatomas y captaciones, siendo estas de diferente caudal y por consiguiente, de diferentes usos.

Infraestructura: para el análisis de esta, se hace un análisis detallado apoyado de sistemas de información geográficos y programas de geomática, a partir del cual se llega a una escala detallada, de cuantas son las vivienda o construcciones afectadas en estas zonas, es preciso destacar los cascos urbanos de los municipios de Santuario, Belén de Umbria, Mistrató, Guática, y Apía, que cubre el 100% del área susceptible.

Es preciso aclarar que a nivel de cuenca se ven afectados 5500 infraestructuras incluidas acá, viviendas, establecimientos educativos, hospitales, y por consiguiente una población aproximada de 39147.36 personas con base en una densidad poblacional de 4 personas/vivienda.

Puentes: para el análisis de esta variable, se tiene en cuenta los cruces entre vías y drenajes secundarios y terciarios. Lo que, por sus condiciones, de torrencialidad en algunos sectores, pueden llegar a ser agravantes en el territorio. Al igual que en

infraestructura, se hizo un análisis detallado, en donde se evidenciaron 1296 cruces entre ambas variables.

4.6.2. Metodología.

Para la evaluación de la vulnerabilidad bajo el enfoque de la exposición se ha seleccionado el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (O. D. Cardona et al., 2003; Omar Darío Cardona, 2001), con el fin de no dejar excluidos las dimensiones social, económica y ambiental (Unal, 2013), descrito de esta manera en el protocolo reseñado anteriormente.

La vulnerabilidad se define como:

Vulnerabilidad = [Exposición x fragilidad X falta de resiliencia]

Que mediante el uso de índices se convierte en la siguiente expresión:

Vulnerabilidad = (Índice de pérdidas o índice de exposición IP * Índice fragilidad / índice de resiliencia)

A continuación, se describen los conceptos de cada una de variables de análisis:

- **Exposición:** corresponde al inventario de bienes naturales o no (elementos expuestos), que pueden ser afectados por los diferentes eventos amenazantes y se expresa en términos de activos y de población; la exposición se mide de acuerdo al porcentaje de daño y se calcula mediante el **índice de pérdidas (IP)**, el cual está afectado por los niveles de confianza de la valoración y varía entre 0 y 1, teniendo en cuenta el valor físico o costo de reposición del bien, valor humano o número de ocupantes estimados en el área y clasificación del bien.
- **Susceptibilidad (fragilidad):** se define como el grado de fragilidad de los diferentes elementos y sectores (económico, social y ambiental) para soportar el tipo de amenaza analizada, mediante el uso de índices e indicadores como un **índice de fragilidad y varía de acuerdo entre cero y tres**.
- **Resiliencia:** Como factor de vulnerabilidad la falta de resiliencia se refiere a la falta de capacidad para enfrentar el impacto de los fenómenos amenazantes. Se evaluó como **un índice de falta de resiliencia y varía entre 0 y 1**.

4.6.2.1. Análisis de la Exposición.

El análisis de la exposición está referida a los siguientes elementos localizados en las áreas definidas como críticas (susceptibilidad media y alta) y hace referencia a la respuesta de los elementos expuestos frente a las solicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos en diferentes zonas como se describe en la siguiente figura:

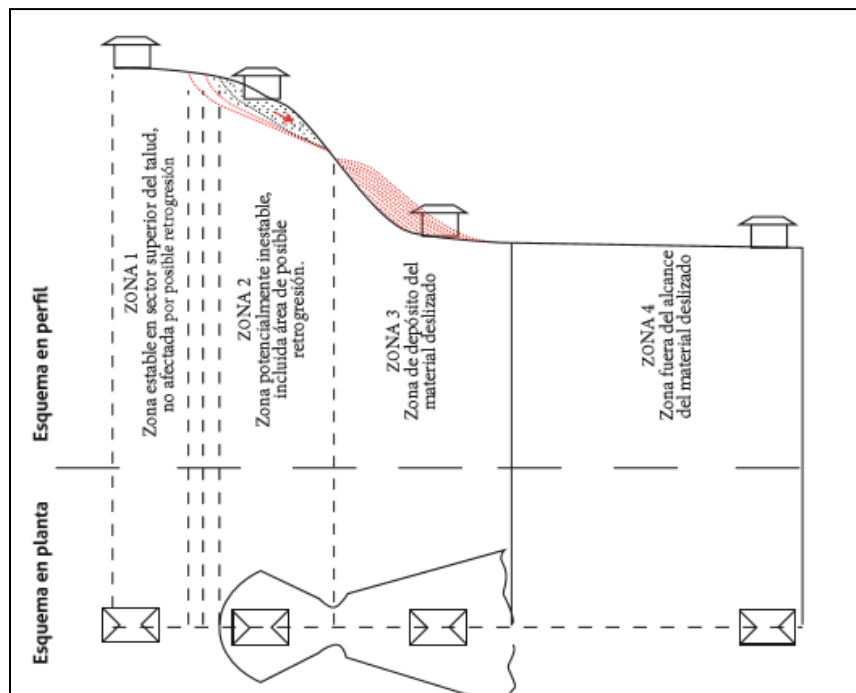


Figura 163 Zonas de exposición de los elementos ante un deslizamiento.

Fuente: guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Minminas, servicio geológico colombiano 2014

En la siguiente tabla se relacionan los elementos expuestos y que fueron objeto de análisis:

Tabla 102 Elementos expuestos

CLASIFICACIÓN		IDENTIFICACIÓN	USO - COMPONENTES
Bienes Físicos	Edificaciones	Indispensables-Grupo IV (norma NSR-10)	Salud (pública/privada)
		Atención a la comunidad - Grupo III (norma NSR-10)	Seguridad Emergencia Educación
		Ocupación especial - Grupo II (norma NSR-10)	Institucionales Gubernamentales Centros comerciales Industria
		Ocupación normal - Grupo I (norma NSR-10)	Residencial y comercio
	Áreas Ambientales	Áreas de cobertura vegetal específica.	Cultivos o áreas de protección
	Líneas Vitales	Red vial	Vías Puentes vehiculares Puentes peatonales
		Servicios públicos	Líneas de acueducto, alcantarillado y gas (tuberías) Redes eléctricas y comunicaciones
Personas		Población	

Fuente: modificado de guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Minminas, servicio geológico colombiano 2014.

4.6.2.1.1. Índice de pérdida o daño IP

Para el cálculo de los índices se utilizan los indicadores económicos y de desarrollo los cuales aportan los valores de reposición estimados del bien para los diferentes elementos reseñados anteriormente y para el caso de la población se determina el número proyectado de habitantes por la cantidad de viviendas existentes basado en los promedios de población asentada en la cuenca.

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

Vi: Valor inicial del bien (antes del evento).

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi}$$

Vf: Valor final del bien (después del evento o valor de reposición).

Este índice se obtendrá para cada una de las zonas analizadas

4.6.2.2. Análisis Fragilidad (IF).

El análisis de la fragilidad está asociado a la resistencia o la susceptibilidad física del elemento a ser afectado por la ocurrencia de un evento determinado, adoptando índices que varían entre 0 y 1 y evaluando la fragilidad física, social y falta de resiliencia como se describe a continuación:

4.6.2.2.1. Fragilidad Física (Ff)

Se determina como la condición de susceptibilidad de los asentamientos humanos de ser afectados por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su falta de resistencia física ante los mismos y depende del tipo de evento amenazante y se evalúa en el presente capítulo para movimientos en masa asignando un valor de 1 si está ubicado el elemento en zona de amenaza alta o un valor de 0 si está en área de amenaza baja.

En la siguiente tabla se relacionan los valores asignados para la evaluación del índice de fragilidad física:

Tabla 103. Índice de fragilidad física.

NIVEL DE AMENAZA	ÍNDICE DE FRAGILIDAD FÍSICA
Alta	1
Media	0.5
Baja	0

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.6.2.2.2. Fragilidad Sociocultural (Fsc)

Predisposición que surge como resultado de nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socio-económicos. (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014):

La fragilidad socio cultural es la suma del índice de **Calidad de Vida (ICV)** y el **índice de fragilidad cultural**

La índice calidad de Vida se calculó con base en el uso de la variable Índice de Condiciones de Vida (ICV), información disponible en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y en el Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial nacional (SIGOT).

El Índice de Calidad de Vida (ICV) refleja las condiciones socioeconómicas de los hogares urbanos y rurales de las áreas en estudio en cuanto a las variables de análisis que están relacionadas con educación y capital humano, calidad de la vivienda y tamaño y composición del hogar y entre más bajo sea el valor del ICV la fragilidad será mayor. El índice de calidad de vida (ICV) varía entre 0 y 0.5. (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014):

Tabla 104. ICV y fragilidad socio-cultural.

ICV y fragilidad socio-cultural		
Valor	ICV	Categoría
0,1	Mayor de 80	Baja
0,25	Mayor de 67 y menor que 80	Media
0,5	Menor de 67	Alta

Fuente: (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014).

La dimensión cultural se incluye de forma indirecta puesto que existen coberturas, que, aunque no están ocupadas por población, se constituyen en patrimonio natural o en áreas apropiadas para el desarrollo de actividades de aprovechamiento del espacio público o de fuentes de subsistencia de comunidades, como por ejemplo los bosques, las áreas verdes, los cuerpos de agua, entre otros.

Las áreas que se definan como de dimensión cultural y que definen la “fragilidad cultural”, si es positivo en alguno de los casos anteriores el valor de la calificación es 0,5 pero si es negativo se calificará con 0,0.

Tabla 105. Fragilidad cultural.

Fragilidad cultural (Fc)		
Valor	Áreas de Patrimonio Natural o Dimension cultural	Categoría fragilidad
0,0	Baja
0,25	Media
0,5	Alta

Fuente: (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014).

Finalmente, la fragilidad socio cultural se define como la sumatoria de:

FRAGILIDAD SOCIOCULTURAL= Condiciones de vida (ICV) + Dimensión cultural (Fc).

4.6.2.2.3. Fragilidad Ecosistémica (Fe)

El análisis se hará sobre todas los elementos que están en amenaza alta y media y deben ser evaluados porque constituyen áreas protegidas o prestan servicios ambientales; igualmente ellos permiten la satisfacción de necesidades básicas como el acceso al agua, a la energía o al aire y garantizan el equilibrio natural a través de su conservación o protección; y son soporte de la productividad de alimentos (Unal, 2013) (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014) .

El índice propuesto varía entre 0 y 1. En caso de que la cobertura esté localizada en un área protegida, el valor de la fragilidad siempre será de 1, por lo que la categoría será alta. Sin embargo, si la cobertura no se encuentra dentro de un área protegida se determinó si es un ecosistema estratégico y su evaluación se hará teniendo en cuenta lo siguiente:

Tabla 106. Fragilidad de ecosistemas estratégicos.

Valor	Áreas y Ecosistema estratégico	Categoría
1,00	Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	Alta
0,75	Productividad y equilibrio natural	Media
0,30	Productividad	Baja
0,00	No constituye un área o ecosistema estratégico en la cuenca	Ninguna

Fuente: (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de adaptación 2014) .

De acuerdo con las calificaciones, la fragilidad total se establece de la siguiente forma:

$$Fragilidad = \frac{Fragilidad\ física + Fragilidad\ sociocultural + Fragilidad\ ecosistémica}{3}$$

Tal como se indicó previamente el índice varía entre 0 y 1. Si el valor final es menor a 0.5 la fragilidad es baja. Si el valor final está entre 0.5 y 0.75 la fragilidad es media, y si el valor está entre 0.75 y 1 la fragilidad es alta así:

Tabla 107. Categoría del Índice de fragilidad

VALOR	CATEGORÍA ÍNDICE DE FRAGILIDAD
0.75 - 1	Alta
0.5 - 0.75	Media
0 - 0.5	Baja

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.6.2.3. Resiliencia (IR).

Expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

En primer lugar, este indicador aborda la afectación de las actividades productivas y de la infraestructura estratégica de transporte, servicios públicos, etc. Y en segundo lugar, ya que la falta de resiliencia mide la incapacidad de absorber los

impactos y recuperarse a ellos, también se evalúa la recuperación en el corto, mediano y largo plazo. (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014).

De este modo, la evaluación se realizará con base en los siguientes términos:

Tabla 108. Indicador de la Falta de resiliencia económica

Valor	Falta de resiliencia económica	Categoría
1,00	Se localizan las más importantes actividades productivas para el desarrollo económico de la región y/o hay presencia de infraestructura estratégica o vital. Hay destrucción total del medio ambiente físico Recuperables en el largo plazo.	Muy Alta
0,75	Se desarrollan algunas actividades económicas y se localiza infraestructura estratégica. Daños ambientales muy grandes difíciles de reparar. Recuperable en el mediano plazo.	Alta
0,50	Hay poca actividades productivas o de servicios. Pérdidas ambientales serias pero reparables. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	Media
0,25	Hay poca actividades productivas o de servicios locales. Pérdidas ambientales locales. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	baja
0,0	No se desarrollan actividades productivas y no hay infraestructura. Elementos ambientales intactos	Cero

Fuente: (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014)

4.6.2.4. Análisis de la vulnerabilidad (IV).

De acuerdo a lo establecido previamente y luego de evaluados cada uno de los elementos que hace parte del modelo de vulnerabilidad, ésta se establece de la siguiente forma:




Indice de Vulnerabilidad (IV)= [Indice de Pérdida x Indice de fragilidadxIndice de falta de resiliencia]

$$IV = [IP \times IF \times IR] / IP_{max}$$

En primer lugar, este indicador aborda la afectación de las actividades productivas y de la infraestructura estratégica de transporte, servicios públicos, etc. Y en segundo lugar, ya que la falta de resiliencia mide la incapacidad de absorber los impactos y recuperarse a

A continuación, se remiten los niveles de vulnerabilidad utilizados:

Tabla 109. Niveles de vulnerabilidad.

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)	Símbolo
0.75 -1	Alta	
0.30-0.75	Media	
0 - 0.30	Baja	

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En el **Anexo 6 Descripción de macizos rocosos**

se muestran las tablas realizadas para el análisis de vulnerabilidad, tanto vulnerabilidad ambiental, como general, donde se incluye, la evaluación poblacional para los tres eventos amenazantes evaluados en la cuenca. De igual modo en los capítulos subsiguientes relacionados a incendios, inundaciones y movimientos en masa, se muestran los análisis previos de elementos expuestos para cada uno de ellos.

4.6.3. Sísmica.

Los análisis de vulnerabilidad disponibles para la cuenca del Río Risaralda, son bastante limitados, y en algunos pocos casos se refieren a la vulnerabilidad física de edificaciones en áreas urbanas, y otros aspectos aluden la vulnerabilidad de líneas vitales, en particular líneas de conducción de acueducto, que cuentan con limitada información.

4.6.3.1. Vulnerabilidad de viviendas

Con la aplicación de curvas o matrices de fragilidad de carácter empírico, específicamente a través del método de GESI (Hasegawa, K, et al. 2004), según daños manifiestos en diversos eventos a nivel mundial, en relación con tipologías constructivas, bajo el influjo de diversos grados de aceleración sísmica, dado que para el área de análisis no se dispone de curvas analíticas, aplicables a las tipologías propias de la región.

Se asimila información general del DANE, a un grupo reducidos de tipologías constructivas, asignándose entonces curvas de daño para cada rango diferenciado. Así, dentro de un primer grupo, se incluyen mampostería reforzada y no reforzada, mientras dentro de otro grupo, se incluirían tApía pisada, adobe y bahareque, y el último grupo, incluiría entonces madera y materiales mixtos.

Tabla 110 Equivalencias asumidas según tipos de materiales diferenciados por DANE y categorías en el modelo GESI (Adaptado de: Borrero, C. 2012).

Tipologías básicas	Material de pared (DANE)	Equivalencias GESI
1. Mampostería y prefabricados	Bloque, ladrillo, piedra, madera pulida.	Mampostería reforzada
	Material prefabricado	Mamposteria no reforzada
2. TApía pisada, adobe o bahareque	TApía pisada, adobe o bahareque	Adobe y ladrillo de adobe
3. Madera y Materiales Mixtos	Madera burda, tabla, tablón. Guadua, caña, esterilla, otros vegetales.	Materiales livianos tradicionales
	Zinc, tela, cartón, latas, desechos, plásticos. Incluye viviendas sin paredes.	

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

De cualquier forma, se debe aclarar que, como referentes de daño, se incluye información a partir de consolidados a escala municipal, los que fueron normalizados a nivel de cuenca, de tal modo que no se cuenta con bases de datos con información espacial sobre el elemento expuesto vivienda. Se adapta así, información sobre vivienda disponible para el censo del DANE del año 2005, consolidado por municipio y según corresponda a cabecera o al área rural.

Conforme a las tipologías constructivas, será la respuesta sísmica, y acorde con el tipo de evento y sus mecanismos de ocurrencia, las características del subsuelo, e incluso las características de relieve de un sitio particular donde se ubica una edificación dada.

En el modelo de curvas de vulnerabilidad, dentro de las tipologías constructivas diferenciadas, a través de un sistema de calificación de niveles de estado de daño potencial, según se relaciona a continuación:

Tabla 111 Sistema de calificación de calidad por diseño, construcción y materiales de las edificaciones.

Calidad de Diseño	
0	Con diseño sísmico ingenieril
1	Apoyo ingenieril sin diseño sísmico, o con criterios de resistencia sin apoyo ingenieril Aplicación de reglas y criterios gruesos (e.g. amarres para mampostería)
2	Sin apoyo ingenieril ni elementos de resistencia sísmica, adecuadas proporciones (Simetría)
3	Sin apoyo ingenieril ni elementos de resistencia sísmica, deficientes proporciones (esbelto, angosto, o no simétrico)
Calidad de Construcción	
0	Excelente Calidad, supervisión efectiva de elementos sísmicos de construcción
1	Buena calidad, algo de supervisión de elementos sísmicos de la construcción
2	Moderada calidad, sin supervisión de elementos sísmicos de construcción, pero obreros capacitados
3	Deficiente calidad, sin supervisión y sin obreros capacitados
Calidad de Los Materiales	
0	Buena calidad de materiales
1	Deficiente calidad de materiales, o deficiente mantenimiento de la edificación

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

A través de las curvas de fragilidad asignadas, se estima entonces un nivel de daño promedio esperado para una aceleración pico de referencia, de tal forma que se pueden diferenciar cuatro categorías de estado de daño.

Tabla 112 Descripción de estado de daño a través del método GESI.

Estado de Daño		Descripción
4	Colapso completo	Las edificaciones sufren una amplia destrucción con porciones significativas colapsadas
3	Colapso parcial	Compromiso estructural de edificaciones en el caso de colapso
2	Extensivo	Daños extensivos estructurales y no estructurales.
1	Ninguno, leve o moderado	Ningún daño hasta daños no estructurales y, daños estructurales menores

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 113 Matriz de decisión de curva de vulnerabilidad por el método GESI, para las tipologías más comunes dentro del área de análisis.

Tipos de Edificaciones	0	1	2	3	4	5	6	7
Mampostería reforzada	C	D	D	E	E	F	F	F
Mampostería no reforzada (Ladrillo cocido, bloques de concreto y piedra moldeada)	E	E	F	F	G	G	G	H
Concreto reforzado	B	C	D	E	E	F	G	H
Adobe y ladrillo en adobe	N/A	N/A	G	H	H	H	H	I
Materiales livianos (láminas y materiales tradicionales como guadua)	N/A	N/A	N/A	H	H	H	H	I

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

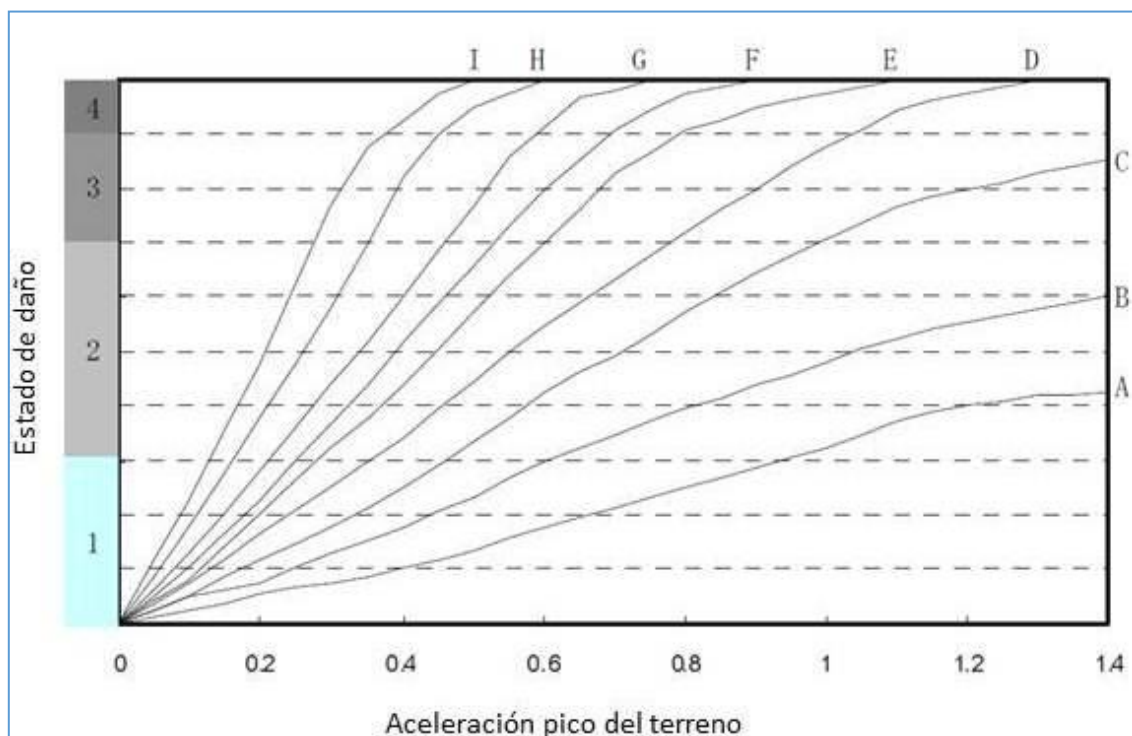


Figura 164 Curvas de vulnerabilidad adoptadas para las edificaciones según el método GESI, que para el área de estudio se toman en consideración las curvas correspondientes a mampostería reforzada (E), mampostería no reforzada (F), adobe y ladrillo de adobe (G)

Tabla 114 Parámetros obtenidos de curvas de vulnerabilidad según tipología y aceleración.

Tipología constructiva	Calidad de diseño	Calidad de construcción	Calidad de Materiales	PGA	Relación de Daño (%)	Nivel de Daño			
						1	2	3	4
Mampostería reforzada (4)	2	2	0	0,20	20,00	87,5	12,5	0	0
	2	2	0	0,25	26,00	68	32	0	0
	2	2	0	0,30	32,00	40,5	59,2	0	0
	2	2	0	0,35	38,00	18	82	0	0
	2	2	0	0,40	44,00	4,5	95,5	0	0
	2	2	0	0,45	50,75	0	99,9	0,1	0
	2	2	0	0,50	57,50	0	93,0	7,0	0

Tipología constructiva	Calidad de diseño	Calidad de construcción	Calidad de Materiales	PGA	Relación de Daño (%)	Nivel de Daño			
						1	2	3	4
	2	2	0	0,55	63,75	0	76,4	23,6	0
	2	2	0	0,60	70,00	0	50,0	50	0
	2	2	0	0,65	76,25	0	23,6	71,5	4,9
Mampostería no reforzada (5)	2	3	0	0,20	22,50	80,5	19,5	0	0
	2	3	0	0,25	29,50	52,5	47,5	0	0
	2	3	0	0,30	36,50	22,8	77,2	0	0
	2	3	0	0,35	44,00	4,5	95,5	0	0
	2	3	0	0,40	51,50	0	99,7	0,3	0
	2	3	0	0,45	58,75	0	90,4	9,6	0
	2	3	0	0,50	66,00	0	68,0	32,0	0
	2	3	0	0,55	73,00	0	36,1	62,8	1,1
	2	3	0	0,60	80,00	0	12,5	75,0	12,5
	2	3	0	0,65	85,50	0	2,5	67,4	30
Adobe y ladrillo de adobe (6)	3	2	1	0,20	28	59,5	40,5	0	0
	3	2	1	0,25	35,75	25,4	74,6	0	0
	3	2	1	0,30	43,5	5,3	94,7	0	0
	3	2	1	0,35	51,75	0	99,6	0,4	0
	3	2	1	0,40	60,00	0	87,5	12,5	0
	3	2	1	0,45	68,50	0	57,2	42,8	0
	3	2	1	0,50	77,00	0	21,1	72,8	6,1

Tipología constructiva	Calidad de diseño	Calidad de construcción	Calidad de Materiales	PGA	Relación de Daño (%)	Nivel de Daño			
						1	2	3	4
	3	2	1	0,55	86,00	0	2,0	66,0	32,0
	3	2	1	0,60	91,5	0	0	42,8	57,2
Materiales livianos (láminas y materiales tradicionales como guadua (8))	2	2	1	0,20	37,5	19,5	80,5	0	0
	2	2	1	0,25	47,75	0,6	99,4	0	0
	2	2	1	0,30	58,0	0	92,0	8	0
	2	2	1	0,35	70,0	0	50	50	0
	2	2	1	0,40	82,0	0	8,0	74,0	18,0
	2	2	1	0,45	90,0	0	0	50,0	50,0
	2	2	1	0,50	95,0	0	0	28,1	71,9
	2	2	1	0,55	97,5	0	0	19,5	80,5
	2	2	1	0,60	100	0	0	12,5	87,5

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 115 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Apía, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	225	0,5075	114
Mampostería no Reforzada	676	0,5875	397
TApía pisada, adobe, bahareque	570	0,685	390
Materiales livianos	22	0,9	20
	1493	0,617	922

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 116 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Apía, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	225	0,32	72
Mampostería no Reforzada	676	0,365	247
TApía pisada, adobe, bahareque	570	0,435	248
Materiales livianos	22	0,58	13
	1493	0,388	579

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 117 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Balboa, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	58	0,5075	30
Mampostería no Reforzada	233	0,5875	137
TApía pisada, adobe, bahareque	87	0,685	60
Materiales livianos	95	0,9	86
Subtotal	473	0,658	311

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 118. Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Balboa, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	58	0,32	19
Mampostería no Reforzada	233	0,365	85
TApía pisada, adobe, bahareque	87	0,435	38
Materiales livianos	95	0,58	55
Subtotal	473	0,416	197

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 119 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Belén de Umbría, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	783	0,5075	398
Mampostería no Reforzada	1828	0,5875	1074
TApía pisada, adobe, bahareque	568	0,685	389
Materiales livianos	212	0,9	191
	3391	0,605	2051

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 120 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Belén de Umbría, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	783	0,32	251
Mampostería no Reforzada	1828	0,365	667
TApía pisada, adobe, bahareque	568	0,435	247
Materiales livianos	212	0,58	123
	3391	0,380	1288

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 121 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Guática, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	208	0,5075	106
Mampostería no Reforzada	625	0,5875	367
TApía pisada, adobe, bahareque	252	0,685	173
Materiales livianos	8	0,9	7
	1093	0,597	653

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 122 . Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Guática, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	208	0,32	67
Mampostería no Reforzada	625	0,365	228
TApía pisada, adobe, bahareque	252	0,435	110
Materiales livianos	8	0,58	5
	1093	0,374	409

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 123 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de La Virginia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	839	0,5075	426
Mampostería no Reforzada	2516	0,5875	1478
TApía pisada, adobe, bahareque	90	0,685	62
Materiales livianos	114	0,9	103
	3559	0,581	2068

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 124 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de La Virginia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	839	0,32	268
Mampostería no Reforzada	2516	0,365	918
TApía pisada, adobe, bahareque	90	0,435	39
Materiales livianos	114	0,58	66
	3559	0,363	1292

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 125 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Mistrató, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	141	0,5075	72
Mampostería no Reforzada	564	0,5875	331
TApía pisada, adobe, bahareque	395	0,685	271
Materiales livianos	14	0,9	13
	1114	0,616	686

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 126 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Mistrató, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,35 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	141	0,32	45
Mampostería no Reforzada	564	0,365	206
TApía pisada, adobe, bahareque	395	0,435	172
Materiales livianos	14	0,58	8
	1114	0,387	431

Tabla 127 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Santuario, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	269	0,5075	137
Mampostería no Reforzada	808	0,5875	475
TApía pisada, adobe, bahareque	497	0,685	340
Materiales livianos	327	0,9	294
	1901	0,655	1246

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 128 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Santuario, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	269	0,32	86
Mampostería no Reforzada	808	0,365	295
TApía pisada, adobe, bahareque	497	0,435	216
Materiales livianos	327	0,58	190
	1901	0,414	787

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 129 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Anserma, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	407	0,5075	206
Mampostería no Reforzada	949	0,5875	558
TApía pisada, adobe, bahareque	774	0,685	530
Materiales livianos	31	0,9	28
	2160	0,612	1322

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 130 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Anserma, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	407	0,32	130
Mampostería no Reforzada	949	0,365	346
TApía pisada, adobe, bahareque	774	0,435	337
Materiales livianos	31	0,58	18
	2160	0,385	831

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 131 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Belalcázar, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	69	0,5075	35
Mampostería no Reforzada	207	0,5875	121
TApía pisada, adobe, bahareque	343	0,685	235
Materiales livianos	31	0,9	28
	649	0,645	419

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 132 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Belalcázar, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	69	0,32	22
Mampostería no Reforzada	207	0,365	75
TApía pisada, adobe, bahareque	343	0,435	149
Materiales livianos	31	0,58	18
	649	0,407	264

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 133 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Risaralda, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	32	0,5075	16
Mampostería no Reforzada	94	0,5875	55
TApía pisada, adobe, bahareque	169	0,685	116
Materiales livianos	4	0,9	3
	299	0,638	191

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 134 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Risaralda, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	32	0,32	10
Mampostería no Reforzada	94	0,365	34
TApía pisada, adobe, bahareque	169	0,435	74
Materiales livianos	4	0,58	2
	299	0,403	120

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 135 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de San José, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	37	0,5075	19
Mampostería no Reforzada	110	0,5875	65
TApía pisada, adobe, bahareque	107	0,685	73
Materiales livianos	8	0,9	7
	262	0,626	164

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 136 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de San José, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	37	0,32	12
Mampostería no Reforzada	110	0,365	40
TApía pisada, adobe, bahareque	107	0,435	46
Materiales livianos	8	0,58	5
	262	0,394	103

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 137 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Viterbo, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	559	0,5075	284
Mampostería no Reforzada	1678	0,5875	986
TApía pisada, adobe, bahareque	291	0,685	199
Materiales livianos	81	0,9	73
	2609	0,591	1542

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 138 Estimación de exposición de edificaciones para la cabecera municipal de Viterbo, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	559	0,32	179
Mampostería no Reforzada	1678	0,365	612
TApía pisada, adobe, bahareque	291	0,435	127
Materiales livianos	81	0,58	47
	2609	0,370	965

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 139 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Apía, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	199	0,5075	101
Mampostería no Reforzada	597	0,5875	351
TApía pisada, adobe, bahareque	784	0,685	537
Materiales livianos	215	0,9	194
	1795	0,659	1182

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 140 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Apía, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	199	0,32	64
Mampostería no Reforzada	597	0,365	218
Tapía pisada, adobe, bahareque	784	0,435	341
Materiales livianos	215	0,58	125
	1795	0,416	747

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 141 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Balboa, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	31	0,5075	16
Mampostería no Reforzada	93	0,5875	55
Tapía pisada, adobe, bahareque	60	0,685	41
Materiales livianos	54	0,9	49
	238	0,673	160

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 142 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Balboa, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

BALBOA	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	31	0,32	10
Mampostería no Reforzada	93	0,365	34
Tapía pisada, adobe, bahareque	60	0,435	26
Materiales livianos	54	0,58	31
	238	0,426	102

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 143 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Belén de Umbria, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	406	0,5075	206
Mampostería no Reforzada	1218	0,5875	716
TApía pisada, adobe, bahareque	1435	0,685	983
Materiales livianos	169	0,9	152
	3228	0,637	2057

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 144 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Belén de Umbria, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	406	0,32	130
Mampostería no Reforzada	1218	0,365	445
TApía pisada, adobe, bahareque	1435	0,435	624
Materiales livianos	169	0,58	98
	3228	0,402	1297

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 145 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Guática, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	269	0,5075	136
Mampostería no Reforzada	806	0,5875	474
TApía pisada, adobe, bahareque	1034	0,685	709
Materiales livianos	297	0,9	267
	2406	0,659	1586

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 146 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Guática, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	269	0,32	86
Mampostería no Reforzada	806	0,365	294
TApía pisada, adobe, bahareque	1034	0,435	450
Materiales livianos	297	0,58	172
	2406	0,417	1002

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 147 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de La Celia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	15	0,5075	7
Mampostería no Reforzada	44	0,5875	26
TApía pisada, adobe, bahareque	91	0,685	62
Materiales livianos	25	0,9	22
	175	0,676	118

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 148 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de La Celia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	15	0,32	5
Mampostería no Reforzada	44	0,365	16
TApía pisada, adobe, bahareque	91	0,435	40
Materiales livianos	25	0,58	14
	175	0,428	75

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 149 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de La Virginia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	8	0,5075	4
Mampostería no Reforzada	23	0,5875	14
TApía pisada, adobe, bahareque	8	0,685	5
Materiales livianos	5	0,9	5
	43	0,627	27

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 150 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de La Virginia, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	8	0,32	2
Mampostería no Reforzada	23	0,365	8
TApía pisada, adobe, bahareque	8	0,435	3
Materiales livianos	5	0,58	3
	43	0,395	17

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 151 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Mistrató, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	17	0,5075	9
Mampostería no Reforzada	52	0,5875	30
TApía pisada, adobe, bahareque	108	0,685	74
Materiales livianos	137	0,9	123
	313	0,753	236

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 152 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Mistrató, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Mampostería Reforzada	17	0,32	6
Mampostería no Reforzada	52	0,365	19
TApía pisada, adobe, bahareque	108	0,435	47
Materiales livianos	137	0,58	79
	313	0,480	150

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 153 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Santuario, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	270	0,5075	137
Mampostería no Reforzada	809	0,5875	475
TApía pisada, adobe, bahareque	587	0,685	402
Materiales livianos	207	0,9	186
	1873	0,641	1201

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 154 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Santuario, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	270	0,32	86
Mampostería no Reforzada	809	0,365	295
TApía pisada, adobe, bahareque	587	0,435	255
Materiales livianos	207	0,58	120
	1873	0,404	757

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 155 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Anserma, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	138	0,5075	70
Mampostería no Reforzada	414	0,5875	243
TApía pisada, adobe, bahareque	668	0,685	457
Materiales livianos	84	0,9	76
	1304	0,649	846

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 156 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Anserma, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	138	0,32	44
Mampostería no Reforzada	414	0,365	151
TApía pisada, adobe, bahareque	668	0,435	290
Materiales livianos	84	0,58	49
	1304	0,410	534

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 157 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Belalcázar, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	96	0,5075	49
Mampostería no Reforzada	289	0,5875	170
TApía pisada, adobe, bahareque	333	0,685	228
Materiales livianos	64	0,9	58
	782	0,645	504

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 158 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Belalcázar, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	96	0,32	31
Mampostería no Reforzada	289	0,365	106
TApía pisada, adobe, bahareque	333	0,435	145
Materiales livianos	64	0,58	37
	782	0,407	318

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 159 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Riosucio, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	255	0,5075	130
Mampostería no Reforzada	766	0,5875	450
TApía pisada, adobe, bahareque	1417	0,685	971
Materiales livianos	369	0,9	332
	2807	0,671	1882

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 160 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Riosucio, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	255	0,32	82
Mampostería no Reforzada	766	0,365	280
TApía pisada, adobe, bahareque	1417	0,435	616
Materiales livianos	369	0,58	214
	2807	0,425	1192

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 161 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Risaralda, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	50	0,5075	26
Mampostería no Reforzada	151	0,5875	89
TApía pisada, adobe, bahareque	161	0,685	110
Materiales livianos	11	0,9	10
	373	0,628	235

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 162 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Risaralda, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	50	0,32	16
Mampostería no Reforzada	151	0,365	55
TApía pisada, adobe, bahareque	161	0,435	70
Materiales livianos	11	0,58	6
	373	0,395	148

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 163 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de San José, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	87	0,5075	44
Mampostería no Reforzada	262	0,5875	154
TApía pisada, adobe, bahareque	258	0,685	177
Materiales livianos	114	0,9	103
	721	0,662	477

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 164 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de San José, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	87	0,32	28
Mampostería no Reforzada	262	0,365	96
TApía pisada, adobe, bahareque	258	0,435	112
Materiales livianos	114	0,58	66
	721	0,419	302

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 165 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Viterbo, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,45 g

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	58	0,5075	30
Mampostería no Reforzada	175	0,5875	103
TApía pisada, adobe, bahareque	78	0,685	53
Materiales livianos	28	0,9	25
	339	0,622	211

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 166 Estimación de exposición de edificaciones para el sector rural del municipio de Viterbo, en la cuenca del Río Risaralda a un escenario de 0,30 g.

Tipología	Total	Relación de daño	Nivel de daño
Mampostería Reforzada	58	0,32	19
Mampostería no Reforzada	175	0,365	64
TApía pisada, adobe, bahareque	78	0,435	34
Materiales livianos	28	0,58	16
	339	0,391	133

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de líneas vitales ante la ocurrencia de eventos sísmicos y dentro de un contexto de análisis regional, se dispone de limitados estudios de caso, aplicables a infraestructura de abastecimiento de agua, vías, poliductos y gasoductos, a través de metodologías simples, como es la información del Proyecto Radius (Kaneko, F. y Sun, J.), donde se establecen relaciones o proporciones de daño conforme a la intensidad de los eventos sísmicos, teniendo en cuenta los potenciales efectos por esfuerzos y deformaciones transitorias inducidos por la señal sísmica vibratoria, así como en alguna medida desplazamientos permanentes o efectos secundarios por deslizamientos principalmente.

Tabla 167 Datos para curvas de daño para sistema de abastecimiento de agua, atribuidas en el programa y proyecto Radius, según metodología simplificada para daño por sismos según Intensidad de Mercalli Modificada

MMI	Rango Aceleración (g)		Líneas de distribución y tanques de acueducto	Plantas de tratamiento acueducto
IV		0,03	0,00	0,01
V	0,03	0,08	0,01	0,15
VI	0,08	0,15	0,03	1,09
VII	0,15	0,25	0,69	3,33
VIII	0,25	0,45	2,00	6,67
IX	0,45	0,6	5,21	13,38
X	0,6	0,8	9,13	20,59
XI	0,8	0,9	12,00	24,00
XII	0,9		15,00	28,00

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

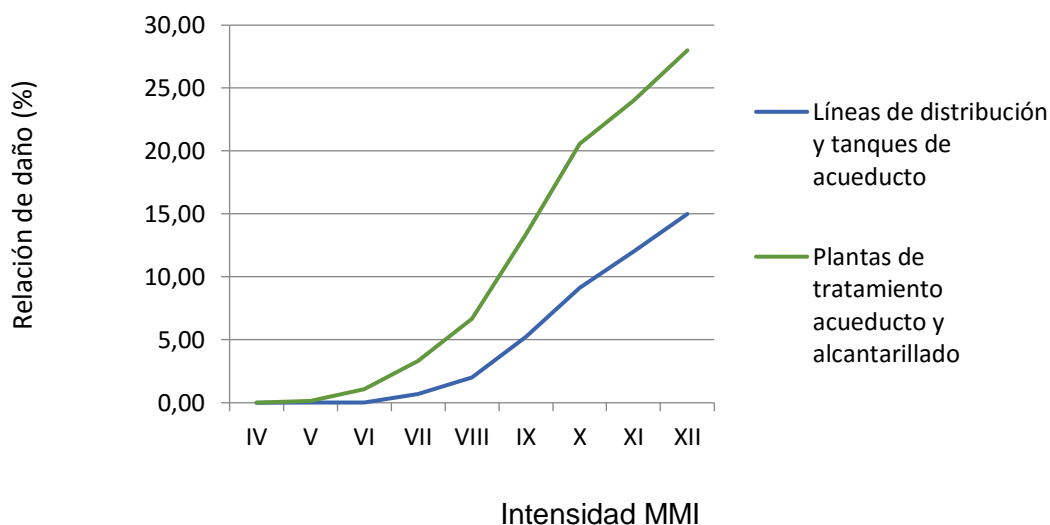


Figura 165 Curvas de vulnerabilidad para diversas líneas vitales de acueducto, conforme al proyecto Radius

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 168 Datos para curvas de daño para vías, atribuidas en el programa y proyecto Radius, según metodología simplificada para daño por sismos según Intensidad de Mercalli Modificada

MMI	Rango Aceleración (g)		Vías locales	Vías principales
IV		0,03	0,00	0,00
V	0,03	0,08	0,01	0,01
VI	0,08	0,15	0,25	0,03
VII	0,15	0,25	1,95	1,29
VIII	0,25	0,45	5,39	3,00
IX	0,45	0,6	13,55	5,80
X	0,6	0,8	22,12	11,05
XI	0,8	0,9	28,00	13,50
XII	0,9		30,00	15,00

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

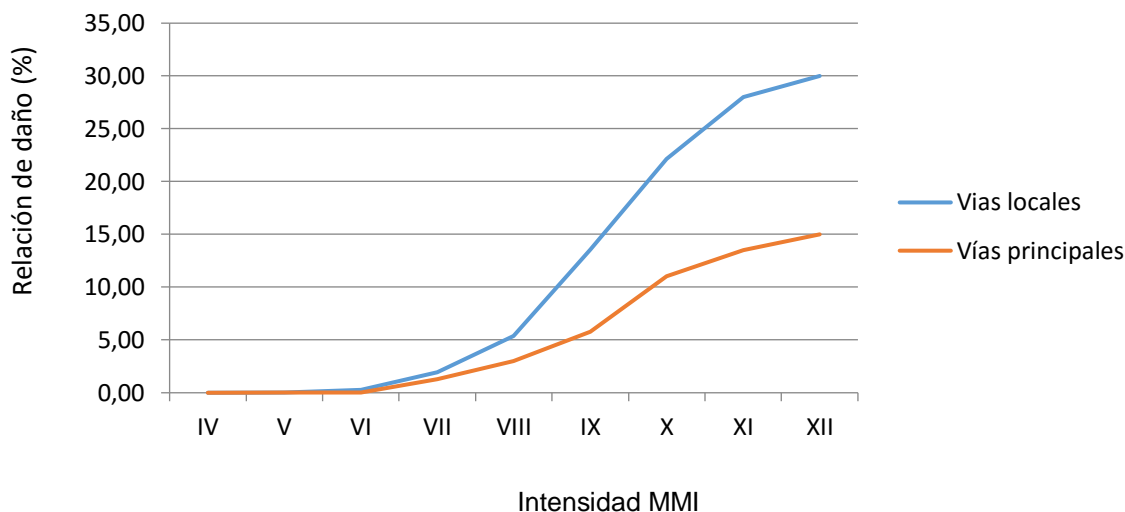


Figura 166 Curvas de vulnerabilidad para diversas líneas vitales, conforme al proyecto Radius

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.6.4. Volcánica.

En lo referente a la vulnerabilidad y riesgo volcánico, y teniendo en cuenta que el principal volcán de referencia corresponde al Volcán Nevado del Ruiz, se puede aceptar que la condición de amenaza hace alusión a caída piroclástica, a distancias mayores a 60 km, con condiciones de depositación de bajos espesores.

Conforme a los datos de dispersión de cenizas, es evidente que en general la amenaza por caída piroclástica, involucra en general toda el área de la Cuenca del Río

Risaralda, y que, bajo ciertas consideraciones de viento, se pueden presentar afectaciones sociales y económicas. Se descartan impactos por caída de fragmentos balísticos, flujos de lava, lahares y flujos piroclásticos.

4.6.4.1. Impactos por caída de cenizas volcánicas:

En relación con los diversos parámetros que rigen la dispersión de cenizas volcánicas, las principales formas de daño, corresponde al oscurecimiento de amplias zonas, con los correspondientes efectos secundarios que se deriven, y que incluyen igualmente la afectación y alteración del clima local y el régimen de lluvias, situaciones que conllevan a múltiples afectaciones.

En dependencia del tiempo y volúmenes eruptivos, podrán ocurrir efectos sobre la salud humana, principalmente por problemas de orden respiratorio, intoxicaciones y afectación de mucosas a nivel de ojos, boca y nariz, así como afectación de animales silvestres y domésticos, y donde pueden resultar muy significativos los impactos sobre las actividades agropecuarias, cultivos y ganado principalmente, por la dispersión de particular finas, y por probables efectos contaminantes sobre el recurso hídrico.

Esto puede conducir a pérdida extensa de cobertura vegetal y desprotección del suelo, dando lugar al incremento de diversos procesos, tales como el arrastre de sedimentos y de la erosión, incremento de carga sólida en cauces y eventualmente la generación de procesos de remoción en masa y flujos, lo que se puede ver acelerado o generado por la obstrucción de drenajes naturales y artificiales.

Derivado de los depósitos de caída piroclástica, se pueden afectar diversas obras de infraestructura y cubiertas de edificaciones, darse daños por sobrecarga, así como afectaciones por corrosión a elementos metálicos, incluyendo afectación de redes de servicios públicos de luz, acueducto y alcantarillado, y significativa afectación del transporte aéreo y terrestre, en particular bajo condiciones de humedad.

En razón de aportes de sedimentos sobre las cuencas, se puede igualmente producir contaminación de fuentes hídricas, incremento de carga sólida, y afectación de fuentes abastecedoras de acueducto, donde pueden generarse intoxicaciones.

Para las caídas piroclásticas, la ocurrencia de efectos y afectaciones para la cuenca, dependerán de las condiciones de los vientos al momento del proceso eruptivo (dirección y velocidad), y por supuesto del volumen del material eyectado y a la altura de la columna eruptiva.

La afectación de la funcionalidad de la infraestructura en relación con la contaminación de fuentes de agua por sólidos y químicos, los daños por sobrecarga en estructuras livianas y líneas de conducción eléctrica, y la corrosión sobre elementos metálicos puede ser una de las principales consideraciones a tener presentes para el área de la cuenca, así como la afectación del transporte terrestre y aéreo.

Equipos de ventilación y calefacción y sistemas de computador son vulnerables a sufrir daño importante por el efecto de las partículas abrasivas, en consideración de su mecanismo y exposición.

4.6.5. Incendios.

En el análisis de vulnerabilidad para incendios se siguió la misma metodología utilizada para Fenómenos de Remoción en masa, la cual tiene en cuenta las siguientes etapas como métodos de análisis para el presente capítulo:

- ☐ Determinación de los elementos expuestos presentes en las áreas de amenaza definidas previamente mediante trabajo de campo, fotointerpretación y por la cartografía base existente.
- ☐ Análisis de la exposición de dichos elementos en cada una de las zonas según el grado de amenaza presente.
- ☐ Evaluación de la fragilidad.
- ☐ Análisis de la resiliencia.
- ☐ Evaluación de la Vulnerabilidad y definición del índice de vulnerabilidad final.

Con base a la intersección de elementos expuestos tanto puntuales, lineales como polígonos en zonas de amenaza, se procedió a cuantificar en términos de área, longitud o unidad, los elementos expuestos, los resultados de este análisis se presentan en las siguientes tablas.

4.6.5.1. Análisis comparativo de daños.

A continuación, se hará un análisis de cada uno de los elementos expuestos, identificando cuales son las principales.

Vías: presenta una afectación total en la cuenca de 1652577,17 m, estas vías nacionales están directamente relacionadas con áreas susceptibles, pero de igual modo, se encuentran en zonas topográficas bajas, principalmente hacia la parte de la Virginia y el municipio de Viterbo en la cuenca baja, lo que podría afectarla directamente, como es el caso de la vía pacífico 3 y la vía hacia el departamento del Quibdó,

Infraestructura: para el análisis de esta, se hace un análisis detallado apoyado de sistemas de información geográficos y programas de geomántica, a partir del cual se llega a una escala detallada, de cuantas son las vivienda o construcciones afectadas en estas zonas, es preciso destacar el municipio de Santuario, donde se presenta la mayor recurrencia de este tipo de eventos, lo que puede involucrar una afectación total de 5614 incluidas acá, viviendas, establecimientos educativos, hospitales, y por consiguiente una población de 22456 personas con base en una densidad poblacional de 4 personas/vivienda y en datos de población obtenidos en el componente diagnostico social., y en específico hacia el sector de cerritos.



Puentes: para el análisis de esta variable, se tiene en cuenta los cruces entre vías y drenajes secundarios y terciarios. Lo que por sus condiciones físicas ya que la mayoría de estos en algunos sectores son en madera, pueden llegar a ser agravantes en el territorio. Al igual que en infraestructura, se hizo un análisis detallado, en donde se evidenciaron 67 cruces entre ambas variables.

Tabla 169 afectación vial en zonas de alta y media amenaza

nivel de amenaza	tipo de vía							
	1	2	3	4	5	6	7	Total, general
alto	27953,94677	1698,97827	3793,98516	20206,1415	47989,3864	59071,373	426314,677	587028,4877
medio	46473,94089	4488,48876	10264,1126	72782,176	70165,4197	132040,641	729333,919	1065548,698

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 170 afectación de viviendas y puentes en zonas de alta y media amenaza

nivel de amenaza	viviendas	puentes
alto	1894	22
medio	3720	43

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 171 afectación de otras áreas de protección ambiental

otras áreas de interés ambiental	hectáreas	porcentaje
alto	642840,37	20,420
ÁREA DE INTERÉS AMBIENTAL	24996,86	0,794
ÁREA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS Y BIODIVERSIDAD	12498,43	0,397
ÁREAS AFERENTES	111216,61	3,533
ÁREAS DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN	18113,02	0,575
ÁREAS DE INTERÉS AMBIENTAL	30611,45	0,972
ÁREAS DE RECUPERACIÓN DE BIODIVERSIDAD	30611,45	0,972
BOSQUE PROTECTOR	18113,02	0,575
BOSQUE PROTECTOR PRODUCTOR	18113,02	0,575
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	37495,29	1,191
MICROCUENCAS	37495,29	1,191
NACIMIENTO RONDAS Y FAJAS PROTECTORAS	217356,21	6,904
SUELO DE PROTECCIÓN	12498,43	0,397
ZONA DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN	18113,02	0,575
ZONA DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA	24996,86	0,794
ZONA DE PROTECCIÓN RN	18113,02	0,575
ZONA PROTECCIÓN RN	12498,43	0,397
medio	2505315,39	79,580
ÁREA DE INTERÉS AMBIENTAL	62632,88	1,990
ÁREA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS Y BIODIVERSIDAD	31316,44	0,995
ÁREAS AFERENTES	313164,42	9,948
ÁREAS DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN	62632,88	1,990
ÁREAS DE INTERÉS AMBIENTAL	62632,88	1,990
ÁREAS DE RECUPERACIÓN DE BIODIVERSIDAD	62632,88	1,990

ÁREAS RECUPERACIÓN DE SUELOS DE BIODIVERSIDAD	31316,44	0,995
BOSQUE PROTECTOR	31316,44	0,995
BOSQUE PROTECTOR PRODUCTOR	31316,44	0,995
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	344480,87	10,942
MICROCUENCAS	344480,87	10,942
NACIMIENTO RONDAS Y FAJAS PROTECTORAS	313164,42	9,948
RELICTOS DE BOSQUE	62632,88	1,990
RIESGO POR DESLIZAMIENTO	62632,88	1,990
SUELO DE PROTECCIÓN	31316,44	0,995
SUELOS protección DEL RECURSO HÍDRICO	62632,88	1,990
ZONA DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN	31316,44	0,995
ZONA DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA	187898,65	5,969
ZONA DE protección RN	62632,88	1,990
ZONA DE REGENERACIÓN Y MEJORAMIENTO	62632,88	1,990
ZONA protección RN	31316,44	0,995
ZONAS AFERENTES DE ACUEDUCTOS MUNICIPALES	93949,33	2,984
ZONAS DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA	62632,88	1,990
ZONAS REHABILITACIÓN ECOLÓGICA	62632,88	1,990
Total general	3148155,76	100

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 172 afectación de áreas de protección ambiental SINAP

áreas de protección ambiental	hectáreas	porcentaje
alto	48724,46	20,592
Distrito de Manejo Integrado	48724,46	20,592
medio	187898,65	79,408
Distrito de Manejo Integrado	156582,21	66,174
Parque Regional Natural	31316,44	13,235
Total general	236623,1178	100,00%

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

4.6.6. Inundaciones.

En el análisis de vulnerabilidad para Inundaciones se siguió la misma metodología utilizada para Fenómenos de Remoción en masa, la cual tiene en cuenta las siguientes etapas como métodos de análisis para el presente capítulo:

- Determinación de los elementos expuestos presentes en las áreas de amenaza definidas previamente mediante trabajo de campo, fotointerpretación y por la cartografía base existente.
- Análisis de la exposición de dichos elementos en cada una de las zonas según el grado de amenaza presente.
- Evaluación de la fragilidad.
- Análisis de la resiliencia.
- Evaluación de la Vulnerabilidad y definición del índice de vulnerabilidad final.

4.6.6.1. Análisis comparativo de daños.

Debido a las condiciones y zonas donde se han presentado estos eventos, y con base en el análisis de amenaza anteriormente realizado, estos ha afectado principalmente a vías de origen secundario y terciario, sin descartar una gran influencia de daño incipiente hacia el sector urbano de Mistrató, sobre los barrios afluentes, y tributarios que caen en el río mapa, el total de vías incluidas principales, secundarias y terciarias cubre un total de 131923,16 m sobre la cuenca, principalmente hacia la parte baja.

Con base en los niveles del río el sector de Mistrató sobre el nacimiento del río mapa presentando inundaciones como también avenidas torrenciales, se presenta principalmente influencia sobre tejido urbano continuo y zonas de interés ambiental.

Infraestructura: para el análisis de esta, se hace un análisis detallado apoyado de sistemas de información geográficos y programas de geomática, a partir del cual se llega a una escala detallada, de cuantas son las vivienda o construcciones afectadas en estas zonas, es preciso destacar los cascos urbanos de los municipios de la Virginia, Viterbo que presentan afectación total y parcial respectivamente.

Es preciso aclarar que a nivel de cuenca se ven afectados 251 infraestructuras incluidas acá, viviendas, establecimientos educativos, hospitales, y por consiguiente una población aproximada de 3757.23 personas con base en una densidad poblacional de 4 personas/vivienda.

Para el análisis de áreas de protección ambiental. Estas no son de interés de análisis por parte del SINAP, son áreas de interés ambiental más regionales ubicadas sobre la cuenca baja en los municipios de Viterbo, La Virginia y el municipio de Santuario parte baja. Afectando en su totalidad 626.95 Ha. De áreas de interés ambiental.

Con base a la intersección de elementos expuestos tanto puntuales, lineales como polígonos en zonas de amenaza, se procedió a cuantificar en términos de área, longitud o unidad, los elementos expuestos, los resultados de este análisis se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 173 longitud de vías afectadas.

AMENAZA	TIPO DE VÍA	LONGITUD (m)
Alta	1	3816,37
	3	269,69
	4	879,26
	5	994,92
	6	1831,62
	7	21046,11
Total Alta		28837,96
Baja	1	9919,56
	3	1145,50
	4	4818,65
	5	4565,78
	6	3408,64
	7	36628,95
Total Baja		60487,07
Media	1	6695,60

AMENAZA	TIPO DE VÍA	LONGITUD (m)
	3	761,84
	4	3723,14
	5	1954,77
	6	798,18
	7	28664,60
Total, Media		42598,12
Total, general		131923,16

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

Tabla 174 cantidad de viviendas, puentes y bocatomas.

AMENAZA	VIVIENDAS	PUENTES	BOCATOMAS
Alta	70	5	18
Baja	113	3	3
Media	68	5	1
Total general	251	13	22

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

Tabla 175 Población afectada

MUNICIPIO	POBLACIÓN
VITERBO	14,14
LA VIRG	3740,88
SANTUARIO (LA MARÍA)	2,22
Total general	3757,23

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

Tabla 176 vegetación afectada.

TIPO DE VEGETACIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Arbustal	Alta	12,30	0,30%
	Baja	19,20	0,46%
	Media	16,14	0,39%
Total Arbustal		47,64	1,15%
Bosque de galería y/o ripario	Alta	182,08	4,40%
	Baja	19,61	0,47%
	Media	23,52	0,57%

TIPO DE VEGETACIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Total Bosque de galería y/o ripario		225,20	5,45%
Bosque fragmentado	Alta	15,45	0,37%
	Baja	2,29	0,06%
	Media	6,79	0,16%
Total Bosque fragmentado		24,53	0,59%
Cultivos permanentes arbustivos	Alta	11,16	0,27%
	Baja	3,38	0,08%
	Media	8,03	0,19%
Total Cultivos permanentes arbustivos		22,56	0,55%
Cultivos permanentes herbáceos	Alta	1117,30	27,02%
	Baja	514,86	12,45%
	Media	1113,77	26,93%
Total Cultivos permanentes herbáceos		2745,92	66,40%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Alta	36,10	0,87%
	Baja	28,57	0,69%
	Media	58,42	1,41%
Total Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		123,09	2,98%
Mosaico de pastos con espacios naturales	Alta	20,06	0,48%
	Baja	7,36	0,18%
	Media	9,96	0,24%
Total Mosaico de pastos con espacios naturales		37,38	0,90%
Mosaico de pastos y cultivos	Alta	208,99	5,05%
	Baja	64,26	1,55%
	Media	126,94	3,07%
Total Mosaico de pastos y cultivos		400,20	9,68%
Pastos arbolados	Alta	24,11	0,58%
	Baja	23,99	0,58%
	Media	45,38	1,10%
Total Pastos arbolados		93,47	2,26%
Pastos enmalezados	Alta	15,61	0,38%
	Baja	5,15	0,12%
	Media	12,78	0,31%
Total Pastos enmalezados		33,54	0,81%
Pastos limpios	Alta	73,67	1,78%
	Baja	158,35	3,83%
	Media	124,71	3,02%

TIPO DE VEGETACIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Total Pastos limpios		356,73	8,63%
Tierras desnudas y degradadas	Alta	10,26	0,25%
	Baja	2,80	0,07%
	Media	7,52	0,18%
Total Tierras desnudas y degradadas		20,57	0,50%
Vegetación secundaria o en transición	Alta	1,28	0,03%
	Baja	2,46	0,06%
	Media	0,94	0,02%
Total Vegetación secundaria o en transición		4,68	0,11%
Total general		4135,51	100,00%

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

Tabla 177 otro tipo de coberturas

OTRO TIPO DE COBERTURA	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Cuerpos de agua artificiales	Alta	7,05	1,64%
	Baja	0,47	0,11%
	Media	0,39	0,09%
Total Cuerpos de agua artificiales		7,91	1,84%
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Baja	0,02	0,01%
	Media	1,26	0,29%
Total Lagunas, lagos y ciénagas naturales		1,29	0,30%
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Alta	3,87	0,90%
	Baja	8,24	1,92%
	Media	9,94	2,32%
Total Red vial, ferroviaria y terrenos asociados		22,05	5,14%
Ríos (50 m)	Alta	260,16	60,64%
	Baja	0,53	0,12%
	Media	9,27	2,16%
Total Ríos (50 m)		269,96	62,93%
Tejido urbano continuo	Alta	18,75	4,37%
	Baja	4,92	1,15%
	Media	61,74	14,39%
Total Tejido urbano continuo		85,41	19,91%
Tejido urbano discontinuo	Alta	7,56	1,76%
	Baja	3,77	0,88%
	Media	12,12	2,82%
Total Tejido urbano discontinuo		23,44	5,46%
Zonas de extracción minera	Alta	8,89	2,07%
	Baja	1,92	0,45%
	Media	2,29	0,53%
Total Zonas de extracción minera		13,11	3,05%
Zonas industriales o comerciales	Alta	0,49	0,11%
	Baja	4,79	1,12%
	Media	0,56	0,13%
Total Zonas industriales o comerciales		5,84	1,36%
Total general		429,00	100,00%

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

Tabla 178 Áreas de protección ambiental

OTRAS ÁREAS DE PROTECCIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
ÁREA DE INTERÉS AMBIENTAL	Baja	2,40	0,38%
	Media	3,28	0,52%
Total ÁREA DE INTERÉS AMBIENTAL		5,68	0,91%
ÁREA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS Y BIODIVERSIDAD	Alta	5,84	0,93%
	Baja	3,69	0,59%
	Media	13,59	2,17%
Total ÁREA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS Y BIODIVERSIDAD		23,12	3,69%
ÁREAS DE INTERÉS AMBIENTAL	Alta	5,33	0,85%
	Baja	0,08	0,01%
	Media	4,51	0,72%
Total ÁREAS DE INTERÉS AMBIENTAL		9,92	1,58%
ÁREAS DE RECUPERACIÓN DE BIODIVERSIDAD	Alta	42,55	6,79%
	Baja	13,31	2,12%
	Media	18,79	3,00%
Total ÁREAS DE RECUPERACIÓN DE BIODIVERSIDAD		74,65	11,91%
BOSQUE PROTECTOR PRODUCTOR	Alta	6,83	1,09%
	Baja	3,70	0,59%
	Media	23,53	3,75%
Total BOSQUE PROTECTOR PRODUCTOR		34,06	5,43%
NACIMIENTO RONDAS Y FAJAS PROTECTORAS	Alta	340,13	54,25%
	Baja	21,72	3,46%
	Media	117,66	18,77%
Total NACIMIENTO RONDAS Y FAJAS PROTECTORAS		479,51	76,48%
Total general		626,95	100,00%

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.6.7. Movimientos en masa.

Para el análisis de vulnerabilidad inicialmente surtieron las siguientes etapas como métodos de análisis para el presente capítulo:

- Determinación de los elementos expuestos presentes en las áreas de amenaza definidas previamente mediante trabajo de campo, fotointerpretación y por la cartografía base existente.
 - Análisis de la exposición de dichos elementos en cada una de las zonas según el grado de amenaza presente.
 - Evaluación de la fragilidad.
 - Análisis de la resiliencia.
- Evaluación de la Vulnerabilidad y definición del índice de vulnerabilidad final

4.6.7.1. Análisis comparativo de daños.

A continuación, se hará un análisis de cada uno de los elementos expuestos, identificando cuales son las principales.

Vías: presenta una afectación total en la cuenca de 3545514,26 m, estas vías nacionales están directamente relacionadas con áreas susceptible, lo que podría afectar directamente las movilidades viales de los municipios de Risaralda y Caldas, como también hacia el occidente colombiano, tal es el caso, de la vía que conlleva hacia el departamento de Choco,

Bocatomas y captaciones: presentan una densidad alta sobre la cuenca, representadas en 127 bocatomas y captaciones, siendo estas de diferente caudal y por consiguiente, de diferentes usos.

Infraestructura: para el análisis de esta, se hace un análisis detallado apoyado de sistemas de información geográficos y programas de geomántica, a partir del cual se llega a una escala detallada, de cuantas son las vivienda o construcciones afectadas en estas zonas, es preciso destacar los cascos urbanos de los municipios de Santuario, Belén de Umbría, Mistrató, Guática, y Apía, que cubre el 100% del área susceptible.

Es preciso aclarar que a nivel de cuenca se ven afectados 12791 infraestructuras incluidas acá, viviendas, establecimientos educativos, hospitales, y por consiguiente una población aproximada de 39147.6 personas con base en una densidad poblacional de 4 personas/vivienda.

Puentes: para el análisis de esta variable, se tiene en cuenta los cruces entre vías y drenajes secundarios y terciarios. Lo que, por sus condiciones, de torrencialidad en algunos sectores, pueden llegar a ser agravantes en el territorio. Al igual que en infraestructura, se hizo un análisis detallado, en donde se evidenciaron 197 cruces entre ambas variables.

Tabla 179 afectación total de las vías para la cuenca

AMENAZA	TIPO DE VÍA	LONGITUD (M)	PORCENTAJE
Alta	1	28430,57	0,80%
	2	5783,58	0,16%
	3	4601,22	0,13%
	4	32503,93	0,92%
	5	45789,66	1,29%
	6	51216,40	1,44%
	7	355812,74	10,04%
Total, Alta		524138,12	14,78%
Baja	1	113653,18	3,21%
	2	22016,94	0,62%
	3	18122,16	0,51%
	4	131609,19	3,71%
	5	171697,32	4,84%
	6	332193,54	9,37%
	7	1332001,16	37,57%
Total Baja		2121293,49	59,83%
Media	1	36301,34	1,02%
	2	12255,25	0,35%
	3	6392,11	0,18%
	4	49313,08	1,39%
	5	67694,98	1,91%
	6	99679,03	2,81%
	7	628446,88	17,73%
Total, Media		900082,66	25,39%
Total, general		3545514,26	100,00%

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda



Figura 167 afectación vial en zona de alta amenaza, vía La Virginia – Santuario.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 180 áreas de usos del suelo (tipo de vegetación) en las zonas de amenaza Media y Alta.

TIPO DE VEGETACIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Arbustal	Alta	256,57	0,21%
	Baja	544,13	0,44%
	Media	239,63	0,19%
Total Arbustal		1040,32	0,85%
Bosque abierto	Alta	3,38	0,00%
	Baja	6,78	0,01%
	Media	1,77	0,00%
Total Bosque abierto		11,93	0,01%
Bosque de galería y/o ripario	Alta	604,69	0,49%
	Baja	2886,20	2,35%
	Media	845,70	0,69%
Total Bosque de galería y/o ripario		4336,59	3,53%
Bosque denso	Alta	11485,57	9,34%
	Baja	10001,58	8,13%
	Media	8108,44	6,59%
Total Bosque denso		29595,59	24,07%
Bosque fragmentado	Alta	880,18	0,72%

TIPO DE VEGETACIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
	Baja	1209,24	0,98%
	Media	918,06	0,75%
Total Bosque fragmentado		3007,48	2,45%
Cultivos agroforestales	Alta	1857,48	1,51%
	Baja	1546,55	1,26%
	Media	1824,48	1,48%
Total Cultivos agroforestales		5228,51	4,25%
Cultivos confinados	Alta	2,68	0,00%
	Baja	2,87	0,00%
	Media	2,18	0,00%
Total Cultivos confinados		7,74	0,01%
Cultivos permanentes arbóreos	Alta	1,51	0,00%
	Baja	1,27	0,00%
	Media	2,45	0,00%
Total Cultivos permanentes arbóreos		5,22	0,00%
Cultivos permanentes arbustivos	Alta	4376,46	3,56%
	Baja	8558,36	6,96%
	Media	6641,99	5,40%
Total Cultivos permanentes arbustivos		19576,81	15,92%
Cultivos permanentes herbáceos	Alta	4,50	0,00%
	Baja	5605,31	4,56%
	Media	7,07	0,01%
Total Cultivos permanentes herbáceos		5616,88	4,57%
Hortalizas	Alta	10,19	0,01%
	Baja	1426,33	1,16%
	Media	894,97	0,73%
Total Mosaico de cultivos		3085,75	2,51%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Alta	2527,89	2,06%
	Baja	6180,82	5,03%
	Media	3170,75	2,58%
Total Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		11879,46	9,66%
Mosaico de pastos con espacios naturales	Alta	398,86	0,32%
	Baja	9004,98	7,32%

TIPO DE VEGETACIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
	Media	3064,11	2,49%
Total Mosaico de pastos y cultivos		13820,60	11,24%
Oleaginosas y leguminosas	Alta	3,56	0,00%
	Baja	0,80	0,00%
	Media	1,81	0,00%
Total Oleaginosas y leguminosas		6,17	0,01%
Otros cultivos transitorios	Baja	24,10	0,02%
	Media	0,47	0,00%
Total Otros cultivos transitorios		24,58	0,02%
Pastos arbolados	Alta	535,11	0,44%
	Baja	1601,54	1,30%
	Media	828,14	0,67%
Total Pastos arbolados		2964,78	2,41%
Pastos enmalezados	Alta	694,08	0,56%
	Baja	1255,92	1,02%
	Media	811,14	0,66%
Total Pastos enmalezados		2761,14	2,25%
Pastos limpios	Alta	2455,80	2,00%
	Baja	9037,63	7,35%
	Media	3365,92	2,74%
Total Pastos limpios		14859,36	12,08%
Plantación forestal	Alta	232,40	0,19%
	Baja	2009,47	1,63%
	Media	442,58	0,36%
Total Plantación forestal		2684,44	2,18%
Tubérculos	Alta	0,87	0,00%
	Baja	9,14	0,01%
	Media	3,98	0,00%
Total Tubérculos		13,99	0,01%
Vegetación secundaria o en transición	Alta	18,07	0,01%
	Baja	96,70	0,08%
	Media	51,28	0,04%
Total Vegetación secundaria o en transición		166,06	0,14%
Total general		122961,54	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 181 áreas de usos del suelo (otro tipo de cobertura) en las zonas de amenaza Media y Alta.

OTRO TIPO DE COBERTURA	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Baja	9,12	0,36%
Total Lagunas, lagos y ciénagas naturales		9,12	0,36%
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Alta	156,39	6,22%
	Baja	348,65	13,87%
	Media	206,92	8,23%
Total Red vial, ferroviaria y terrenos asociados		711,96	28,33%
Ríos (50 m)	Alta	31,28	1,24%
	Baja	408,27	16,25%
	Media	31,16	1,24%
Total Ríos (50 m)		470,71	18,73%
Tejido urbano continuo	Alta	9,78	0,39%
	Baja	711,74	28,32%
	Media	45,65	1,82%
Total Tejido urbano continuo		767,17	30,53%
Tejido urbano discontinuo	Alta	9,96	0,40%
	Baja	345,35	13,74%
	Media	37,92	1,51%
Total Tejido urbano discontinuo		393,23	15,65%
Zonas arenosas naturales	Baja	0,83	0,03%
	Media	0,43	0,02%
Total Zonas arenosas naturales		1,25	0,05%
Zonas de extracción minera	Alta	2,56	0,10%
	Baja	40,92	1,63%
	Media	9,19	0,37%
Total Zonas de extracción minera		52,67	2,10%
Zonas industriales o comerciales	Alta	0,21	0,01%
	Baja	23,07	0,92%
	Media	0,56	0,02%
Total Zonas industriales o comerciales		23,84	0,95%
Zonas quemadas	Alta	18,67	0,74%
	Baja	50,55	2,01%
	Media	13,79	0,55%
Total Zonas quemadas		83,00	3,30%
Total general		2512,94	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016



Figura 168 Área de uso del suelo afectada en zonas de media alta susceptibilidad, localizada en la vereda Dosquebradas, Belén de Umbría
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

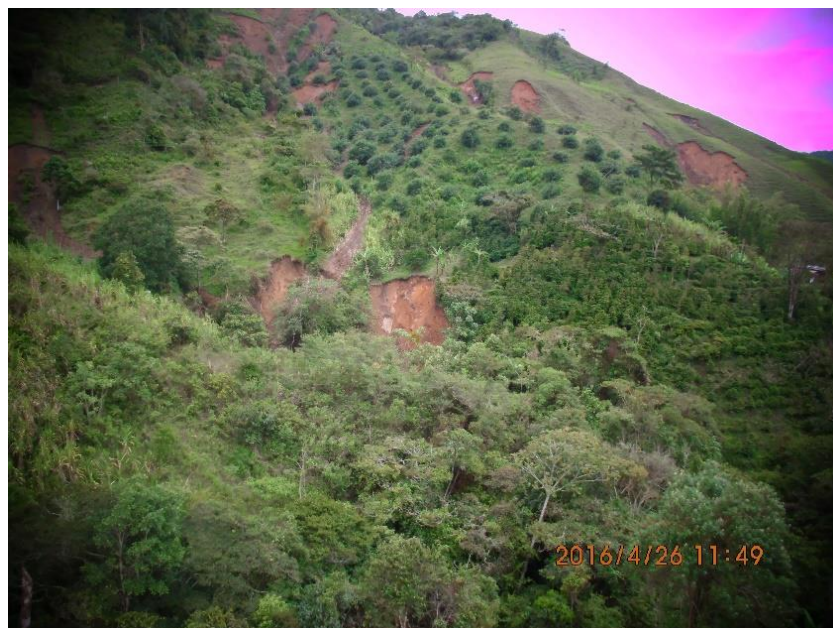


Figura 169 Área de uso del suelo afectada en zonas de media alta susceptibilidad, localizada en la vereda Santa Teresa, Guática
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 182 construcciones, puentes y bocatomas afectadas en la cuenca

AMENAZA	CONSTRUCCIONES	PUENTES	BOCATOMAS
Alta	1504	15	12
Baja	7931	151	88
Media	3356	31	22
Total general	12791	197	122

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016



Figura 170 Áreas de infraestructura afectada en el sector de la Vereda Santa Teresa, Guática, a raíz del fenómeno de la niña del mes de abril de 2016

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016



Figura 171 Área de infraestructura afectada, ubicada en la vía Belalcázar – San José

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 183 población afectada ante fenómenos de remoción en masa en zonas de amenaza alta y media

MUNICIPIO	POBLACIÓN
SAN JOSÉ	730,54
BELALCAZAR	1706,70
RISARALDA	133,40
ANSERMA	514,76
RIOSUCIO	21,51
VITERBO	1873,82
BALBOA	792,21
LA CELIA	768,22
LA VIRGINIA	4899,04
SANTUARIO	9621,79
BELÉN DE UMBRÍA	10521,39
MISTRATÓ	197,70
GUÁTICA	1160,84
APÍA	6338,84
Total general	39147,36

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 184 SINAP afectados en la cuenca.

AMENAZA	SINAP	NOMBRE	HECTÁREAS	PORCENTAJE
Alta	Distrito de Manejo Integrado	Agua Linda	110,86	0,82%
		Arrayanal	528,98	3,90%
		Cristalina-La Mesa	549,82	4,05%
		Cuchilla San Juan	3534,89	26,04%
		Planes de San Rafael	265,43	1,96%
	Total Distrito de Manejo Integrado		4989,98	36,75%
	Parque Regional Natural	Santa Emilia	341,59	2,52%
	Total Parque Regional Natural		341,59	2,52%
Total Alta			5331,57	39,27%
Baja	Distrito de Manejo Integrado	Agua Linda	102,95	0,76%
		Arrayanal	256,39	1,89%
		Cristalina-La Mesa	939,43	6,92%
		Cuchilla San Juan	2263,02	16,67%
		Planes de San Rafael	121,09	0,89%
	Total Distrito de Manejo Integrado		3682,87	27,13%
	Parque Regional Natural	Santa Emilia	63,10	0,46%
	Total Parque Regional Natural		63,10	0,46%
Total Baja			3745,97	27,59%
Media	Distrito de Manejo Integrado	Agua Linda	113,15	0,83%
		Arrayanal	466,51	3,44%
		Cristalina-La Mesa	763,65	5,62%
		Cuchilla San Juan	2906,98	21,41%
		Planes de San Rafael	124,33	0,92%
	Total Distrito de Manejo Integrado		4374,61	32,22%
	Parque Regional Natural	Santa Emilia	124,36	0,92%
	Total Parque Regional Natural		124,36	0,92%
Total Media			4498,97	33,14%
Total general			13576,51	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 185 otras áreas de protección ambiental afectados en la cuenca.

OTRAS ÁREAS DE PROTECCIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
ÁREA DE INTERÉS AMBIENTAL	Alta	78,53	0,26%
	Baja	748,38	2,47%
	Media	312,87	1,03%
Total ÁREA DE INTERÉS AMBIENTAL		1139,78	3,76%
ÁREA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS Y BIODIVERSIDAD	Baja	76,72	0,25%
	Media	2,18	0,01%
Total ÁREA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS Y BIODIVERSIDAD		78,91	0,26%
ÁREAS AFERENTES	Alta	18,84	0,06%
	Baja	151,73	0,50%
	Media	84,77	0,28%
Total ÁREAS AFERENTES		255,34	0,84%
ÁREAS DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN	Alta	7,07	0,02%
	Baja	16,70	0,06%
	Media	20,97	0,07%
Total ÁREAS DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN		44,74	0,15%
ÁREAS DE INTERÉS AMBIENTAL	Alta	63,01	0,21%
	Baja	77,41	0,26%
	Media	87,82	0,29%
Total ÁREAS DE INTERÉS AMBIENTAL		228,24	0,75%
ÁREAS DE RECUPERACIÓN DE BIODIVERSIDAD	Alta	534,00	1,76%
	Baja	2744,35	9,06%
	Media	1125,72	3,72%
Total ÁREAS DE RECUPERACIÓN DE BIODIVERSIDAD		4404,07	14,54%
ÁREAS RECUPERACIÓN DE SUELOS DE BIODIVERSIDAD	Alta	28,71	0,09%
	Baja	8,13	0,03%
	Media	23,49	0,08%
Total ÁREAS RECUPERACIÓN DE SUELOS DE BIODIVERSIDAD		60,33	0,20%
BOSQUE PROTECTOR	Alta	0,45	0,00%
	Baja	61,34	0,20%
	Media	2,83	0,01%
Total BOSQUE PROTECTOR		64,63	0,21%

OTRAS ÁREAS DE PROTECCIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
BOSQUE PROTECTOR PRODUCTOR	Baja	39,01	0,13%
Total BOSQUE PROTECTOR PRODUCTOR		39,01	0,13%
Bosques y Áreas Seminaturales	Alta	2138,27	7,06%
	Baja	6237,72	20,59%
	Media	2923,11	9,65%
Total Bosques y Áreas Seminaturales		11299,10	37,29%
MICROCUENCA	Alta	0,21	0,00%
	Baja	0,23	0,00%
	Media	0,17	0,00%
Total MICROCUENCA		0,61	0,00%
NACIMIENTO RONDAS Y FAJAS PROTECTORAS	Alta	59,77	0,20%
	Baja	1907,09	6,29%
	Media	164,25	0,54%
Total NACIMIENTO RONDAS Y FAJAS PROTECTORAS		2131,12	7,03%
RELICTOS DE BOSQUE	Alta	853,84	2,82%
	Baja	81,70	0,27%
	Media	175,32	0,58%
Total RELICTOS DE BOSQUE		1110,86	3,67%
SUELO DE PROTECCIÓN	Alta	47,97	0,16%
	Baja	27,25	0,09%
	Media	47,15	0,16%
Total SUELO DE PROTECCIÓN		122,37	0,40%
SUELOS PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO	Alta	209,51	0,69%
	Baja	81,08	0,27%
	Media	103,08	0,34%
Total SUELOS PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO		393,67	1,30%
ZONA DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN	Alta	0,84	0,00%
	Baja	0,41	0,00%
	Media	0,30	0,00%
Total ZONA DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN		1,55	0,01%
ZONA DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA	Alta	105,35	0,35%
	Baja	227,47	0,75%
	Media	152,88	0,50%
Total ZONA DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA		485,71	1,60%

OTRAS ÁREAS DE PROTECCIÓN	AMENAZA	HECTÁREAS	PORCENTAJE
ZONA DE PROTECCIÓN RN	Alta	1194,42	3,94%
	Baja	815,29	2,69%
	Media	1200,27	3,96%
Total ZONA DE PROTECCIÓN RN		3209,98	10,59%
ZONA DE REGENERACIÓN Y MEJORAMIENTO	Alta	2,23	0,01%
	Baja	496,09	1,64%
	Media	33,74	0,11%
Total ZONA DE REGENERACIÓN Y MEJORAMIENTO		532,06	1,76%
ZONA PROTECCIÓN RN	Alta	24,09	0,08%
	Baja	22,87	0,08%
	Media	27,02	0,09%
Total ZONA PROTECCIÓN RN		73,98	0,24%
ZONAS AFERENTES DE ACUEDUCTOS MUNICIPALES	Alta	8,63	0,03%
	Baja	136,51	0,45%
	Media	21,19	0,07%
Total ZONAS AFERENTES DE ACUEDUCTOS MUNICIPALES		166,34	0,55%
ZONAS DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA	Alta	3,01	0,01%
	Baja	187,84	0,62%
	Media	31,07	0,10%
Total ZONAS DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA		221,92	0,73%
ZONAS REHABILITACIÓN ECOLÓGICA	Alta	56,12	0,19%
	Baja	49,60	0,16%
	Media	60,99	0,20%
Total ZONAS REHABILITACIÓN ECOLÓGICA		166,71	0,55%
Total general		30298,60	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

4.7. Análisis de Riesgo.

4.7.1. Introducción.

Corresponde a la estimación de los daños de orden físico, social, económico o ambiental, representados por las afectaciones a las personas a las propiedades y a

la infraestructura física y económica debido a un fenómeno natural o de origen antrópico no intencional particular.

La evaluación del riesgo es el resultado de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad para determinar las consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios eventos en las áreas ocupadas.

4.7.2. Metodología

Para el presente estudio el análisis del riesgo se efectuó como la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia del evento amenazante por el Índice de Vulnerabilidad (IV) descrito anteriormente así:

$$IR = Pf \text{ (de cada evento amenazante)} * IV$$

En donde Pf es la amenaza en términos de la probabilidad de ocurrencia del evento amenazante e IV es el índice de vulnerabilidad calculado previamente. De igual manera que la vulnerabilidad, el riesgo se cataloga dependiendo de las pérdidas esperadas a nivel anual, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 186. Criterio de categorización del riesgo para los diferentes eventos en POMCAS con base en amenaza probabilística.

CATEGORÍA DEL RIESGO	CRITERIO
ALTA	Las pérdidas esperadas anuales superan el 50% (IR promedio ≥ 0.5)
MEDIA	Las pérdidas esperadas anuales se encuentran entre el 25% y 50% (IR promedio = entre 0.25 y 0.50)
BAJA	Las pérdidas esperadas anuales son inferiores al 25% (IR promedio < 0.25)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

El método de análisis de riesgo depende del método de evaluación de amenaza aplicado, y para el caso del presente estudio se utilizó la amenaza determinística el cual con los datos presentados para los niveles de amenaza para el escenario seleccionado y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo con el uso del SIG. por superposición de la capa de amenaza para el evento en evaluación y los niveles de vulnerabilidad dados por el índice de vulnerabilidad, para el escenario seleccionado como se

relaciona a continuación (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Minambiente, Minhacienda, Fondo de Adaptación 2014).:

Tabla 187. Matriz para la Categorización de niveles de riesgo del IRt para la zona de estudio con amenaza determinística

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA (30% A 75 %)	NIVEL 1: BAJA (<30%)
ALTA	ALTO	ALTA	MEDIA
MEDIA	ALTO	MEDIA	BAJA
BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Se muestra el análisis de riesgo para los diferentes eventos amenazantes analizados sobre la cuenca en el Anexo 7 Análisis de vulnerabilidad

4.7.3. Sísmico

Los análisis de pérdidas potenciales cuentan con información muy limitada, en particular si se considera como sistema la unidad de Cuenca hidrográfica, que ameritará enfoques diferentes al análisis de riesgo aplicado comúnmente a sistemas urbanos. Existen acercamientos altamente cualitativos a escenarios de riesgo para los diversos municipios, que han sido realizados con la única intención de definir estrategias de intervención.

Aunque las referencias directas de escenarios de riesgo sísmico para la cuenca son limitados, como referente, resulta útil referir que para algunas poblaciones en Risaralda, fuera del área de la cuenca se han calculado escenarios simulados, que han sido calibrados con sismos reales, y sus resultados de afectación oscilan entre el 22% y el 25 % de la infraestructura total construida, analizada en términos de metros cuadrados existentes, para eventos cercano profundo y cercano superficial respectivamente, mientras que para sismo superficial lejano los valores de escenarios futuros corresponde al 8%.

Es muy probable que para el caso de la zona de análisis los daños porcentuales pueden ser superiores, en razón de la disminución de edificaciones de mampostería

reforzada, y las deficiencias de mantenimiento en un grueso de las edificaciones de mayor antigüedad.

Es importante referir que para el caso de las ciudades empleadas en el modelo mencionado, más del 60 % de toda la infraestructura existente corresponde a construcciones anteriores a 1984, lo que en la cuenca puede verse superado, y de las cuales se resalta que no cuentan con sistemas y criterios de sismo resistencia en su diseño, lo que se debe acusar con mayor énfasis en casos de edificaciones en el ámbito rural.

4.7.4. Volcánico

En el acercamiento a escenarios de riesgo volcánico, es muy importante diferenciar condicionantes de la amenaza volcánica, que determina complejidades en la construcción de escenarios, como son los siguientes parámetros (Wilson, G., et al. 2014):

- **Carga:** Que depende del espesor de las cenizas volcánicas (mm, cm) y la densidad del material (kg/m³; gr/cm³), y bajo dicha consideración de la composición de magma original. El incremento de la carga estática vertical (kg/m², MPa), que determina el nivel de daño sobre edificaciones e infraestructura. Las cargas asociadas para la cuenca del Río Risaralda son inferiores a 0,5 – 10 Kg/cm², conforme a la actualización del mapa de amenaza del volcán Nevado del Ruiz.
- **Espesor:** Se debe considerar conjuntamente con el parámetro de la carga, y vale tener presente que decrece con la distancia al cráter en consideración, que para el caso corresponde a equivalentes espesores entre 0,5 mm a 1 cm
- **Dispersión:** La dispersión de las tefras puede ocurrir a grandes distancias en dependencia de la magnitud de la erupción (VEI), del relieve y de las condiciones de los vientos imperantes durante el proceso eruptivo, para el caso, las distancias son superiores a 60 km. Es importante resaltar que los depósitos recientes de tefras pueden sufrir erosión y ser removilizados por viento y/o agua, que es importante considerar por largos períodos de tiempo post-eruptivos. La densidad de las partículas, influirá en la movilidad y tasa de incorporación en líquidos.
- **Tamaño de grano:** Entre más pequeñas las partículas pueden sufrir mayor dispersión desde la fuente volcánica y así mismo, se pueden filtrar por aberturas más reducidas de edificaciones y equipos diversos, así como en los seres humanos y animales, que conforme a la información de campo, corresponde esencialmente a partículas tamaño ceniza

- **Concentración atmosférica:** La concentración de partículas de cenizas suspendidas en el aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), que resulta información relevante para la seguridad aérea, visibilidad, y la salud humana.
- **Química superficial:** Las partículas de tefra cuentan con recubrimiento de sales solubles que incorporan a las partículas al interior de las columnas eruptivas. Dichas sales, dependiendo de su concentración (mg/kg del peso seco de las partículas), pueden ser liberadas al contacto con el agua, generando contaminación de las mismas. Los recubrimientos ácidos pueden generar corrosión de elementos metálicos, lo que es muy importante en diversos elementos de infraestructura de líneas vitales y crítica, además de maquinaria, vehículos, aviones y equipos diversos.
- **Abrasividad:** Las tefras, en dependencia de su contenido mineralógico, pueden ser altamente abrasivas, en dependencia de la dureza y la morfología angular de las partículas constituyentes.

➤ Impactos Probables sobre edificaciones

El impacto potencial por caída y acumulación de cenizas volcánica sobre los techos de las edificaciones y la superficie en general, con espesores generales inferiores a 1 cm, y teniéndose como la tipología predominante en la parte media de la cuenca, presentarían una moderada vulnerabilidad ante dicho proceso.

Los efectos sobre edificaciones rurales, pueden ser mayores, dada la abundancia de cubiertas livianas, con techos de zinc o aluminio, y materiales plásticos, aunque también se pueden observar techos en asbesto-cemento o teja de barro, siendo en área rural muy bajo el porcentaje en losa maciza.

De un lado el proceso de deformación que se pueda presentar sobre los techos de las viviendas, se asocian a múltiples factores, como son el tipo de material de la cubierta, la estructura de soporte, y el estado de las mismas, de tal modo que un inventario de edificaciones dentro del área, permitirá contemplar funciones o curvas de vulnerabilidad, en la relación de carga derivada de acumulación de cenizas y los parámetros de resistencia que se puedan establecer al conjunto de la vivienda.

Vale citar a Spencer et al. (En: CORPORACIÓN OSSO, 2009), que para el caso de la erupción del Pinatubo en 1991, evidencia que edificaciones sometidas a cargas de 15 a 20 cm de espesor de ceniza volcánica, genera daño severo y colapso en el 49% de las edificaciones de la muestra, lo que puede ser agravado por luces y voladizos amplios, como puede ser común en viviendas de índole rural. Es útil tener presente que la ceniza húmeda significa un incremento notable en la carga.

En otros casos, se han establecido cargas límite, como es el caso del Volcán Vesuvio. Donde se han estimado 200 kg/m² para madera, 300 kg/m² para hierro y 400 kg/m² para concreto reforzado.

Las condiciones para la ocurrencia de colapsos de techos, por efecto de acumulaciones mayores a 10 cm de ceniza y lapilli (> 100 kg/m²), al interior de la cuenca del Río Risaralda, resulta prácticamente improbables, más aún acumulaciones entre 1 y 10 cm de espesor (10 y 100 kg/m²), igualmente se consideran de baja probabilidad de ocurrencia.

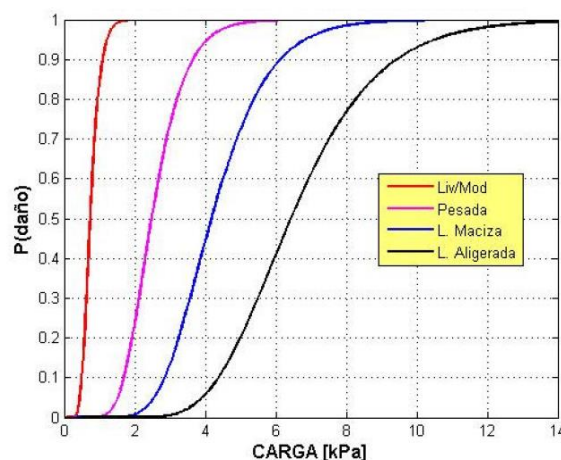


Figura 172 Funciones de vulnerabilidad de cubiertas de cenizas utilizadas en otros proyectos
(Fuente: Corporación OSSO, 2009).

➤ Impactos Probables sobre líneas vitales e infraestructuras críticas

En diversos análisis a nivel global se han definido o documentado impactos sobre infraestructuras críticas en relación con caída de cenizas volcánicas, que incluyen redes eléctricas, sistemas de abastecimientos de agua y redes de alcantarillado, así como redes de transporte terrestre y aéreo, y además sistemas de comunicación y, diversos sistemas, equipamientos y maquinaria.

En consideración de diversos parámetros mencionados antes, se pueden generar diversos impactos sobre sistemas de generación de energía, transmisión y distribución, que en términos generales se dispongan aéreamente, e incluyen elementos como estaciones, subestaciones, líneas de transmisión y distribución, que usualmente incluyen largas distancias, lo que de hecho incrementa sus niveles de exposición por efectos de amenazas volcánicas, que incluyen diversos mecanismos,

Generando cortes del fluido por descargas eléctricas, relacionados con efectos físicos, derivados de la depositación de cenizas volcánicas, donde el contenido de humedad de las mismas se convierte en un factor crítico, al incrementarse la conductividad, dando lugar a sobrecargas, y generando afectaciones de largos trayectos de líneas eléctricas, en particular comunes cuando la acumulación de cenizas supera los 3 mm. De no removerse el material de cenizas fijado al sistema, será objeto en el tiempo de procesos de abrasión y corrosión.

Para la zona de análisis, las consideraciones de infraestructura expuesta, incluyen principalmente, la transmisión y la distribución del sistema. Dentro de los sistemas de sistemas de generación de energía, impondría condición particular vulnerabilidad por abrasión de elementos del sistema, como son motores y turbinas, que deben de ser tenidos en cuenta, en proyectos de generación en desarrollo y puesta en marcha.

El sistema de abastecimiento de agua, incluyendo fuente de agua, tratamiento, almacenamiento y redes de distribución, contiene numerosos componentes vulnerables a la presencia de cenizas volcánicas, donde para el caso de las fuentes de abastecimiento la caída de cenizas volcánicas, constituyen la mayor parte de los impactos derivados del fenómeno volcánico.

El daño físico directo se relaciona principalmente a la por prolongada exposición a la caída de cenizas generalmente en espesores que superen los 3 cm, pudiéndose generar daños físicos diversos por abrasión y corrosión al interior de los elementos del sistema, y así mismo se puede registrar en reducción de la eficiencia de sistemas de bombeo, y así mismo en la capacidad de producción y distribución, e incremento en los mantenimientos e intervención del sistema.

De otro lado, la presencia de ceniza volcánica al interior del sistema, puede generar cambios importantes en calidad del agua, y la misma demanda del agua, dado que se puede dar obstrucciones en el sistema, que requerirá una compleja remoción y limpieza al interior de accesos de agua, filtros y tuberías, previo a la puesta en marcha, posteriormente a una erupción volcánica. El contenido de sólidos suspendidos que pueda ser eficientemente manejado, dependerá de las condiciones de las plantas en consideración y sus sistemas de tratamiento.

De otro lado los impactos de calidad de aguas, tanto crudas como tratadas, debe ser considerado en términos de elementos expuestos, dado que las cenizas volcánicas determinarán incrementos en la turbidez por partículas suspendidas, y una particular consideración al tema de la contaminación química, en relación con los recubrimientos de elementos solubles sobre la superficie de las partículas de ceniza, y de tal forma pueden liberar un amplio rango de iones, cuya concentración puede estar fuera de rango óptimo para consumo humano, aunque puede ser por cortos períodos de tiempo, pero se deberán tener en cuenta condiciones operativas del sistema.

Con posterioridad a la caída de cenizas volcánicas, pueden darse pérdidas suspensiones del servicio de agua y pérdida de presión en el sistema de almacenamiento y distribución.

Así mismo, las redes de alcantarillado, que comprende una serie de tuberías y cámaras, que incluyen el manejo de aguas lluvias y residuales, que cuando son de carácter combinado, son altamente vulnerables a los impactos generados por la caída de cenizas volcánicas, dada la facilidad de ingreso al sistema a través de los sistemas de drenaje de aguas lluvias.

Para las vías, los efectos de la caída de ceniza volcánica se relacionan principalmente con la pérdida de tracción de los vehículos y la visibilidad, con el consecuente incremento de niveles de accidentalidad, y dificultades del flujo vehicular.

De otro lado las dificultades en la aeronáutica son evidentes a consecuencia de las erupciones volcánicas, principalmente por abrasión sobre turbinas, causando interrupciones del tráfico aéreo, mientras que sobre los sistemas de comunicación, las partículas de ceniza, pueden generar atenuación de la señal e interferencia derivada de las tormentas de polvo.

4.7.5. Incendios.

El método de análisis de riesgo depende del método de evaluación de amenaza aplicado, y para el caso del presente estudio se utilizó la amenaza determinística el cual con los datos presentados para los niveles de amenaza para el escenarios seleccionados (año normal) y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo con el uso del SIG. por superposición de la capa de amenaza para el evento en evaluación y los niveles de vulnerabilidad dados por el índice de vulnerabilidad, para el escenario seleccionado como se relaciona a continuación (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Minambiente, Minhacienda, Fondo de Adaptación 2014).

En general para el escenario del año normal, el análisis de riesgo fue analizado desde el punto de vista cuantitativo como fue realizado para otros eventos. Lo cual, se infiere que el riesgo ante este evento sobre la cuenca representa niveles de BAJOS, en su gran mayoría medios sobre la parte media baja de la cuenca. Afectando en su gran mayoría a los cultivos permanentes que se encuentran en este sector, y en su relación con el tipo de cobertura vegetal y sus condiciones físicas, ayudan a que sea aún más propenso a este tipo de eventos.

En la siguiente tabla se muestra el análisis RIESGO para incendios, Basados en el PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA (noviembre, 2015)

Tabla 188 Análisis de riesgo ante incendios

ELEMENTO EXPUESTO				VULNERABILIDAD		RIESGO				
SITIO	nivel de amenaza	elemento expuesto	Tipo de evento	IV : Índice de Vulnerabilidad $IV = IP*IF*IR/IPMAX$	Vulnerabilidad Física	pf	IR	%IR	categoría	IRT
incendios	alto	construcciones	incendios	0,38	medio	0,15	0,056	5,625	Baja	0,073
		vías	incendios	0,51	medio	0,2	0,101	10,125	Baja	0,132
		puentes	incendios	0,46	medio	0,25	0,116	11,602	Baja	0,151
		SINAP	incendios	0,31	medio	0,25	0,077	7,734	Baja	0,101
		usos	incendios	0,39	medio	0,1	0,039	3,875	Baja	0,050
	moderado	construcciones	incendios	0,65	medio	0,05	0,033	3,266	Baja	0,042
		vías	incendios	0,50	medio	0,15	0,074	7,425	Baja	0,097
		puentes	incendios	0,43	medio	0,2	0,087	8,663	Baja	0,113
		SINAP	incendios	0,37	medio	0,25	0,092	9,176	Baja	0,119
		usos	incendios	0,33	medio	0,25	0,083	8,344	Baja	0,108

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.7.5.1. Escenarios de priorización de zonas.

Con base en las condiciones amenazantes y la cantidad de elementos vulnerables que se encuentran principalmente hacia la parte baja de la cuenca y en específico en los sectores de la Virginia, Viterbo, y Belén de Umbría, de igual modo, hacia la ladera de los municipios de departamento de Caldas, no por el cambio de uso del suelo, sino por el tipo de cobertura presente en la zona estas presentan una priorización alta frente a estos eventos., estas son zonas categorizadas como un

nivel de riesgo significativo frente a eventos de incendios forestales, en adición, de análisis multitemporales detallados y de eventos históricos registrados, se puede concluir, que estas presentan o deben ser tratadas como zonas de interés priorizado.

Debido a los cambios de usos del suelo, como uno de los principales detonantes ante este tipo de eventos, se hace necesario la intervención y el uso adecuado del territorio, con verificación y control del mismo. Por consiguiente, se recomienda tomarla como una zona de interés ambiental que permita, hacer reglamentaciones sobre el territorio. Y en específico sobre la cuenca en estudio.

Es de denotar que hacia la parte media alta de la cuenca estos presentan una priorización alta y media debido a la densidad poblacional que se encuentra en la zona.

Tabla 189 zonas de priorización para incendios forestales.

PRIORIZACIÓN	OBSERVACIONES	RIESGO_RA	RIESGO_RA	AREA_ha
Alto	recurrencia de eventos, densidad poblacional	Alto	0,62	7186,29
Alto	población, elementos expuestos, drenajes, gran impacto	Alto	0,51	6055,64
Medio	densidad eventos, población, drenajes,	Alto	0,75	9453,63
Medio	ecosistema priorizado, afectación, densidad evento	Medio	0,40	4080,18
Bajo	ecosistemas priorizados, expansión	Medio	0,41	4638,80
ÁREA TOTAL				31414,54

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

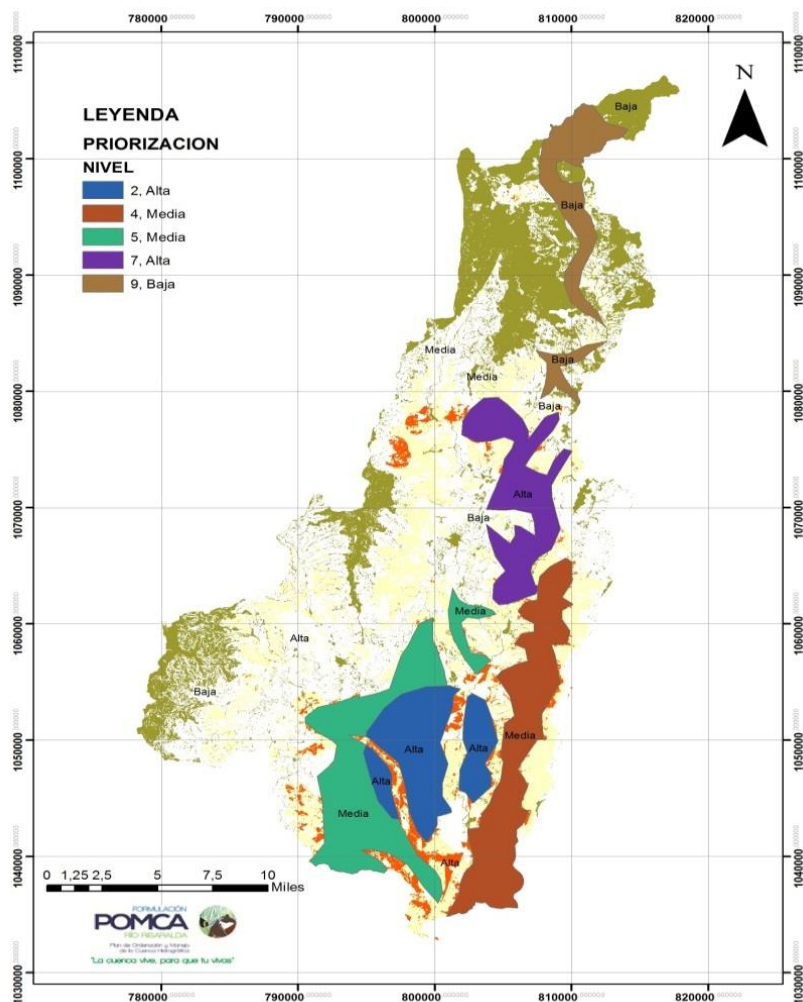


Figura 173 Mapa de zonas priorizadas ante incendios

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

4.7.6. Inundaciones.

El método de análisis de riesgo depende del método de evaluación de amenaza aplicado, y para el caso del presente estudio se utilizó la amenaza determinística el cual con los datos presentados para los niveles de amenaza para el escenarios seleccionados y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo con el uso del SIG por superposición de la capa de amenaza para el evento en evaluación y los niveles de vulnerabilidad dados por el índice de vulnerabilidad, para el escenario seleccionado como se relaciona a continuación (PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE

CUENCAS HIDROGRÁFICAS Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014):.

En general para el escenario de riesgo por inundaciones fluvio torrenciales presenta niveles BAJOS y MEDIOS, en su gran mayoría sobre drenajes de orden 4 y 5, afectando principalmente cultivos permanentes y sobre los núcleos poblados (tejido urbano continuo).

En la siguiente tabla se muestra el análisis RIESGO para inundaciones, Basados en el PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA (noviembre, 2015)

Tabla 190 Análisis de riesgo ante inundaciones

ELEMENTO EXPUESTO				VULNERABILIDAD		RIESGO				
SITIO	nivel de amenaza	elemento expuesto	Tipo de evento	IV : Índice de Vulnerabilidad $IV = IP*IF*IR/IPMAX$	Vulnerabilidad Física	pf	IR	%IR	categoría	IRT
CUENCA DEL RIO RISARALDA	Alta	Bocatomas y captaciones	Inundaciones	0,62	medio	0,72	0,446	44,550	Media	0,757
		Puentes	Inundaciones	0,38	medio	1,69	0,634	63,375	Media	1,077
		Vías	Inundaciones	0,27	bajo	0,9	0,243	24,300	Baja	0,413
		otras áreas	Inundaciones	0,21	bajo	0,72	0,152	15,188	Baja	0,258
		Tejido Urbano	Inundaciones	0,39	medio	0,72	0,279	27,945	Media	0,475
		Usos	Inundaciones	0,30	medio	0,39	0,115	11,517	Baja	0,196
	Media	Bocatomas y captaciones	Inundaciones	0,38	medio	2,31	0,866	86,625	Alta	1,473
		Puentes	Inundaciones	0,38	medio	1,69	0,634	63,375	Media	1,077
		Vías	Inundaciones	0,14	bajo	0,9	0,127	12,656	Baja	0,215
		otras áreas	Inundaciones	0,11	bajo	0,72	0,081	8,100	Baja	0,138
		Tejido Urbano	Inundaciones	0,21	bajo	0,72	0,153	15,300	Baja	0,260
		Usos	Inundaciones	0,33	medio	0,39	0,128	12,833	Baja	0,218

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

4.7.6.1. Escenarios de priorización de zonas.

Con respecto al análisis de inundaciones sobre la cuenca, debido a las condiciones actuales, y al análisis evento históricos registrados en la cuenca, es de priorización rápida el sector de la Virginia (Risaralda), donde se encuentra la mayoría de estos eventos, debido a súbitas subidas del río Cauca y del río Risaralda, como también avenidas torrenciales frecuentes en las partes altas del río Mapa como también del río Totu, y de gran importancia, con respecto al análisis de riesgo evaluado; como se ha podido denotar debido a la metodología empleada y al análisis de vulnerabilidad, las bocatomas y las zonas de protección ambiental como el tejido urbano continuo, están teniendo gran afectación con respecto a estos eventos amenazantes, se puede denotar un leve incremento en el número de viviendas hacia zonas muy próximas al cauce principal, por tanto se recomiendan estudios más detallados de microzonificación ante estos eventos amenazantes.

Tabla 191 zonas de priorización para inundaciones

PRIORIZACIÓN	OBSERVACIONES	RIESGO_RA	RIESGO_RA	AREA_ha
Alto	recurrencia de eventos, desarrollo urbanístico	Alto	0,53	5371,69
Alto	recurrencia de eventos, densidad poblacional	Alto	0,62	7186,29
Medio	densidad eventos, población, drenajes,	Alto	0,75	9453,63
ÁREA TOTAL				22011,61

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda.

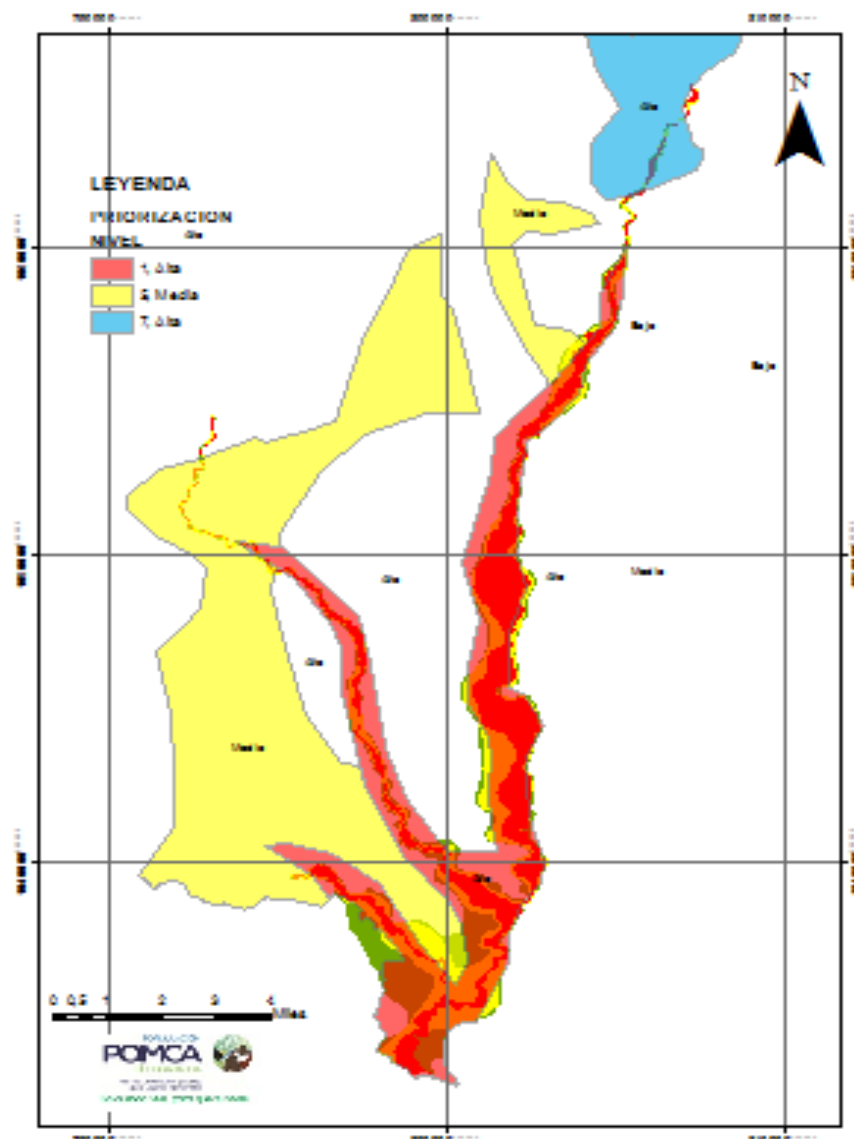


Figura 174 Mapa de zonas priorizadas ante inundaciones.
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.7.7. Movimientos en masa.

Para el análisis de escenarios de riesgo con base en el documento técnico, como también en la metodología empleada, inicialmente fueron evaluados los eventos históricos, y a partir de allí, tomando en el análisis de vulnerabilidad, se definieron algunas localidades específicas que pueden ser de interés prioritario y ambiental, para hacer una atención inmediata llegando a suceder un evento de remoción en masa.



Se puede concluir que los niveles de riesgo para la cuenca ante los fenómenos de remoción en masa, son en su totalidad niveles MEDIOS, esto debido a las altas pendientes que presenta la cuenca hacia los sectores occidentales y el norte de la misma. Adicionalmente de la cantidad de elementos expuestos en estas zonas.

En la siguiente tabla se muestra el análisis RIESGO para movimientos en masa, Basados en el PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA (noviembre, 2015)

Tabla 192 Análisis de riesgo ante movimientos en masa

ELEMENTOS EXPUESTOS				VULNERABILIDAD		RIESGO				
SITIO	nivel de amenaza	elemento expuesto		IV : Índice de Vulnerabilidad $IV = IP*IF*IR/IPMAX$	Vulnerabilidad Física	pf	IR	%IR	Categoría	IRT
CUENCA RIO RISARALDA	alto	construcciones	movimientos en masa	0,38	medio	0,7	0,26	26,3	Media	0,39
		vías	movimientos en masa	0,51	medio	0,7	0,35	35,4	Media	0,53
		bocatomas	movimientos en masa	0,14	bajo	0,7	0,10	9,5	Baja	0,14
		puentes	movimientos en masa	0,46	medio	0,7	0,32	32,5	Media	0,49
		SINAP	movimientos en masa	0,31	medio	0,7	0,22	21,7	Baja	0,32
		otras áreas	movimientos en masa	0,32	medio	0,7	0,22	22,1	Baja	0,33
		usos	movimientos en masa	0,39	medio	0,7	0,27	27,1	Media	0,41
	medio	construcciones	movimientos en masa	0,65	medio	0,245	0,16	16,0	Baja	0,24
		vías	movimientos en masa	0,50	medio	0,245	0,12	12,1	Baja	0,18
		bocatomas	movimientos en masa	0,40	medio	0,245	0,10	9,8	Baja	0,15
		puentes	movimientos en masa	0,43	medio	0,245	0,11	10,6	Baja	0,16
		sinap	movimientos en masa	0,37	medio	0,245	0,09	9,0	Baja	0,13
		otras áreas	movimientos en masa	0,32	medio	0,245	0,08	7,7	Baja	0,12
		usos	movimientos en masa	0,33	medio	0,245	0,08	8,2	Baja	0,12

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.7.7.1. Escenarios de priorización de zonas.

Al final del proceso de evaluación es necesario presentar los resultados mediante un mapa de zonificación de riesgo y su priorización teniendo en cuenta el tipo de elementos expuesto y su nivel de riesgo, potenciales afectaciones, efectos entre otros.

En la siguiente tabla se remite la priorización de escenarios según cada zona de evaluación definiendo como priorización ALTA, MEDIA Y BAJA, que a su vez determinarían su inmediatez de aplicación a corto plazo (menor a 1 año,) mediano (entre 1- 2 años) y bajo (largo plazo mayor a 2 años).

Para la mapificación se determinaron las zonas homogéneas definidas para el nivel de amenaza y se determinaron los colores rojo, amarillo y verde para las zonas de riesgo alto, medio y bajo, en ese orden, incluyendo en cada área los elementos expuestos con su nivel de riesgo particular determinado sobre el flanco occidental y nor-occidental de la cuenca al igual que sobre el municipios del departamento de Caldas, flanco oriental de la cuenca, estas presentan una priorización alta con respecto a movimientos en masa, que deben ser finidos con base en la cantidad de elementos expuestos, al igual que la cantidad de eventos presentes en la respectiva zona.

Tabla 193 zonas de priorización para movimientos en masa

PRIORIZACIÓN	OBSERVACIONES	RIESGO_RA	RIESGO_VA	AREA_ha
Alto	población, drenajes, elementos afectados	Alto	0,7	19962,57
Medio	densidad eventos, población, drenajes,	Alto	0,75	9453,63
Medio	población, drenajes, ecosistemas, eventos, elemen	Medio	0,26	8652,77
Medio	ecosistemas priorizados, eventos,	Medio	0,42	12646,05
Medio	ecosistema priorizado, afectación, densidad evento	Medio	0,40	4080,18
Alto	recurrencia de eventos, densidad poblacional	Alto	0,62	7186,29
Bajo	ecosistemas priorizados, expansión	Medio	0,41	4638,80
Bajo	ecosistema priorizado,	Medio	0,43	8837,46
ÁREA TOTAL				75457,74

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

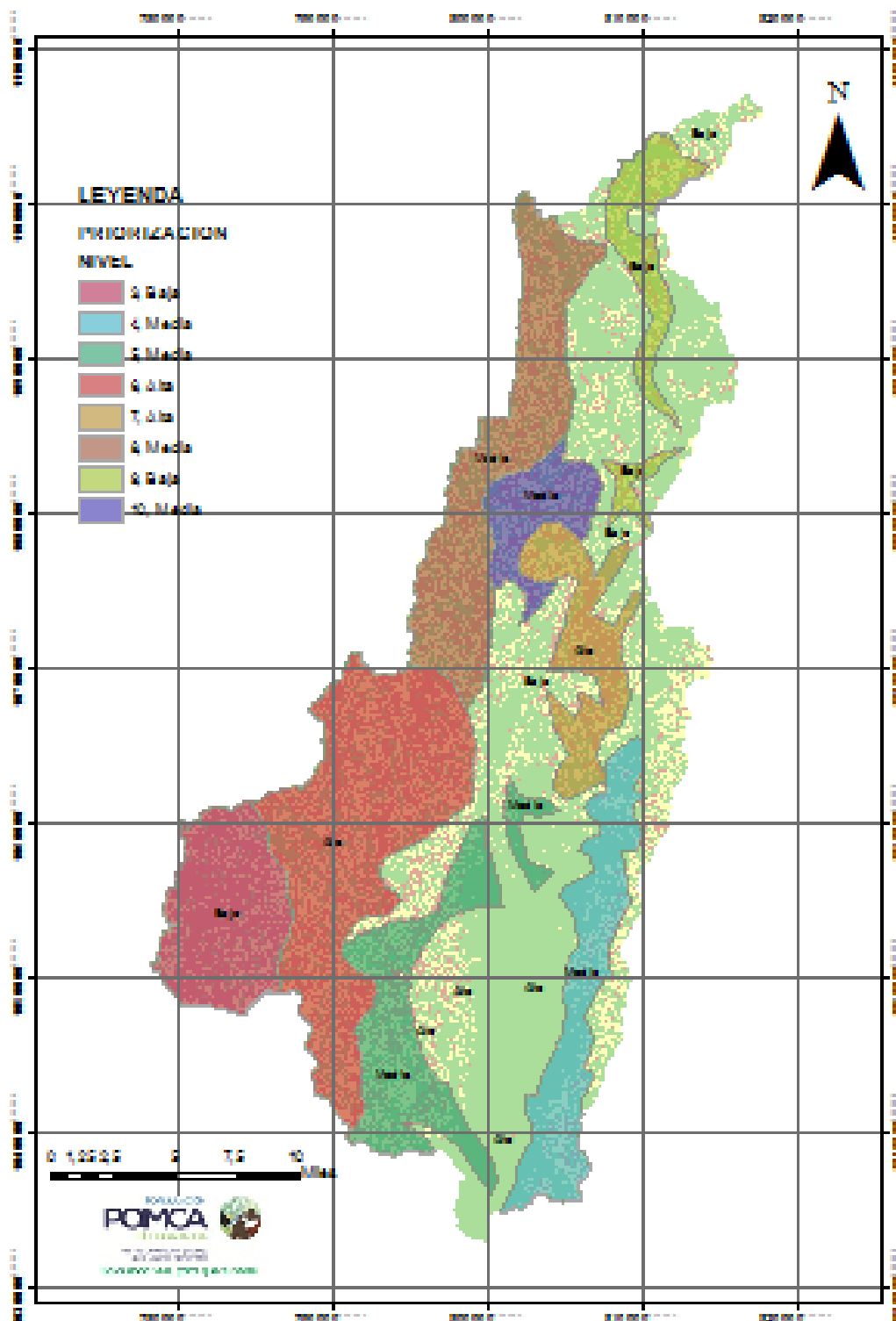


Figura 175 Mapa de zonas priorizadas ante movimientos en masa
 Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.7.8. Análisis y priorización general de riesgos para los eventos amenazantes evaluados.

Con el fin de establecer la evaluación de riesgo para los diferentes eventos amenazantes, se utilizaron los datos de incendios, movimientos en masa e inundaciones, y a partir de estos se hizo un análisis cualitativo como cuantitativo para definir unas zonas de priorización y por consiguiente que necesitan ser tratadas en primera instancia. En relación a los elementos expuestos (vulnerables). Estos análisis permiten establecer si de acuerdo a las condiciones actuales y posibles condiciones prospectivas y/o futuras, pueden ser tratadas en una primera acción (corto y mediano plazo) por los entes encargados, llegado el caso de que estos eventos puedan incurrir en daños directos o indirectos sobre material físico y perderse vidas humanas; a diferencia de otras zonas que por su escala y tamaño, pero no menos importantes, se pueden tratar en segunda instancia o a largo plazo.

Una vez identificadas en toda la cuenca las áreas de amenaza ante estos eventos, se identificaron las zonas prioritarias (ver anexo 1 salida DBF31) considerando los siguientes criterios de priorización:

- Áreas con mayor recurrencia de eventos.
- Áreas con eventos de gran impacto (por pérdidas de vidas, bienes, líneas e infraestructura, entre otros) en periodos cortos de tiempo.
- Áreas con mayor densidad de drenajes.
- Ecosistemas priorizados.
- Áreas con mayor densidad poblacional (polígonos de ciudades, cabeceras corregimientos, centros poblados y/o veredales, zonas suburbanas, zonas de vivienda campestre)
- Zonas que contengan la mayor densidad de áreas aferentes para el abastecimiento de acueductos y/o aferentes de acueductos que abastecen la mayor cantidad de población y/o acueductos veredales.
- Áreas propuestas para el desarrollo de macro proyectos que involucren el uso del recurso hídrico como embalses, hidroeléctricas, distritos de riego, entre otros.
- Áreas propuestas para futuros desarrollos urbanísticos de nivel municipal, por macro proyectos o por proyectos integrales de desarrollo urbanístico PIDU.

Con el fin de definir la priorización de escenarios de riesgo, se hace un análisis de los elementos vulnerables anteriormente mencionados con respecto al índice de riesgo (IR) para cada uno de los eventos amenazantes (fenómenos de remoción en masa, inundaciones e incendios), teniendo en cuenta, que ya se tiene un análisis preliminar por evento, ver anexo 5.

La combinación y análisis de zonas de amenazas, elementos vulnerables e índices de riesgo para cada elemento, permitió a la definición de la priorización de los escenarios de riesgo para la zona de estudio.

En la siguiente tabla se relaciona la identificación de cada una de las zonas definidas, su localización, criterios de selección (elementos vulnerables) y categoría de priorización.

Tabla 194 escenarios de priorización combinado

PRIORIZACIÓN	OBSERVACIONES	RIESGO_RA	RIESGO_RA	AREA_ha
Alto	recurrencia de eventos, desarrollo urbanístico	Alto	0,53	5371,69
Alto	recurrencia de eventos, densidad poblacional	Alto	0,62	7186,29
Alto	población, drenajes, elementos afectados	Alto	0,7	19962,57
Alto	población, elementos expuestos, drenajes, gran imp.	Alto	0,51	6055,64
Medio	densidad eventos, población, drenajes,	Alto	0,75	9453,63
Medio	población, drenajes, ecosistemas, eventos, elemen	Medio	0,26	8652,77
Medio	ecosistema priorizado, afectación, densidad evento	Medio	0,40	4080,18
Medio	ecosistemas priorizados, eventos,	Medio	0,42	12646,05
Bajo	ecosistema priorizados,	Medio	0,43	8837,46
Bajo	ecosistemas priorizados, expansión	Medio	0,41	4638,80
ÁREA TOTAL				86885,07

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

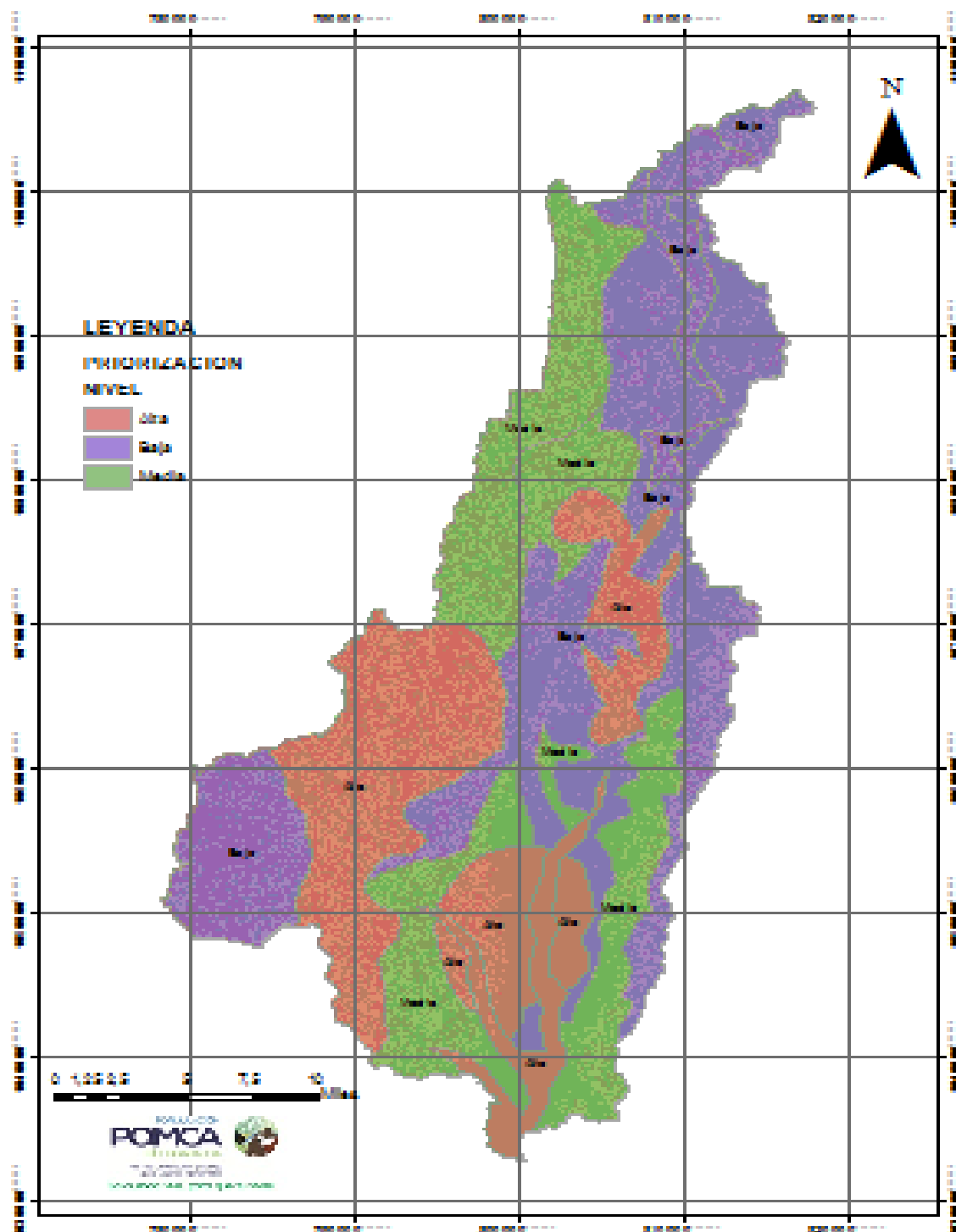


Figura 176 Mapa de escenarios de priorización combinado
 Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

En conclusión, con respecto a las zonas de priorización, debido a que no se hizo una homogenización de estas zonas estas se han dividido en 10 zonas alrededor de la cuenca, mostrando, estos diferentes niveles de riesgo para cada una de las amenazas presentes en la cuenca como lo son movimientos en masa, inundaciones e incendios. Se puede observar que las principales zonas que deben de ser priorizadas en la cuenca son las que se presentan hacia la parte media y baja de la cuenca, y en específico hacia los tejidos urbanos continuos, es de aclarar que independientemente de que su priorización sea alta, su nivel de riesgo para cada zona puede variar un poco, y en general sobre toda la cuenca. A continuación se incluye una tabla resumen donde se muestran las 10 zonas con sus respectivos niveles de riesgo, adicionalmente un punto o sitio de referencia, sin que este sea el que se principal en la respectiva zona.

Tabla 195 resultados generales de la identificación, localización y priorización de los escenarios de riesgo en la cuenca y la metodología de análisis empleada para cada amenaza

IR_MM	IR_INC	IR_INU	IRT	NIVEL DE RIESGO	PRIORIZACIÓN	LOCALIDAD	observación	AREA_ha
0,76	0,56	0,27	0,53	Alto	Alto	Santuario, Apía	recurrencia de eventos, desarrollo urbanístico	5371,69
0,8	0,12	0,94	0,62	Alto	Alto	Guática	recurrencia de eventos, densidad poblacional	7186,29
0,65	0,67	0,78	0,7	Alto	Alto	La Virginia	población, drenajes, elementos afectados	19962,57
0,51	0,36	0,66	0,51	Alto	Alto	Balboa, La Celia	Población, elementos expuestos, drenajes, gran imp.	6055,64
0,7	0,8	0,75	0,75	Alto	Medio	Tatamá	densidad eventos, población, drenajes,	9453,63
0,35	0,25	0,18	0,26	Medio	Medio	Rio Sucio	población, drenajes, ecosistemas, eventos, elemen	8652,77
0,52	0,64	0,04	0,40	Medio	Medio	Belalcazar, San José, Risaralda	ecosistema priorizado, afectación, densidad evento	4080,18
0,35	0,7	0,21	0,42	Medio	Medio	Rio Arriba	ecosistemas priorizados, eventos,	12646,05
0,4	0,12	0,77	0,43	Medio	Bajo	Mistrató	ecosistema priorizados,	8837,46
0,26	0,23	0,74	0,41	Medio	Bajo	Parte baja de Santuario	ecosistemas priorizados, expansión	4638,80
TOTAL GENERAL								86885,07

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.7.9. Evaluación de Resultados.

4.7.9.1. Inundaciones.

Los tramos viales que caen en zonas de amenaza, se encuentran en un riesgo BAJO, correspondiendo a 71436,09 m principalmente de vías primarias nacionales que comunican el centro de Colombia con el occidente Colombiano.

Para el caso del tejido urbano continuo, y en específico el municipio de la Virginia Risaralda, está dividido en dos tipos de riesgo, riesgo MEDIO a las zonas más próximas a los cauces principales del río Risaralda y riesgo BAJO a zonas alejadas o proximales a las zonas de piedemonte.

Con respecto a puentes y/o cruces de drenajes, se establece que 10 se catalogan en nivel de riesgo MEDIO

La población estimada es de 7757.23 personas (18 %), catalogadas en un riesgo MEDIO.

Otras áreas de protección ambiental, se encuentran en un riesgo BAJO ante fenómenos de inundaciones torrenciales.

4.7.9.2. Incendios.

Después de hacer el análisis respectivo frente a este tipo de eventos, se puede evidenciar que todos los elementos expuestos analizados se encuentran en un riesgo BAJO, ante este fenómeno,

4.7.9.3. Movimientos en masa.

Los tramos viales que caen en zonas de amenaza, se encuentran en un riesgo MEDIO y BAJO, correspondiendo a 36.8% y 63.2% representando vías desde primer nivel hasta séptimo nivel.

Para el caso de las viviendas se puede establecer que, del total de viviendas de 3356 unidades existentes en riesgo BAJO para las condiciones analizadas, bajo este escenario 1504 viviendas presentan categoría de riesgo MEDIO que corresponde al 56.89% del total de elementos sobre la cuenca

En general las áreas de protección ambiental de tipo SINAP, al igual que otro tipo de áreas presentan zonas en riesgo BAJO, para un total de 9830.54 Ha de áreas SINAP y 12036.09Ha, en total sobre la cuenca.

Con respecto a puentes y/o cruces de drenajes, se establece que 15 se catalogan en nivel de riesgo MEDIO, y 31 conservan la categoría de riesgo BAJO.

La población estimada en nivel de riesgo medio asciende a 7046.52 personas (18 %) mientras que la población restante de 6263.57 (16%) se cataloga como elementos en riesgo BAJO. Esto para un total de 39147.36 personas.

4.8. Recomendaciones generales sobre los resultados de susceptibilidad, amenaza y riesgo

A continuación, se relacionan las recomendaciones generales sobre los resultados obtenidos en el análisis de susceptibilidad, amenaza y riesgo, aclarando que la identificación detallada y particular será abordada en la etapa prospectiva general del proyecto.

4.8.1. Recomendaciones generales prescriptivas y prospectivas sobre los resultados de susceptibilidad, amenaza y riesgo

PROGRAMA MANEJO DEL RECURSO SUELO			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
REGLAMENTACION DE LA INTERVENCION DEL SUELO.	Implementar herramientas jurídicas e instrumentos de Planeación y Ordenamiento Territorial para el control de la intervención del suelo.	Establecimiento de directrices en conjunto con las entidades del orden Municipal y Departamental para establecer el uso potencial del suelo y las recomendaciones particulares para cada sector de intervención.	En las áreas determinadas con susceptibilidad Media y Alta: municipios de Santuario, Apia, Belén de Umbria
		Socialización de las acciones propuestas a implementar con la comunidad involucrada.	
		Diseñar un protocolo de actuación para los diferentes aspectos técnicos y jurídicos a tener en cuenta en la aplicación de las acciones a implementar.	
		Establecer los controles y vigilancia de las intervenciones propuestas y las que vayan en detrimento de la cuenca	
		Restringir el cambio en el uso del suelo para pendientes superiores al 100% y que sean destinadas a pastos manejados para ganadería como para cultivos limpios, bajo el plan de Ordenación y de los instrumentos de ordenamiento ambiental, sobre la viabilidad del cambio o sin contar con las recomendaciones para efectuar dicho cambio.	

PROGRAMA INCENTIVOS PARA EL ADECUADO MANEJO DEL RECURSO SUELO			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
REGLAMENTACION DE INCENTIVOS A LA POBLACION QUE CONTRIBUYA A EVITAR LA GENERACION DE PROCESOS EROSIVOS.	Generar Incentivos tributarios y Logísticos mediante actos administrativos para la población que realice un adecuado uso del suelo	Generar una guía de actuación para la definición de Incentivos de algún tipo (Porcentaje de pago de predial del terreno, logísticos, técnicos) para las áreas que implementen medidas de prevención para la generación de procesos erosivos.	En las áreas determinadas con susceptibilidad alta: Municipio de Guatica, Río Sucio
		Diseñar un protocolo de actuación para los diferentes aspectos técnicos y jurídicos a tener en cuenta en la aplicación de la reglamentación sugerida en el presente proyecto.	
		Diseñar un protocolo de actuación para los diferentes aspectos técnicos y jurídicos para implementar las acciones dispuestas en la Guía descrita para cada entidad involucrada.	
		Realizar capacitaciones para caficultores y población involucrada sobre la importancia del manejo adecuado del suelo y la aplicación de incentivos descritos en este proyecto.	

PROGRAMA CONTROL DEL ESTADO DE VIAS			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE VIAS, APERTURA E INTERVENCION DE CONEXIONES EXISTENTES	Generar Lineamientos concertados con las Entidades del Orden Municipal y departamental encargadas de las vías del sector para ejercer un adecuado manejo e intervención de las mismas.	Ejercer un control directo sobre la apertura de vías en el sector, referido a la exigencia a contratistas y/o particulares de los estudios técnicos apropiados y enmarcados en la realización de análisis de estabilidad y obras de prevención y/o mitigación de procesos erosivos.	Todos los municipios de la cuenca del río risaralda ya que todos ellos presentan afectaciones grandes en todos los tipos de vías, incluidas las vías intermunicipales y nacionales
		Inventario detallado del estado de las vías, y analisis detallado de vulnerabilidad sobre cada una de ellas.	
		Realizar valoraciones integrales geológicas-geotécnicas para los cortes viales existentes donde se presenta dinámica erosiva, con el fin de determinar el tipo de obras más apropiadas a implementar.	
		Realizar evaluación del estado de las obras de arte viales, con el fin de establecer acciones de prevención, mitigación y/o corrección.	
		verificación constante del PPuente Helicoidal, vía hacia Santa Rosa, ya que a pesar de que no este directamente sobre una zona de amenaza alta, se encuentra muy proxima a ella, y por las condiciones físicas y de pendientes estaria susceptible a movimientos en masa	
		Diseñar un protocolo de actuación para las obras que se pretenden adelantar en la región y que involucre la intervención de vías	

PROGRAMA CONTROL DEL ESTADO DE BOCATOMAS			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE BOCATOMAS, MANTENIMIENTO E INTERVENCION	Generar Lineamientos concertados con las Entidades del Orden Municipal y departamental encargadas de los suministros de agua del sector, es decir, empresas de acueducto del sector para ejercer un adecuado manejo e intervención de las mismas.	Estudio detallado de vulnerabilidad física	sector de Santuario, Belen de Umbria, Guatica
		analisis detallado de vulnerabilidad de cada una de las bocatomas localizadas en zonas susceptibles a movimientos en masa	
		ejercer un control directo sobre cada una de las bocatomas en el area de la cuenca y zonas aledañas. Virificando estado de las mismas, y haciendo limpieza y mantenimiento de ellas.	
		verificar trazo de lineas de acueducto y localización de captaciones principales, en donde, se pueda hacer una mitigacion y atencion preventiva ante movimientos en masa,	
		Diseñar un protocolo de actuación para las obras que se pretenden adelantar en la región y que involucre la intervención de bocatomas y captaciones	

PROGRAMA CONTROL DEL ESTADO DE GASODUCTO			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
CONTROL Y SEGUIMIENTO, COMO POSIBLE REUBICACION DE LINEA DE GAS, ASI COMO MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LAS MISMAS.	Generar Lineamientos concertados con las Entidades del Orden Municipal, departamental y nacional encargadas de las líneas de gas en el sector para ejercer un adecuado manejo e intervención de las mismas.	Estudio detallado de vulnerabilidad física	municipio de Rio Sucio, Guatica, Belalcazar y San Jose
		mantenimiento preventivo de los 1600m de líneas, paralelas a la variante romelia el pollo, en donde se presenta zonas de riesgo alto, como el sector de alto del nudo y boqueron.	
		mantenimiento de uniones entre tubería como salidas de gas en todos los puntos identificados, como en los puntos adyacentes.	
		Estudio detallado de vulnerabilidad física	

PROGRAMA CONTROL DEL ESTADO DE INFRAESTRUCTURA FISICA			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
VERIFICACION Y MANTENIMIENTO DE ESTADO DE LAS LOSAS VIALES EN LAS CUADRAS, COMO TAMBIEN LAS CONDICIONES DE LAS VIVIENDAS QUE NO PRESENTES AGRIETAMIENTOS NI DILATACIONES	generar conciencia y poner al conocimiento de los directamente afectados, de los riesgos que podrian tener en tiempos futuros, para la atencion y prevencion de desastres previa.	analisis detallado de vulnerabilidad	sector de Belalcazar , San Jose , Anserma
		reparcho de losas viales entre zonas pobladas.	
		mantenimientos de grietas y control de las mismas para la prevencion de desastres fisicos, y por consiguientes humanos.	
		reubicacion de poblacion donde la vivienda o el sector se encuentre muy directamente afectado (>80%)	

PROGRAMA MANEJO DE AREAS DE PROTECCION AMBIENTAL			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
INFORMAR A LAS AUTORIDADES AMBIENTALES COMPETENTES SOBRE LAS ÁREAS DE SUCEPTIBILIDAD ALTA QUE SE ENCUENTRAN DELIMITADAS EN LA ZONIFICACIÓN	Controlar y supervisar constantemente las zonas críticas pertenecientes a Áreas de Protección Ambiental.	Verificar si en las zonas de protección es posible hacer una estabilización de taludes sin verse afectado la biodiversidad y el ecosistema	municipio de Santuario y Apia

USOS DEL SUELO DETALLADOS			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
REALIZACION DE ESTUDIOS DETALLADOS Y REQUERIDOS PARA EL MANEJO DEL RECURSO SUELO.	Realización de estudios Geológicos, Geotécnicos y de uso del suelo en el Sector de la cuenca	Cartografía geológica , de las Formaciones superficiales y procesos erosivos en los sitios de susceptibilidad Media y Alta a nivel detallado. Profundizar en el conocimiento de las propiedades geomecánicas de los suelos residuales derivados de las unidades presentes e implementar análisis de estabilidad de taludes en sitios críticos	en cada Municipio perteneciente a la cuenca para analisis de usos del suelo, ya que se encuentran en su gran mayoría en una susceptibilidad alta a media a Movimientos en masa
		Evaluación detallada a través del tiempo (monitoreo continuo) de los procesos que puedan presentarse en la zona y referido al tipo de falla, profundidad y materiales involucrados	
		Realizar estudios detallados geológico-geotécnicos en las zonas determinas con susceptibilidad Media y Alt, a la generación de fenómenos de remoción en masa, análisis de las estructuras geológicas presentes como fallas y lineamientos que afecten la estabilidad de las laderas.	
		Análisis y evaluación de la dinámica de cambio de cobertura en al incidencia de Fenómenos de Remoción en Masa, mediante estudios tecnicos detallados de la incidencia del tipo de cultivo y su relacion con los procesos existentes.	
		Actualización periódica de los procesos erosivos presentes en la zona.	

PROGRAMA MEDIDAS DE MITIGACION DE TORRENCIALIDAD			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
REALIZAR MEDIDAS DE MITIGACION DE TORRENCIALIDAD DE CAUCES.	Implementar medidas de mitigación para la torrencialidad de las Quebradas evaluadas.	Instalación de medidas de control en el cauce mediante disipadores de energía y mitigación de procesos en las orillas y taludes adyacentes de las Quebradas Combia (Sector San Luis -Amoladora Alta),Quebrada Pavas (Sector Vereda Maracaibo), micro cuenca El Pital (Quebradas Monos y Palo Santo) y micro cuenca Chimborazo-Jardín (Sector alto de la vereda La Bodega), quebrada Aguazul (Dosquebradas)	municipio de la Virginia

PROGRAMA CONTROL DE RIESGOS TECNOLÓGICOS Y ANTRÓPICOS			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
VERIFICACION DEL ESTADO DE LAS REDES ELECTRICAS Y ANTENAS SATELITALES	prevencion y atencion de desastres frente a caída de redes electricas y de telecomunicaciones.	analisis detallado de vulnerabilidad para cada una de las redes	Municipio de Sanuario y Bebelcazar
		control de localizacion de las antenas que no se encuentren en zonas donde sea susceptible a movimientos en masa.	
		hacer un analisis detallado del terreno donde se ubicaran las nuevas redes como analisis preventivo a condiciones futuras	

PROGRAMA FORTALECIMIENTO DE INSTRUMENTOS TECNICOS PARA MONITOREO DE PROCESOS			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
FORTALECIMIENTO DE INSTRUMENTOS TECNICOS PARA MONITOREO GEOTECNICO.	Instalación de equipos de instrumentación y monitoreo geotécnico en la zona	Instalación de estaciones para monitoreo geotécnico con el fin establecer las condiciones de la zona referente a Fenómenos de Remoción en Masa	municipio de Santuario Apia

PROGRAMA INVESTIGACION SOBRE EL CONOCIMIENTO DE TIPOLOGIA DE EVENTOS			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIO DE INTERVENCION
CONOCIMIENTO DE LA TIPOLOGIA DE LOS EVENTOS	Identificación de la tipologia de eventos	Realización de investigaciones detalladas con el fin de determinar la tipologia de los eventos ocurridos, evaluando profundidades de fallas, contribuyentes y detonantes, para de esta manera establecer la relacion de ocurrencia de algun tipo de viento con los materiales y zonas existentes.	zonas pertenecientes al municipio de Apia y Mistrato, como las del municipio de Anserma

- Con respecto a la sobras ejecutadas en el municipio de La Virginia para mitigar efectos de inundaciones, se recomienda efectuar valoraciones detalladas del estado de los Jarillones, evaluaciones de potenciales afectaciones ante eventos torrenciales estableciendo de manera precisa los volúmenes aportantes en cada una de las fuentes superficiales aferentes como también por el “represamiento” y aumento del nivel del río Cauca con relación a las obras descritas que permitan establecer de manera detallada la situación actual de riesgo ante este tipo de evento en la zona descrita.
- Implementar las acciones planteadas para el control de potenciales inundaciones en el sector de La Virginia, ya que después de contruidos los Jarillones no se cuentan con sistemas de evacuación de aguas planteadas como medida complementaria ante potenciales eventos hidrológicos.

4.8.2. Recomendaciones generales sobre los resultados de amenaza y riesgo por sismos.

PROGRAMA ACTUALIZADO Y AJUSTE DE LA MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL RIO RISARALDA			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIOS DE INTERVENCION
ACTUALIZAR LA MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL RIO RISARALDA	determinar por medio de la microzonificacion sismica de la ciudad, las zonas de mayor influencia ante estos fenomenos y el indice de perdida o daño esperado, lo cual contribuira a una mejor planificacion territorial	actualizar los mapas tectónicos y neotectónicos de la zona de influencia a las fallas regionales de estos municipios	Zonas del municipio de Santuario, Apia, Mistrato, Guatica y Anserma
		realizar una microzonificación sismica de los sectores rurales aledaños	
		generar una mejor planificacion urbaja con base a los resultados obtenidos en la microzonificación, así como conocer que aspectos requieren de obras de mitigación	

PROGRAMA ESTUDIOS DE VILNERABILIDAD FISICA DE EDIFICACIONES Y LINEAS VITALES			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIOS DE INTERVENCION
ANALISIS DE VULNERABILIDAD FISICA Y LINEAS VITALES DE LOS MUNICIPIOS OCCIDENTALES Y NOR-OCCIDENTALES DE LA CUENCA	verificar el estado actual de las edificaciones y lineas vitales, así como determinar cuales de ellas no cumplen con las normas establecidas en el codigo de construcciones sismo-resistentes	Realizar la caracteriazacion estatica y dinamica de los suelos sobre los cuales se han ejecutado obras de infraestructura	Zonas del municipio de Santuario, Apia, Mistrato, Guatica y Anserma
		Realizar mapas de vulnerabilidad fisica de edificaciones y lineas vitales de acuerdo a escenarios hipoteticos planteados	
		Caracterizar las condiciones estructurales (Moposteria y cimentacion) de edificacion en terminos de la resistencia que ofrecen los materiales ante la ocurrencia de eventos sismicos	

4.8.3. Recomendaciones generales sobre los resultados de amenaza y riesgo volcánico

PROGRAMA DIAGNÓSTICO DE AFECTACION AL COMPONENTE BIOTICO			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIOS DE INTERVENCION
DETERMINACION DE AFECTACIONES CAUSADAS AL COMPONENTE BIOTICO	Determinar el impacto al ecosistema biotico por amenaza volcanica	determinar las afectaciones causadas a la salud de personas y animales por amenaza volcanica	zonas del municipio de Caldas sector occidental y pertenecientes a la cuenca como Belalcazar, San Jose y Risaralda
		determinar los daños por acumulacion de materiales volcanicos en fuentes hidricas bien sea por contaminación u obstrucción de cauces	

PRGRAMA DE ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD FISICA DE EDIFICACIONES			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIOS DE INTERVENCION
ANALISIS DE VULNERABILIDAD FISICA DE EDIFICACIONES UBICADAS EN ZONAS DE INFLUENCIA DE EMISION VOLCANICA	determinar el impacto potencial que puede generar la emision y acumulacion de ceniza volcanica sobre los techos de edificaciones	realizar la caracterización de los tipos de materiales de la cubierta y estructura de soportes de los techos de las viviendas que estan en riesgo de colapso por emision de ceniza volcánica	zonas del municipio de Caldas sector occidental y pertenecientes a la cuenca como Belalcazar, San Jose y Risaralda

PROGRAMAS DE ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD DE LINEAS VITALES			
PROPUESTA DE INTERVENCION	META	ACCIONES	SITIOS DE INTERVENCION
ANALISIS DE VULNERABILIDAD FISICA DE REDES DE ENERGIA ELECTRICA Y PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA	Determinar el impacto potencial que puede generar la emisión y acumulacion de ceniza volcánica sobre las lineas vitales	Cuatificar el indice de perdida o daño que pude causar la ceniza volcanica por abrasión u obstrucción de los elementos del sistema de generacion o distribucion de energía o por aumento en la conductividad electrica.	zonas del municipio de Caldas sector occidental y pertenecientes a la cuenca como Belalcazar, San Jose y Risaralda

4.9. Necesidades de información e investigación para el avance en el conocimiento de tipología de evento

4.9.1. Movimientos en masa.

La mayoría de eventos diagnosticados se encuentran asociados a cultivos varios (permanentes o semipermanentes y/o transitorios), y se correlaciona con la dinámica de cambio de uso del suelo que ha sufrido el área donde gran parte de los usos preexistentes han sido sustituidos por cultivos varios y pastos, generando cambios notables en las condiciones del sitio que contribuyen a la generación de fenómenos de remoción en masa. Se requiere en el avance para la identificación de la dinámica en el cambio de uso del suelo en la cuenca, que puedan ser correlacionados con los eventos ocurridos y de esta manera establecer la real incidencia en su ocurrencia de acuerdo al tipo de suelo existente, adicionalmente plantear medidas tendientes para garantizar el uso potencial del suelo que evite la generación de nuevos procesos en las zonas con susceptibilidad media y alta.

Es evidente la incidencia de los cortes del terreno por la ejecución de proyectos (vías y edificaciones) en la generación de los fenómenos de remoción en masa evidenciados y esto debido a la modificación topográfica y cambios en las condiciones del sitio que favorecen la ocurrencia de diversos fenómenos. Es necesario obtener información e investigación adicional sobre la real incidencia de cortes viales en los taludes referidos a modificaciones del comportamiento hidrogeológico del sitio, como también definir áreas susceptibles y medidas de prevención, mitigación y/o corrección para los corredores viales existentes y proyectados como fue definido anteriormente en las recomendaciones anteriores.

Las precipitaciones son el agente detonante por excelencia en la ocurrencia de deslizamientos en el área, lo que determina la necesidad en la investigación sobre los efectos de lluvias acumuladas para la generación de fenómenos de remoción en masa y así definir medidas preventivas y de monitoreo para sitios críticos y específicos.

En los sectores donde predominan los usos cultivos permanentes y/o cultivos limpios y pastos, donde se relacionan la mayoría de procesos en la cuenca, se asocian dichos fenómenos al incremento de la infiltración por el cambio de usos del suelo y por las variaciones que se presentan en la resistencia al corte de los materiales, cuando se pasa de coberturas arbóreas a especies de menor porte y menor profundidad de sistemas radicales. Estas consideraciones establecen la necesidad de evaluar la real infiltración en cada una de los materiales superficiales y cobertura presentes con el fin de definir las dimensiones del frente húmedo como también los niveles freáticos esperados

Las superficies de falla evaluadas de manera general están asociadas a los materiales que suprayacen las unidades geológicas existentes y referidas a limo vegetal, cenizas volcánicas principalmente y el saprolito proveniente de las rocas infrayacentes de cada sitio analizado.

Es necesario en el avance del conocimiento de las variaciones composicionales en los minerales de arcillas especialmente para las cenizas volcánicas, relacionado con los cambios de humedad del terreno tanto por actividades antrópicas como naturales, ya que este aspecto influye directamente en la generación de minerales con características higroscópicas que favorecen la generación de procesos en áreas puntuales.

La instrumentación geotécnica mediante la instalación de inclinómetros y piezómetros en áreas inestables, permitirán establecer la dinámica propia de cada tipo de evento y en sitios específicos donde se presenten unidades geológicas y formaciones superficiales diversas. Es preciso destacar que este tipo de estudios no se han adelantado en la zona y podrían contribuir de manera directa a un real conocimiento de los procesos existentes.

Se requiere de la caracterización detallada de los eventos ocurridos en la cuenca y su mapificación según fecha de ocurrencia, ya que a la fecha no existen registros actualizados por parte de las entidades estatales que puedan aportar datos actualizados sobre la ocurrencia de dichos eventos.

Para los eventos evaluados tanto antiguos como recientes, su dinámica puede evolucionar negativamente, de no intervenir los factores que controlan la actividad y podrían desencadenar impactos mayores sobre los territorios circundantes, para lo cual es necesario en el conocimiento detallado de cada proceso con el fin de determinar su real nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, como se establece en las recomendaciones generales descritas anteriormente como también en la tabla de estrategias de conocimiento y reducción del riesgo por tipo de evento.

Tabla 196. Estrategias de conocimiento y Reducción del Riesgo

ESTRATEGIAS DE CONOCIMIENTO Y REDUCCIÓN DEL RIESGO		
TIPO DE EVENTO	INSTRUMENTACIÓN	NECESIDADES DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN
MOVIMIENTOS EN MASA	inclinómetros, piezómetros	Obtención actualizada de los diferentes eventos ocurridos en la cuenca por parte de las entidades estatales y que puedan ser definidos según su tipología.
		Monitoreo constante del movimiento actual de las fallas activas medias por centímetros al año
		Verificación estructural de la infraestructura en la cuenca, tales como condiciones de agrietamiento en zonas de alta pendiente.
		Definición del tipo de materiales y modelo geológico detallado para las diferentes laderas en zonas de susceptibilidad media y alta.
		Actualización topográfica detallada en los sitios de susceptibilidad media y alta con presencia de diversos fenómenos en la cuenca.
		Realización de exploraciones del subsuelo y muestreos adicionales en zonas de susceptibilidad media y alta con el fin de establecer las condiciones geomecánicas de los materiales presentes.
		Hacer pruebas de infiltración constante en las zonas de interés prioritario para medir y analizar la infiltración constante en el subsuelo. Debido a las condiciones de precipitación.
		Caracterización geotécnica para macizos rocosos que permitan identificar potenciales eventos a generarse.

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.9.2. Incendios Forestales

Con respecto a incendios forestales se evidencia la alta incidencia del tipo de cobertura actual asociada a cambios en el uso del suelo que generan zonas de mayor susceptibilidad y amenaza ante incendios forestales, lo que requiere mayor conocimiento y necesidades sobre la real carga de combustible y su duración de acuerdo con levantamientos detallados de las coberturas presentes.

De acuerdo con lo anterior se requiere adelantar estudios detallados sobre la duración del combustible para los diferentes cultivos presentes en la zona, con el

fin de establecer una categorización más detallada de las especies que presenten mayor susceptibilidad a la generación de incendios forestales.

Es preciso contar con mayor cantidad de estaciones climatológicas en la zona que permitan establecer de manera puntual para cada sitio una categorización sobre esta factora como variable en la amenaza ante incendios forestales

Se requiere de la caracterización detallada de los eventos de incendios forestales ocurridos en la cuenca y su mapificación según fecha de ocurrencia, ya que a la fecha no existen registros actualizados por parte de las entidades estatales que puedan aportar datos actualizados sobre la ocurrencia de dichos eventos y de esta manera obtener una variable ajustada para el análisis de amenazas.

Es necesario en el avance en la identificación de los eventos ocurridos y su relación con el tipo de red vial asociada a la zona, que permita establecer tendencias acerca de la influencia de la conexión vial con la ocurrencia de dichos eventos; adicionalmente la evaluación de la importancia de las vías existentes en el momento de la atención de algún tipo de evento.

El factor antrópico debe ser abordado mediante evaluaciones detalladas, desde el punto de vista de su carácter contribuyente y/o detonante a la generación de incendios forestales, ya que a la fecha si bien existen algunos registros sobre las actividades que desencadenan dichos eventos, no hay valoraciones multitemporales que permitan identificar actividades categorizadas en grado de importancia.

Hacia las partes bajas se observa un predominio de los cultivos permanentes y/o cultivos limpios y pastos, donde se relacionan la mayoría de procesos en la cuenca asociados a incendios, relacionados al incremento de cambio de usos del suelo y por las variaciones que se presentan los cambios climáticos, es de denotar que hacia estas zonas de acuerdo a los pisos térmicos son áreas muy cálidas, y en relación al tipo de cobertura presente en la cuenca hacia estas partes bajas estas no retienen la humedad para la prevención de estos fenómenos, por el contrario aumenta su grado de susceptibilidad y amenaza.

Tabla 197. Estrategias de Conocimiento y Gestión del Riesgo

ESTRATEGIAS DE CONOCIMIENTO Y REDUCCIÓN DEL RIESGO		
TIPO DE EVENTO	INSTRUMENTACIÓN	NECESIDADES DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN
INCENDIOS	estaciones climatológicas	Recopilación periódica del registro de información climática (precipitación, temperatura, brillo solar y vientos), que se convierte en el insumo para el análisis de susceptibilidad de incendios.
		Avance e investigación sobre el conocimiento más detallado del tipo de combustibles vegetales en la cuenca
		Establecer la influencia antrópica para la susceptibilidad ante incendios forestales.
		Obtención actualizada de los diferentes eventos ocurridos en la cuenca por parte de las entidades estatales y que puedan ser evaluados según las características del evento ocurrido.

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.9.3. Inundaciones.

Al hacer un análisis sustancial y del territorio, en específico sobre la cuenca del río Risaralda, con respecto a estos eventos se puede constatar la ocurrencia de inundaciones y avenidas torrenciales principalmente sobre el cauce del río Risaralda hacia la parte media y baja de la cuenca, en específico sobre el sector de Belén de Umbría, con crecientes altas del cauce sobrepasando incluso el nivel máximo medido, adicionalmente en las cuencas del río Mapa y Río Totuí con presencia de avenidas torrenciales.

Si bien existen algunos registros sobre los diversos eventos, no cuentan con una caracterización detallada que permita evaluar sus condiciones particulares, para lo cual se debe contar con un inventario de eventos con caracterizaciones detalladas que permitan ser especializados y determinar tendencias a través del tiempo y su correlación con las variables contribuyentes y/o detonantes.

Es preciso instalar estaciones limnigráficas y sistemas de alerta temprana para diferentes sub cuencas del área, especialmente donde se han presentado eventos en los últimos años (Río Mapa y río Totuí), que permitan establecer las condiciones cambiantes de los niveles de las corrientes existentes.

Se requiere el avance del conocimiento sobre eventos torrenciales, ya que si bien existen algunos registros sobre ellos, es necesario contar con estudios detallados sobre áreas susceptibles a movimientos en masa, potenciales volúmenes a aportar (análisis de estabilidad de laderas) a los drenajes y en general como se comportaría el modelo hidráulico de dicha corriente con la inclusión de los sólidos provenientes de potenciales eventos.

En la cuenca existen una serie de depósitos antiguos torrenciales asociados al del río Totuí, los cuales si bien han sido objeto de mapificaciones y estudios preliminares, se requiere de su identificación detallada incluyendo dataciones adicionales a las efectuadas por la Carder, que permitan establecer las zonas realmente involucradas con eventos antiguos y diferenciables de los depósitos fluviovolcanicos existentes en la zona.

Efectuar análisis sobre el tipo de obras de control de torrencialidad más apropiadas a ejecutar sobre el cauce según el tipo de drenaje existente, para lo cual se deben a ejecutar algunas acciones de mitigación sobre los drenajes objeto de este tipo de afectación, y su valoración y seguimiento de los resultados obtenidos a través del tiempo.

Se ha podido concluir que estos eventos, son en su mayoría ocasionados por precipitaciones fuertes hacia la parte media y baja de la cuenca y en específico hacia la desembocadura del Río risaralda.

Efectuar análisis sobre las áreas de suelos de protección en la cuenca y su relación con las zonas definidas con amenazas de tipo hidrológico, con el fin de la correspondencia de dichas zonas y/o la necesidad del replanteamiento de la normatividad vigente para este tema.

Para los eventos evaluados tanto antiguos como recientes, su dinámica puede evolucionar negativamente, de no intervenir los factores que controlan la actividad y podrían desencadenar impactos mayores sobre los territorios circundantes, para lo cual es necesario en el conocimiento detallado de cada proceso con el fin de determinar su real nivel de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, como se establece en las recomendaciones generales descritas anteriormente como también en la tabla de estrategias de conocimiento y reducción del riesgo por tipo de evento.

Tabla 198. Estrategias de Conocimiento para la Gestión del Riesgo

ESTRATEGIAS DE CONOCIMIENTO Y REDUCCIÓN DEL RIESGO		
TIPO DE EVENTO	INSTRUMENTACIÓN	NECESIDADES DE INFORMACIÓN E INVESTIGACIÓN
INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES	Estaciones limnigráficas en los cauces principales como en afluentes secundarios de relevancia en la parte alta. Adicionalmente niveles batimétricos en los sitios de interés prioritario.	Obtención actualizada de los diferentes eventos ocurridos en la cuenca por parte de las entidades estatales y que puedan ser evaluados según el tipo de evento ocurrido.
		Definición de las áreas catalogadas como de susceptibilidad y amenaza ante inundaciones definidas por las entidades territoriales y su actualización periódica según los eventos y estudios técnicos actualizados.
		control minero generado sobre los afluentes principales y tributarios secundarios, para la debida zonificación del territorio. Y que puedan contribuir a la mitigación de avenidas torrenciales sobre el tejido urbano.
		Implementación de medidas de torrencialidad en las partes altas del rio Totui y el rio Mapa.
		verificación estructural de los jarillones en el sector de la Virginia, como control preventivo ante estos fenómenos. tales como condiciones de agrietamiento en zonas de alta pendiente.
		Realización de secciones batimétricas que permitan efectuar una correcta modelación hidráulica.
		Actualización topográfica en las zonas de susceptibilidad media y alta ante inundaciones y avenidas torrenciales con el fin de mapificar adecuadamente las manchas calculadas basados en las secciones ejecutadas.

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.10. Intervenciones prospectivas, correctivas y prescriptivas por categoría de riesgo.

Con respecto a la cuenca se ha podido observar que, en los últimos años, ha sufrido cambios representativos y substanciales, con respecto al ordenamiento territorial de cada uno de los municipios que en este caso pertenecen a la cuenca del Río Risaralda, esto con respecto a crecimiento poblacional en zonas de alta pendiente, y por consiguiente cambios de uso del suelo del mismo. Esto conlleva a que nuestro territorio, tenga aún más susceptibilidad ante movimientos en masa y otros eventos amenazantes que, de una forma directa o indirecta, generan vulnerabilidad del territorio afectando principalmente las condiciones físicas, bióticas y humanas.

Se propone para cada una de las condiciones de riesgo, de acuerdo a sus zonas de susceptibilidad y amenaza, propuestas de intervención, siendo el caso extremo evaluando las posibles causas de ocurrido un evento amenazante, y como puede influir este sobre el territorio.

Cabe denotar que los sectores con mayores condiciones de riesgo, son los municipios de Santuario, Apía, Belén de Umbría adicionalmente el municipio de la Virginia en específico en riesgo ante inundaciones y avenidas torrenciales y localizadas sobre todo este eje de montaña.

En la siguiente tabla se remiten de manera general las propuestas de intervenciones prospectivas, correctivas y prescriptivas para cada evento evaluado:

4.10.1. Movimientos en masa.

Figura 177. Intervenciones en Zonas Según Categoría de Riesgo

INTERVENCIONES EN ZONAS SEGÚN CATEGORÍA DE RIESGO. (MOVIMIENTOS EN MASA)			
CATEGORÍA DE RIESGO	INTERVENCIÓN PROSPECTIVA. (ÁREA NO OCUPADA) A	INTERVENCIÓN CORRECTIVA (ÁREA OCUPADA) B	INTERVENCIÓN PRESCRIPTIVA (EXIGENCIAS)
ALTO	Restricción de asentamientos de nuevos elementos (viviendas) hasta tanto no se adelanten estudios detallados y particulares de la situación en cada sitio específico y así definir actuaciones para nuevos asentamientos.	Revisión detallada del nivel de riesgo para viviendas, y demás elementos analizados que permitan definir las acciones a emprender (estabilización y/o elusión del nivel de riesgo) como también implementación de sistemas de alertas para sitios críticos.	Adelantar la actualización de las evaluaciones en las condiciones actuales de amenaza y proceder a la aplicación a corto plazo de acciones tendientes a la disminución de dichas zonas.
	Restricción en la construcción de obras de infraestructura basado en el tipo de obra a implementar y basado en estudios detallados de la situación de riesgo asociado al tipo de evento presente.		
	Restringir el cambio de uso del suelo hasta tanto se identifique el uso potencial del mismo basado en estudios y evaluaciones detalladas.		
MEDIO	Efectuar monitoreos constantes de las condiciones de riesgo existentes, como también sistemas de alertas para sitios críticos.	Efectuar monitoreos constantes de las condiciones de riesgo existentes y asociado a los elementos presentes como también sistemas de alertas para sitios críticos.	Implementación de medidas tendientes a la mitigación del nivel de amenaza.
	Implementación de medidas tendientes a la mitigación del nivel de amenaza, mediante el cambio de uso del suelo, manejo de aguas superficiales y reconfiguraciones en las zonas críticas.	Delimitación de las zonas de amenaza MEDIA, con el fin de identificar y establecer acciones que permitan mitigar el nivel de amenaza presente mediante manejos adecuados de la superficie y controles sobre los vertimientos de aguas residuales domésticas.	Delimitación de las zonas de amenaza e implementación de acciones para el control del aumento de dichas zonas, mediante manejo adecuado de aguas superficiales, cambio de uso del suelo, reconfiguraciones y controles sobre intervenciones antropocénicas.
	Efectuar controles de cambios de usos del suelo, e intervenciones antropocénicas adelantadas en estos sitios.	Generar sistemas de información sobre las comunidades y elementos expuestos sobre las condiciones de riesgo existentes y las formas de afrontarlos.	Implementación de medidas tendientes a la mitigación del nivel de vulnerabilidad de los elementos.
BAJO	Adelantar acciones sobre un adecuado manejo de aguas superficiales y controles de los cambios en el uso del suelo para evitar el aumento de las áreas catalogadas con un nivel de amenaza bajo.	Efectuar valoraciones sobre las condiciones actuales de las áreas con elementos expuestos, con el fin de establecer acciones tendientes al control de los niveles de amenaza actual, según algún tipo de actividad no estructural.	Verificación constante del avance de los procesos de intervención antropocénica que se adelanten para viviendas y/o obras de infraestructura que puedan contribuir a la variación del nivel de amenaza presente.
	Efectuar monitoreos constantes que permitan evaluar las condiciones de amenaza para diferentes eventos y establecer las condiciones de asentamientos para elementos en áreas que hayan presentado algún tipo de modificación en el nivel de amenaza.	Revisión del estado de los elementos existentes, con el fin de visualizar su estado y requerimientos para mejorar las condiciones constructivas.	Implementación de medidas tendientes a la mitigación del nivel de amenaza y lo potencial generación de nuevos procesos.

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.10.2. Incendios forestales.

Figura 178. Intervenciones en Zona Según Categoría de Riesgo

INTERVENCIONES EN ZONAS SEGÚN CATEGORÍA DE RIESGO (INCENDIOS FORESTALES)			
CATEGORÍA DE RIESGO	INTERVENCIÓN PROSPECTIVA. (ÁREA NO OCUPADA) A	INTERVENCIÓN CORRECTIVA (ÁREA OCUPADA) B	INTERVENCIÓN PRESCRIPTIVA (EXIGENCIAS)
ALTO	Prohibición de actividades antrópicas de carácter negligente que aumenten la probabilidad de amenaza ante incendios forestales en zonas de alta susceptibilidad, tales como arrojar colillas de cigarrillo mal apagadas, botellas de cristal, basuras con alto potencial de biogas, generación de vertederos ilegales con desechos combustibles y hogueras mal apagadas.	Revisión detallada de las coberturas existentes en las áreas adyacentes a los elementos existentes y valoración económica del cambio de cobertura de ser requerida según evaluaciones particulares.	Efectuar la valoración del cambio de cobertura de sitios afectados por incendios forestales.
	Restricción en el cambio del suelo referida a sugerir evitar la proliferación de combustibles forestales que aumenten la amenaza ante este evento.	Implementación de medidas de mitigación en zonas afectadas (reposición de cobertura afectada mediante la instalación de especies apropiadas para la zona y que no presenten alta carga de combustible). por incendios y demarcación puntual de las zonas que presentan alta amenaza ante incendios forestales.	adicionalmente análisis de costos de medidas de mitigación del nivel de amenaza ante incendios forestales mediante el cambio de cobertura actual y prohibición de ejecución de actividades antrópicas que puedan generar incendios forestales tales como adición de colillas de cigarrillos, basuras, envases de vidrio y la implementación de fogatas sin adecuadas acciones en su desmantelamiento.
MEDIO	Efectuar monitoreos constantes en zonas de media susceptibilidad ante incendios forestales a través de la implementación de sistemas de alerta ante la generación de incendios, mediante inspección visual por parte de entidades y apoyo de la comunidad para dar aviso de cualquier potencial conflagración.	Efectuar revisión de las coberturas existentes en las zonas adyacentes a los elementos expuestos y la viabilidad de reposición de coberturas a especies que puedan representar menor susceptibilidad ante incendios forestales.	Implementación de medidas tendientes a la mitigación del nivel de amenaza mediante el cambio de coberturas a especies que presenten menor susceptibilidad ante incendios forestales.
	Implementar acciones de mitigación del nivel de amenaza mediante el cambio de cobertura a especies que puedan generar menor susceptibilidad ante incendios forestales.	Generar sistemas de información y líneas para la comunidad y por consiguiente prevención de elementos expuestos en estas zonas de riesgo existentes y las formas de afrontarlos; adicionalmente establecer un sistema de alertas mediante inspecciones visuales coordinadas con la comunidad y entidades del orden municipal y/o departamental.	Delimitación particular de las zonas de amenaza ante incendios forestales y el nivel de riesgo según los elementos en riesgo involucrados, efectuando socializaciones con la comunidad asentadas en el área.
BAJO	Efectuar monitoreos constantes sobre los cambios de uso del suelo que se generen en la cuenca, con el fin de establecer que tipo de cobertura a implementar tales como bosques densos y que presenten menor susceptibilidad ante incendios forestales.	Revisión de las condiciones actuales de los elementos ubicados en zonas de amenaza baja y evaluación de las variaciones a presentarse a través del tiempo que puedan ser contribuyentes al cambio en la categoría de amenaza baja en la cuenca.	Efectuar análisis de costos de medidas de mitigación del nivel de amenaza ante incendios forestales mediante el cambio de cobertura actual y prohibición de ejecución de actividades antrópicas que puedan generar incendios forestales tales como adición de colillas de cigarrillos, basuras, envases de vidrio y la implementación de fogatas sin adecuadas acciones en su desmantelamiento.

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

4.10.3. Inundaciones.

Figura 179. Intervención en zonas según Categoría de Riesgo

INTERVENCIONES EN ZONAS SEGÚN CATEGORÍA DE RIESGO (INUNDACIONES)			
CATEGORIA	INTERVENCION PROSPECTIVA (AREA NO OCUPADA) A	INTERVENCION CORRECTIVA (AREA OCUPADA) B	INTERVENCION PRESCRIPTIVA (EXIGENCIAS) C
ALTO	Prohibición del asentamiento de nuevos elementos en zonas de amenaza alta ante eventos hidrológicos, para evitar el aumento de elementos en riesgo.	Revisión detallada a nivel de riesgo para viviendas y demás elementos analizados que permitan las acciones a emprender y definir si es un tipo de riesgo alto mitigable o no mitigable, y de esta manera emprender las acciones tanto como recomendaciones estructurales (obras de control de inundaciones tales como protección de las márgenes, obras de disipación de las líneas de corriente entre otras.) y no estructurales (reubicación de edificaciones.)	Implementación de las acciones para los elementos definidos con riesgo alto mitigable y no mitigable, que involucren obras estructurales (obras de protección)... Y no estructurales (reubicación de viviendas).
	La instalación de obras de infraestructura en estos sitios deben contar con los estudios detallados sobre la viabilidad de su implementación como también las acciones para mitigar el nivel de amenaza y/o riesgo o la elusión.	Evaluación económica de las obras planteadas para las áreas definidas y la viabilidad de su aplicación. Adicionalmente se recomienda la implementación de mayor número de sitios de alertas tempranas en las zonas de amenaza alta mediante la instalación de estaciones limnigráficas.	Evaluación económica de las acciones a implementar y la viabilidad de su aplicación.
	Implementación de planes de obra minero, en los sitios identificados inicialmente en la zonificación, para la mitigación del nivel de amenaza y/o riesgo en las partes bajas	control estructural de los jarillones en las partes bajas de la cuenca, como control preventivo ante estos.	
	Las zonas de amenaza alta ante inundaciones deberán ser destinadas a suelos de protección con el fin de mantener regulación hídrica de la corriente como también evitar la generación de procesos en las márgenes.	En las áreas adyacentes a los elementos evaluados, se recomienda conservar las franjas forestales protectoras.	
MEDIO	Evitar el establecimiento de nuevos elementos en zonas de amenaza alta ante inundaciones y efectuar monitoreo constante de de potenciales asentamientos ilegales en estos sitios y proceder a su retiro del área. Adicionalmente se deberá implementar sistema de alerta temprana mediante la instalación de estaciones limnigráficas en las zonas de amenaza alta y que puedan definir las condiciones cambiantes de la corriente	verificar y controlar los límites de las fajas forestales protectoras y hacer una delimitación de las zonas de amenaza alta actual con respecto a los elementos existentes. Adicionalmente implementar obras de control de las líneas de la corriente principal y de protección de riberas	Evaluar las obras a implementar que incluyen la protección de las riberas, fajas protectoras y control de las líneas preferenciales de la corriente.
		Implementar sistemas de alerta temprana mediante la instalación de estaciones limnigráficas y monitoreo constante por parte de la comunidad y entidades estatales con el fin de evitar la ocurrencia de algún tipo de evento hidrológico.	Delimitación puntual de las zonas con amenaza media y la socialización de las actividades, obras y acciones a emprender con la comunidad y entidades involucradas.
BAJO	Efectuar monitoreos constantes sobre las actividades antropicas ejercidas en la cuenca y que puedan generar variaciones en las condiciones de amenaza de cada sitio puntual. Esta actividad debe ser coordinada con la comunidad y entidades estatales.	utilización de gaviones para el control preventivo de la subida del cauce, hacia las partes bajas del cauce, donde aún se presenten asentamientos humanos.	Si es posible reubicación de asentamiento humanos, que se vean vulnerables y por consiguiente generen condiciones de riesgo graves,
	Controles de actividades antropicas y de fenómenos de remoción en masa a lo largo de la cuenca que puedan generar eventos torrenciales sobre el territorio y modificar el nivel de amenaza presente.	Efectuar controles sobre actividades antropicas ejercidas sobre las áreas de amenaza baja y que puedan generar variaciones en el nivel presente. Implementar acciones de estabilización en las laderas que hacen parte de la cuenca para evitar la generación de eventos torrenciales.	Evaluar las obras a implementar que incluyen los monitoreos, y estabilizaciones de laderas en la para evitar generación de fenómenos de remoción en masa y de esta manera evitar evento torrenciales.
	Las obras de infraestructura a implementar deben contar con los estudios detallados tendientes a establecer que dichas acciones no presentaran variaciones en el nivel de amenaza presente.		

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda

5. CONCLUSIONES.

Las unidades geológicas predominantes en el área de estudio corresponden a la Formación Barroso, la Formación Penderisco, el Stock de Mistrató, los Gabros de Anserma y los Depósitos Aluviales Recientes del río Risaralda.

Estructuralmente, la cuenca del río Risaralda presenta sistemas de dirección N-S a N20 E, relacionados con la Falla Cauca–Patía, donde se destacan diversos ramales como son las fallas Apía, Toro y Mistrató, mientras hacia el oriente de la cuenca del río Risaralda, corresponde a la Falla Quebradanueva. Dichas estructuras condicionan la estabilidad de los materiales e inciden en la amenaza sísmica local. Para el caso particular del valle del río Risaralda, éste se localiza en una zona de amenaza sísmica de moderada a alta.

Geomorfológicamente la cuenca del río Risaralda presenta un predominio de unidades de relieve montañoso y colinado estructural erosional y de depósitos coluvio-aluviales recientes, que constituyen uno de los rasgos fisiográficos más significativos y evidentes del área de estudio.

En general, los fenómenos de remoción en masa para los territorios de la cuenca del río Risaralda, están asociados a las unidades geológicas Formación Barroso y Gabros de Anserma. La amenaza por fenómenos de remoción en masa se concentra en el sector suroccidental de los departamentos de Caldas y Risaralda y los mismos están relacionados con las fuertes pendientes, el afloramiento de rocas altamente fracturadas y diaclasadas, usos inadecuados del suelo y la acción de un factor detonante como las lluvias en los períodos húmedos del año.

Las cabeceras urbanas de Belalcázar, San José y Anserma se ubican sobre geoformas que coronan colinas, en un basamento basáltico con fuerte control estructural, altamente fracturado y diaclasado, expuesto a una intensa meteorización. La presión ejercida sobre el suelo por la intensidad de uso ha provocado erosión considerable donde convergen factores naturales tales como tipo de roca, morfometría alta, intenso grado de fracturamiento, meteorización y factores antrópicos que acentúan las condiciones de alto riesgo por movimientos en masa.

De igual forma, para los municipios del territorio Risaraldense, la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa está asociada a las unidades geológicas aflorantes, las fuertes pendientes, los controles estructurales y la presencia de factores coadyuvantes como el mal manejo de aguas servidas y de escorrentía, las bajas especificaciones de infraestructura, la conflictiva ubicación de descoles y vertimientos y las deficiencias constructivas de edificaciones.

Geomorfológicamente la cuenca del río Risaralda manifiesta un predominio de unidades denudativas en relieve montañoso con buen desarrollo de suelos

residuales, y con presencia de zonas escarpadas, ladera y vertientes alargadas propias de modelado estructural.

A su vez, en otros sectores, es de particular significado la conformación y evolución tectónica, como es el caso de la parte occidente de la cuenca, mientras en la parte alta de la cuenca, los procesos volcánicos, dieron lugar al modelado principal del sector.

Uno de los aspectos de mayor relevancia, dentro del modelado del paisaje, corresponde al desarrollo de una zona poco desarrollada de piedemonte constituido por materiales denudados y erosionados de las partes altas de la cuenca. Relacionado con la interacción entre los materiales geológicos y los procesos climáticos y morfodinámicos, y en general presentan un espeso desarrollo de suelos residuales.

El 48,40% del área de trabajo que corresponde a un total de 48976,98 m², se encuentran cartografiados como materiales del cretácico donde se incluyen unidades geológicas representativas de la cordillera occidental como la Formación Penderisco y la Formación Barroso, lo que establece que sean materiales muy poco afectados por intervención antrópica, adicionalmente sus condiciones de meteorización alta favorecen las condiciones para la generación de procesos erosivos en el territorio.

La zona se encuentra afectada por 7 fallas definidas algunas con su tasa de movimiento DEFINIDA (> 1 mm/año), y 10 fallas no definidas y/o lineamientos, lo que demuestra la ALTA INCIDENCIA TECTONICA EN LA ZONA que generan sitios de confluencia de elementos tectónicos que podrían ocasionar afectaciones por fenómenos de remoción en masa y actividad sísmica. Esto sectores se relaciona principalmente para el área de Santuario, Apía, Mistrató, Guatica, Belalcázar.

Las Unidades Geológicas Superficiales UGS identificadas en la zona presentan como mayor porcentaje el suelo residual ígneo volcánico de la Formación Barroso con el 23,84 % (29950,95 Ha), seguido de suelo residual sedimentario con 14,32% (17983,44 Ha) y en tercer lugar por suelo residual ígneo intrusivo del Plutón de Mistrató con 9,75 % (12247,21 Ha); lo que establece el favorecimiento de actividades antrópicas por cambio de usos del suelo a cultivos, favorecido por el aporte de minerales al suelo por parte de dichas unidades y también por su facilidad de intervención antrópica para modificación topográfica, lo que generaría cambios notables en las condiciones actuales del sitio y por consiguiente podría presentarse adicionales factores contribuyentes a la generación de áreas inestables en el territorio. Las anteriores consideraciones permiten establecer la heterogeneidad de las características geomecánicas de los materiales existentes, denotando el

carácter fino del material con índices de plasticidad muy cambiantes para cada una de las determinadas zonas.

Las Unidades geológicas superficiales en general presentan según la clasificación SUCS corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL), con un porcentaje para tamiz pasa # 200 desde 88,69 (terrazas) hasta 90,49 % (llanuras) lo que denota la fracción fina del material. La densidad húmeda presenta valores entre 1,61 gr/cc³ (terrazas) hasta 1.54 gr/cc³ (llanuras); La humedad natural presenta valores desde 45,56 % (suelo residual ígneo volcánico del Fm. Barroso) hasta 35,04 % (Coluviones). Los índices de plasticidad varían entre 4,22 % (suelo residual ígneo intrusivo del gabro Uralítico de Belén de Umbría) hasta 25,77 % (Depósitos de ceniza). Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión desde 0.21 kg/cm² (llanuras) hasta 0.98 kg/cm² (suelo residual ígneo intrusivo del gabro Uralítico de Belén de Umbría) y de ángulo de fricción varía desde 23° (abanicos aluviales) hasta 32,44° (suelo residual ígneo intrusivo del Plutón de Mistrató)

Los espesores de las Unidades Geológicas superficiales UGS varían desde 0,5 m hasta 2m y esto obedece principalmente el tipo de exploración realizada (trincheras), siendo necesaria la exploración sistemática y mediante sondeos mecanizados con el fin de establecer los reales espesores y la distribución de los materiales existentes en la cuenca.

Se identificaron un total de 71 procesos activos de los cuales predominan los rotacionales, flujos y desprendimientos asociados a cortes viales. Los sectores más afectados por procesos activos están asociados con el municipio de Santuario, Apía, Mistrató hacia el occidente de la Cuenca, y centro norte como lo son el sector de Guatica y Anserma afectados por el reciente fenómeno de la niña.

La principal tipología de los procesos evaluados corresponde a fenómenos rotacionales, flujos y desprendimientos; y para los fenómenos antiguos se relacionan gran cantidad asociados los cortes viales ejecutados en el área.

Para la cuenca se definieron dos tipificaciones básicas, como lo son el nivel de estabilidad e inestabilidad que tiene el territorio siendo estas 72,35% y 27,65% respectivamente.

Las áreas SINAP de mayor representación en la cuenca corresponden a Parque regional Tatamá y la reserva de la cuchilla de San Juan abarcando estas aproximadamente el 30% de todos los tipos de áreas de protección, siendo los sectores occidente y norte de la cuenca donde se localizan las mayores áreas de protección; por tanto estas zonas presentan un mayor grado de fragilidad ecosistémica ya que se encuentran expuestas en zonas críticas (alta

susceptibilidad) y también coinciden en una amenaza media para la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

En varios sectores de susceptibilidad alta y media donde confluyen áreas de protección ambiental existe la presencia de varios entes de regulación ambiental; lo cual refleja que cada una de estas entidades rige su propia delimitación de protección frente al desarrollo de actividades antrópicas en la zona, por tanto no es posible hacer una delimitación exacta.

Hacia la parte occidente y norte de la cuenca se evidencian sistemas del terreno montañosos, conformados por cuchillas alargadas y escarpadas, en las cuales se denota la presencia de elementos y cultivos para el consumo humano con un grado de exposición alto frente a amenaza por fenómenos de remoción en masa, debido a que al encontrarse en zonas de alta pendiente, se acelera la probabilidad de desencadenamiento de este tipo de eventos.

De veredas que conforman la cuenca, 237 de estas se encuentran en zonas de amenaza y susceptibilidad, siendo las veredas del municipio de Santuario las de mayor afectación con un cubrimiento del 100% del total de las veredas del mismo, seguida de Apía y Mistrató, con un cubrimiento de casi el 100% de las veredas afectadas. Cabe destacar que para la cuenca del río Risaralda, de los 14 Municipios pertenecientes, 7 de ellos, su casco urbano se presenta en una zona de susceptibilidad y amenaza media a alta. Como es el caso de Santuario, Apía, Mistrató, Guatica, Anserma, Belalcázar y Belén de Umbría.

Debido a que no existe un estudio de vulnerabilidad de las condiciones actuales de los elementos expuestos en cada una de las zonas, es decir, del tipo de infraestructura física, material de las viviendas, vías, estructuras de las líneas de acueducto, bocatomas, gasoductos, la fragilidad física fue adelantada basado en la metodología propuesta requiriéndose más estudios detallados del estado actual de los elementos existentes.

El nivel de estudio para la determinación del ICV comprende los escenarios urbano y rural para cada uno de los 14 municipios que tienen jurisdicción en la cuenca; sin embargo, para la elaboración del estudio de vulnerabilidad se requería niveles más específicos tal como veredas, por lo que la fragilidad social fue calculada con un ponderado entre los parámetros salud, vivienda, educación, equipamientos y servicios de cada municipio.

El 99,02% de las edificaciones representado en 15268 unidades y/o construcciones se encuentra en una amenaza ALTA. En relación a un 0,8% (44) viviendas que representan una amenaza BAJA.

Con respecto a las vías se establece que los municipios de Santuario (26,27%), Apía (16,75%) y Belén de Umbría (16,45%) son los municipios con mayor afectación vial, incluyendo vías desde tipo 1 hasta de tipo 7, lo que representa condiciones de amenaza ALTA Y MEDIA preponderantemente cubriendo el sector occidental de la cuenca.

Del total de 107 bocatomas que se tienen en la cuenca, el 100 % se encuentran en nivel de amenaza ALTA. Estos localizados hacia la parte occidente, norte y oriente de la cuenca.

Los tramos viales que caen en zonas de amenaza, se encuentran en un riesgo BAJO, correspondiendo a 71436,09 m principalmente de vías primarias nacionales que comunican el centro de Colombia con el occidente colombiano.

Para el caso del tejido urbano continuo, y en específico el municipio de la Virginia Risaralda, está dividido en dos tipos de riesgo, riesgo MEDIO a las zonas más próximas a los cauces principales del río Risaralda y riesgo BAJO a zonas alejadas o proximales a las zonas de piedemonte.

Con respecto a puentes y/o cruces de drenajes, se establece que 10 se catalogan en nivel de riesgo MEDIO

La población estimada es de 7757.23 personas (18 %), catalogadas en un riesgo MEDIO.

Otras áreas de protección ambiental, se encuentran en un riesgo BAJO ante fenómenos de inundaciones torrenciales.

Después de hacer el análisis respectivo frente a este tipo de eventos, se puede evidenciar que todos los elementos expuestos analizados se encuentran en un riesgo BAJO, ante este fenómeno,

Los tramos viales que caen en zonas de amenaza, se encuentran en un riesgo MEDIO y BAJO, correspondiendo a 36.8% y 63.2% representando vías desde primer nivel hasta séptimo nivel.

Para el caso de las viviendas se puede establecer que, del total de viviendas de 3356 unidades existentes en riesgo BAJO para las condiciones analizadas, bajo este escenario 1504 viviendas presentan categoría de riesgo MEDIO que corresponde al 56.89% del total de elementos sobre la cuenca

En general las áreas de protección ambiental de tipo SINAP, al igual que otro tipo de áreas presentan zonas en riesgo BAJO, para un total de 9830.54 Ha de áreas SINAP y 12036.09Ha, en total sobre la cuenca.

Con respecto a puentes y/o cruces de drenajes, se establece que 15 se catalogan en nivel de riesgo MEDIO, y 31 conservan la categoría de riesgo BAJO.

La población estimada en nivel de riesgo medio asciende a 7046.52 personas (18 %) mientras que la población restante de 6263.57 (16%) se cataloga como elementos en riesgo BAJO. Esto para un total de 39147.36 personas.

Si bien en el municipio de La Virginia se implementaron obras para el control de inundaciones, se recomienda efectuar valoraciones detalladas del estado de los Jarillones, evaluaciones de potenciales afectaciones ante eventos torrenciales estableciendo de manera precisa los volúmenes aportantes en cada una de las fuentes superficiales aferentes como también por el “represamiento” y aumento del nivel del río Cauca con relación a las obras descritas que permitan establecer de manera detallada la situación actual de riesgo ante este tipo de evento en la zona descrita.

- Implementar las acciones planteadas para el control de potenciales inundaciones en el sector de La Virginia, ya que después de contruidos los Jarillones no se cuentan con sistemas de evacuación de aguas planteadas como medida complementaria ante potenciales eventos hidrológicos.

6. BIBLIOGRAFÍA.

Álvarez, A. J. 1983. Geología de la Cordillera Central y el Occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenoicos. Boletín Geológico de INGEOMINAS. V. 26, N. 2:1 -175.

ARIAS, G.F. 1993. Evaluación Hidrogeológica para el Área de Dosquebradas-Risaralda. CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE RISARALDA CARDER. 114 p.

CABALLERO, H. Y ZAPATA, G. 1984. Geología y Geoquímica de la Plancha 224 Pereira. Informe 193. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA – INGEOMINAS. Medellín, 186 p.

Cardona, Francisco Javier y Ortiz, Mario. ASPECTOS ESTRATIGRAFICOS DE LAS UNIDADES DEL INTERVALO PLIOCENO-HOLOCENO ENTRE PEREIRA Y CARTAGO. Propuesta de Definición Formal para la Formación Pereira. 1994.

BORRERO, C. et al 1994. Caracterización de depósitos volcánicos en la Cordillera Central. III Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, T. I, Armenia.

CARDER- EGEO. 1984. Inventario Básico de las Cenizas Volcánicas Cuaternarias en la zona suroriental de Risaralda y recomendaciones para la evaluación de riesgos sísmico y volcánico.

CARDER-HERMELÍN & ASOCIADOS. 1988. Identificación de viviendas en peligro en el área metropolitana de Pereira y Dosquebradas

CARDER-HERMELÍN & ASOCIADOS. 1991. Zonificación Geológica de terrenos de Pereira y Dosquebradas en función de la aptitud para su uso

CARDER. 1991. Informe Técnico sobre los efectos producidos en las cuencas media y alta del Río Otún por las lluvias presentadas durante el fin de semana comprendido entre el 17 y el 19 de mayo de 1991.

CARDER. 1991. Evaluación Geológica Geomorfológica de la Microcuenca de la Quebrada Volcanes Municipio de Santa Rosa de Cabal.

CARDER. 1991. Evaluación Geológica y Geomorfológica de la Microcuenca de la Quebrada San José de Santa Rosa de Cabal.

CARDER- INGEOMINAS. 1993. Estudio de Amenaza Volcánica del Nevado Santa Isabel.

CARDER- UNIVERSIDAD DE CALDAS. 1993. Tesis de grado en Geología. Aspectos estratigráficos de las unidades del intervalo plioceno holoceno entre Pereira y Cartago. Propuesta de definición para la formación Pereira.

CARDER- UNIVERSIDAD DE CALDAS. 1994. Tesis de grado en Geología. Evaluación geológica y geomorfológica de la microcuenca de la Quebrada Canoas

CARDER. 1997. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa. Evaluación Neotectónica.

CARDER, 2001. Informe Final - Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Pereira.

OROZCO, J.I. VÉLEZ, J.W. URIBE, F. y ESCOBAR, M.C. 1991. Informe técnico de la creciente torrencial del río San Juan, municipio de Pereira. Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Pereira, Risaralda. Pereira. 24 p.

Universidad de Caldas – CARDER, 1997. Unidades geomorfológicas y cartografía de Formaciones Superficiales. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Convenio CARDER - Universidad de Caldas, Pereira.

EGEO Ltda. 1984. Estudios Geológicos. Inventario Básico de las Cenizas Volcánicas Cuaternarias en la Zona Sur Oriental de Risaralda y Recomendaciones para la Evaluación del Riesgo Sísmico y Volcánico en la Cuenca Alta del Río Otún. CARDER.

González, H. 1993. Mapa geológico del departamento de Risaralda escala 1:100.000, memoria explicativa. INGEOMINAS, Santafé de Bogotá, Colombia.

Irving, E. M. 1971. Evolución Estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. Boletín geológico Vol. XIX No. 2. 1971.

James, M. 1986. ESTUDIOS SISMOTECTONICOS EN EL AREA DEL ANTIGUO CALDAS. INGEOMINAS, Medellín.

Mosquera, D. Marín, P. Vesga, H. González, H. 1998. Geología de la Plancha 225 – Nevado del Ruiz.

Nelson, H. W. 1962. CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA. Sección entre Ibagué y Armenia. En Boletín Geológico Volumen X Enero-Diciembre Nos. 1-3.

Parra, E. et al., 1984. ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS EN EL TRAMO URBANO DEL RÍO OTUN Y LA QUEBRADA DOSQUEBRADAS.

Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F. 1975. EDADES RADIOMETRICAS DE ALGUNAS ROCAS DE ANTIOQUIA. Pub. Esp. Geol. Univ. Nal. Medellín.

Restrepo, J.J. Y Toussaint, J.F. 1989. TERENOS ALOCTONOS EN LOS ANDES COLOMBIANOS. EXPLICACION DE ALGUNAS PARADOJAS GEOLOGICAS. En MEMORIAS V CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGIA. Bucaramanga.

Restrepo, J.J. Y Toussaint, J.F. 1985. UNIDADES LITOLOGICAS DE LOS ALREDEDORES DE MEDELLIN. Pub. Esp. 2 I.C.N.E. Universidad Nal. De Colombia, Medellín.

ION DE EDADES RADIOMETRICAS DE COLOMBIA DEPARTAMENTOS ANDINOS HASTA 1982. En Boletín de Ciencias de la Tierra No. 7-8.

Restrepo, J.J. y Toussaint J.F. 1974. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL DE LOS ANDES COLOMBIANOS. Pub. Esp. Geol. Univ. Nal. Medellín No. 4.

Restrepo, J.J. y Toussaint, J. F. 1983. METAMORFISMOS SUPERPUESTOS EN LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA, En Boletín de Ciencias de la Tierra No. 7-8.

Toro, G y Hermelín M. 1992. ASPECTOS SOBRE TEFRAESTRATIGRAFIA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA. En MEMORIAS II SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE RIESGO GEOLÓGICO URBANO. Tomo I. Pereira.

Toro, G. E. y Hermelín, M. 1991. PROYECTO TEFRAESTRATIGRAFIA COLOMBIANA II ETAPA. Tefraestratigrafía del Departamento de Risaralda. Memorias Proyecto de Investigación.

Toussaint, J.F., 1996, Evolución geológica de Colombia durante el Cretácico: Medellín, Universidad Nacional de Colombia, p. 277.

Villota, H. 1984. CARTOGRAFIA DE LA FISIOGRAFIA Y EROSIÓN DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS OTUN Y CONSOTA-BARBAS.

Van der Hammen, T., 1958, Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos: Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional, v. 6, p. 67-128.

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. 2009. Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia.

Bonasia, R., Capra, L., Costa, A., Macedonio, G., Saucedo, R., 2011. Tephra fallout hazard assessment for a Plinian eruption scenario at Volcán the Colima (Mexico). Journal of Volcanology and Geothermal Research Vol 203, pp 12 – 22.

CARDER, 2000. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Informe Final.

INGEOMINAS., 1993. Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial Complejo de Domos Santa Isabel. Cordillera Central de Colombia. <http://www.ingegominas.gov.co/Manizales/Volcanes/Volcan-Nevado-de-Santa-Isabel/Generalidades.aspx>

INGEOMINAS., 2007. Página principal del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales OVSM. Mapa de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado del Ruiz. <http://www.ingegominas.gov.co/Manizales/Volcanes/Nevado-del-ruiz/Mapa-de-amenazas.aspx>

Guzmán, J. Franco, G. y Ochoa, M. 1998. Informe Final Evaluación Neotectónica. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Pereira.

Alvarez, A. J.1983. Geología de la Cordillera Central y el Occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenoicos. Boletín Geológico de INGEOMINAS. V. 26, N. 2:1 -175.

Aspden, J.A., & McCourt, W.J., 1986a, Low-K granitoids from the Western Cordillera of Colombia: Geología Norandina, v. 10, p. 19-27.

Aspden, J.A., & McCourt, W.J., 1986b, Mesozoic oceanic terrane in the Central Andes of Colombia: Geology, v. 14, p. 415-418.

Aspden, J.A., McCourt, W.J., & Brook, M., 1987, Geometrical control of subduction-related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of Western Colombia: Journal of the Geological Society, London, v. 144, p. 893-905

Caballero, H., & Zapata, G., 1984, Mapa geológico preliminar. Plancha 244-Pereira, escala 1:100 000: Medellín, Ingeominas.

Calle, B., & González, H.b., 1980b, Geología y geoquímica de la plancha 186, Riosucio- Antioquía: Medellín, Ingeominas, p. 1-173

Duque-Caro, H., 1990, El Bloque Chocó en el noroccidente suramericano: implicaciones estructurales, tectonoestratigráficas y paleogeográficas: Boletín Geológico, Ingeominas, v. 31, p. 48-71.

Estrada, J.J., & Viana, R., 1993, Geología del área de Anserma y Chinchiná: VI Congreso Colombiano de Geología, p. 2-21.

Gobernación de Risaralda, Secretaría de Planeación (2000). Atlas de Risaralda.

González, H (1993). Mapa geológico del departamento de Risaralda escala 1: 200000, memoria explicativa. INGEOMINAS, Santafé de Bogotá, Colombia.

Nivia, A., 1989, El terreno Amaime-Volcánica una provincia acrecionada de basaltos de meseta oceánica: V congreso colombiano de geología, p. 1-30

Restrepo, J. J. & J. F. Toussaint 1973. Obducción Cretácea en el Occidente Colombiano. Publicación Geológica Especial, Universidad Nacional. Medellín, v. 3, p. 1-26.

Toussaint, J. F. & Restrepo, J. J., 1976. Modelos orogénicos de tectónica de placas de los Andes Colombianos. Boletín de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional. Medellín, v. 1, p. 1-47.

Toussaint, J. F. & Restrepo, J. J., 1994. The Colombian Andes during Cretaceous times, en Vieweg, S. ed. Cretaceous Tectonics of the Andes (1994). Wiesbaden, p. 61-100.

Toussaint, J.F., 1996, Evolución geológica de Colombia durante el Cretácico: Medellín, Universidad Nacional de Colombia, p. 277.

Van der Hammen, T., 1958, Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos: Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional, v. 6, p. 67-128.