

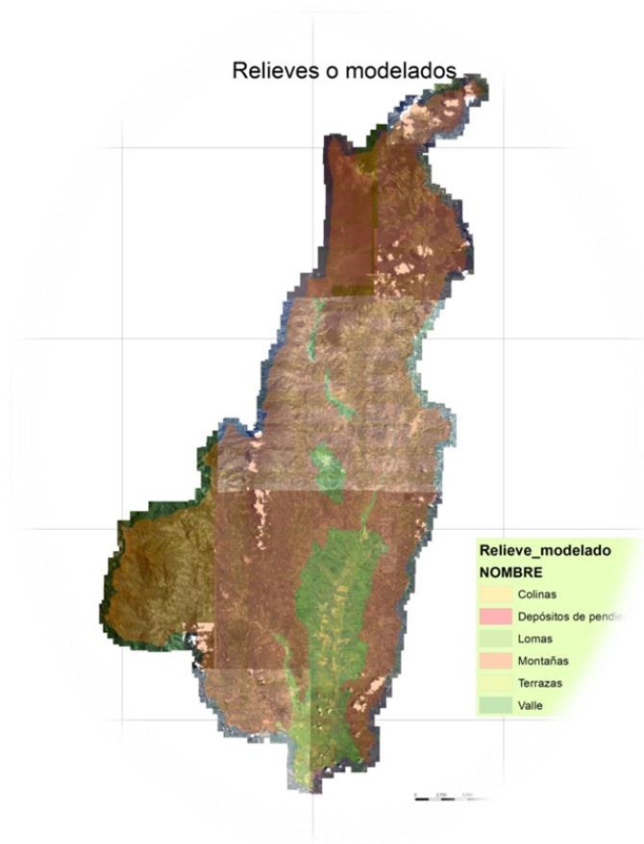
IX.ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

FORMULACIÓN
POMCA
RÍO RISARALDA

Plan de Ordenación y Manejo
de la Cuenca Hidrográfica



"La cuenca vive, para que tu vivas"



IX-7.INFORME PRODUCTOS Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

ABRIL 2017

FORMULACIÓN PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RIO 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

@POMCASRisaraldaOtún

#POMCASRisaralda





TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	DISEÑO DE LA PLANTILLA GENERAL PARA LA PRESENTACIÓN DE LOS MAPAS QUE SE ENTREGARÁN CON EL POMCA.	11
2	LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA Y DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA	12
2.1	Descripción y ubicación geográfica.....	12
2.2	Jurisdicción municipal	13
3	CONSIDERACIONES GEOGRÁFICAS GENERALES QUE INFLUYEN EN EL CLIMA DEL ÁREA DEL POMCA DEL RÍO RISARALDA.	17
3.1	Información climatológica original y tratada.	18
3.2	Caracterización del clima en el área de la cuenca	27
3.3	Temperatura media del Aire.....	28
3.3.1	Distribución espacial de la temperatura	29
3.3.2	Distribución espacial de la precipitación.....	30
3.3.3	Resultados y análisis.....	32
3.4	Evapotranspiración Potencial y Real.....	35
3.4.1	Identificación de la variabilidad climática en la cuenca y la influencia de fenómenos macroclimáticos.	40
3.5	Resultados del Índice de Aridez (IA).....	50
3.5.1	Balance hídrico climático en el área de la cuenca.....	52
4	GEOLOGÍA.....	57
4.1	Interpretación de sensores remotos.....	57
4.2	Elaboración del mapa de geología para Ingeniería (UGS-Cualitativo).....	61
4.3	Consolidación del Mapa preliminar de UGS y selección de sitios de muestreo para control de campo.	63
4.4	Relieves o modelados similares. (Sensores remotos).	65
4.5	Sistemas del Terreno	66
4.6	Unidades del Terreno (Sensores remotos)	69
5	HIDROGEOLOGÍA	71
5.1	Flujo del agua subterránea	71
5.2	Zonas de recarga y descarga de acuíferos.....	71
5.3	Cobertura vegetal.....	83
5.4	Hidrogeoquímica	90
6	SUSCEPTIBILIDAD	92
6.1	Variables primarias.	92
6.1.1	Determinación de zonas inestables.....	92
6.2	Susceptibilidad ante Movimientos en Masa.	93

6.3	Incendios.....	98
6.3.1	Duración del Tipo de Combustible Dominante:	98
6.3.2	Carga Total de Combustible:.....	103
6.4	Mapa de fallas activas.....	105
6.4.1	Falla Quebrada Nueva	106
6.4.2	Falla Apia.	108
7	MORFOMETRIA.....	108
7.1	Metodología	108
8	PENDIENTES.....	108
8.1	Consolidación del Modelo de Elevación Digital (MED)	108
8.2	Derivación de pendientes.....	108
8.3	Reclasificación de pendientes.....	109
8.4	Construcción de la salida cartográfica	110
8.5	Cálculo y clasificación de los índices y parámetros	113
8.5.1	Área.....	113
8.5.2	Perímetro	114
8.5.3	Longitud de la cuenca	114
9	GEOMORFOLOGÍA	121
9.1	Relieves o modelos similares (sensores remotos):.....	121
9.2	Unidades del terreno (sensores remotos):	123
9.3	Control de campo.....	124
10	GESTIÓN DEL RIESGO.....	124
10.1	Densidad de eventos espacio-temporal:	125
10.2	Susceptibilidad a movimientos en masa (mm):	126
10.3	Factores de propensividad ante movimientos en masa:	126
10.4	Distancia a cauces:.....	126
10.5	Análisis estadístico y sig.:	127
10.6	Comprobación del ajuste a una distribución normal de todas las variables Test de Kolmogorov-Smirnov:.....	129
10.7	Aplicación del análisis factorial:	131
10.8	Selección de las variables independientes aplicación del análisis y selección de la función discriminante final:	132
10.9	Susceptibilidad ante movimientos en masa:	132
10.10	Evaluación y zonificación de la susceptibilidad:	135
10.11	Análisis histórico de eventos de inundación:.....	136
10.12	Plano de pendientes:	137
10.13	Unidades inundables:.....	137
10.14	Susceptibilidad por incendios forestales:	137



10.15 Amenaza y zonificación de la amenaza geotécnica:.....	140
10.16 Evaluación de la amenaza por movimientos en masa (mm):	140
10.17 Amenaza sísmica y fuentes sismogénicas:.....	142
10.18 Mapa de fallas activas.....	143



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Información del catálogo de Objetos de la geodatabase básica a escala 1:25.000 (Modelo de datos IGAC 1:25.000, basado en NTC 5661).....	8
Tabla 2 Relación de áreas de los municipios con relación al POMCA	16
Tabla 3 Estaciones meteorológicas.....	20
Tabla 4. Índice Oceánico Niño (ONI) para eventos cálidos y fríos	41
Tabla 5. Cálculo balance hídrico estación Virginia – La Alerta.....	54
Tabla 6. Cálculo balance hídrico estación Riosucio	55
Tabla 7. Cálculo balance hídrico estación San Clemente	56
Tabla 8 Relieves o modelados similares. (Zinck 2012):	65
Tabla 9 Paisajes fotogeológicos. (Zinck 2012):	67
Tabla 10 Unidades según el tipo de relieve o modelado (Zinck 2012):	69
Tabla 11 Valoración del potencial de recarga	74
Tabla 12. Ponderación del parámetro pendiente en la cuenca del Río Risaralda	75
Tabla 13. Ponderación del parámetro Tipo de suelos en la cuenca del Río Risaralda	78
Tabla 14. Ponderación del parámetro Tipo de roca en la cuenca del Río Risaralda.....	80
Tabla 15. Ponderación del parámetro cobertura en la cuenca del Río Risaralda	84
Tabla 17. Ponderación del parámetro Uso del suelo en la cuenca del Río Risaralda	86
Tabla 18. Potencial de recarga de los acuíferos libres en la cuenca del Río Otún.....	88
Tabla 19. Duración del tipo de combustible dominante	98
Tabla 20. Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema.	100
Tabla 21. Carga Total de Combustible.....	103
Tabla 22. Rangos de Pendientes en porcentaje.....	109
Tabla 23. Rangos de Pendientes en porcentaje.....	109
Tabla 24. Rangos de Pendientes en grados	110
Tabla 25 Rangos de clasificación de las cuencas según el coeficiente de compacidad.....	116
Tabla 26. Rangos de clasificación de las cuencas según el índice de alargamiento.....	117
Tabla 27 Calificación Distancia a drenajes.....	127
Tabla 28 Datos estadísticos del tamaño de la muestra y del total de individuos muestreados en el proyecto.	129
Tabla 29 rangos de susceptibilidad evaluados en la cuenca	135
Tabla 30. Duración del tipo de combustible dominante.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Geodatabase (GDB) por índice de planchas.....	9
Figura 2 Esquema metodológico de ajuste de la delimitación del área del POMCA.....	10
Figura 3 Elementos y subelementos de calidad NTC 5043.....	11
Figura 4. Plantilla general del POMCA.....	12
Figura 5 Localización geográfica del POMCA.	13
Figura 6 Esquema metodológico de ajuste en la delimitación político administrativo.	14
Figura 7 Ajuste de la información de límites veredales con la información territorial.....	14
Figura 8 Jurisdicción de los municipios con relación al POMCA.....	15
Figura 9 Porcentaje del área de los municipios dentro del POMCA.....	17
Figura 10. Localización cuenca río Risaralda.....	18
Figura 11. Localización Estaciones metereológicas.....	27
Figura 12. Isotermas cuenca Risaralda.....	30
Figura 13 Modelo Conceptual para Isoyetas.....	31
Figura 14. Isoyetas de Precipitación Media Anual.....	32
Figura 15. Modelo conceptual Clima.	33
Figura 16. Zonificación Climática en el Área del POMCA del río Risaralda.	34
Figura 17. Evapotranspiración Potencial en el Área del POMCA del río Risaralda.	37
Figura 18. Modelo conceptual EVP.....	38
Figura 19. Evapotranspiración Real en el Área del POMCA del río Risaralda.	39
Figura 20. Modelo conceptual EVTR.....	40
Figura 21. Variabilidad climática isoyetas enero.....	44
Figura 22. Variabilidad climática isoyetas febrero.....	44
Figura 23. Variabilidad climática isoyetas marzo.....	44
Figura 24. Variabilidad climática isoyetas abril.....	45
Figura 25. Variabilidad climática isoyetas mayo.....	45
Figura 26. Variabilidad climática isoyetas junio.....	46
Figura 27. Variabilidad climática isoyetas julio.....	46
Figura 28. Variabilidad climática isoyetas agosto.....	47
Figura 29. Variabilidad climática isoyetas septiembre.....	47
Figura 30. Variabilidad climática isoyetas octubre.....	48
Figura 31. Variabilidad climática isoyetas octubre.....	48
Figura 32. Variabilidad climática isoyetas noviembre.....	49
Figura 33. Modelo Conceptual Índice de Aridez.....	50
Figura 34. Índice de Aridez en el Área del POMCA del río Risaralda.	51
Figura 35. Precipitación, ETP y ETR en la estación Virginia – La Alerta.....	54
Figura 36. Precipitación, ETP y ETR en la Estación Riosucio.....	55
Figura 37. Precipitación, ETP y ETR en la Estación San Clemente.....	56
Figura 38 Análisis de fotografías aéreas detallando las Unidades geológicas presentes. Obsérvese los puntos en color amarillo que representan los puntos de control de campo planteados.....	58
Figura 39 Mapa estadístico para densidad de fracturamiento.....	60
Figura 40 Mapa Cualitativo de unidades superficiales UGS. Escala 1:100.000.....	62
Figura 41 Análisis de sensores remotos y ubicación de puntos de control para UGS (puntos amarillos). Escala 1:100.000.....	64
Figura 42 Relieves o modelados similares según fotointerpretación.....	66
Figura 43 Sistemas del terreno.	68
Figura 44 Unidades del terreno (Tipos de relieve). (Zinck 2012).....	70
Figura 45. Direcciones del flujo subterráneo local para acuífero de la cuenca del Río Risaralda	72
Figura 46. Distribución del parámetro Pendiente en la cuenca del Río Risaralda.....	77
Figura 47. Distribución del parámetro Tipo de suelo en la cuenca del Río Risaralda.....	79

Figura 48. Distribución del parámetro Tipo de roca en la cuenca del Río Risaralda	82
Figura 49. Distribución del parámetro cobertura en la cuenca del Río Risaralda	85
Figura 50. Distribución del parámetro Uso del suelo en la cuenca del Río Risaralda	87
Figura 51. Zonas de recarga potencial	89
Figura 52. Vulnerabilidad de aguas subterráneas	91
Figura 53. Zonas inestables en la cuenca	93
Figura 54. Modelo Conceptual del Método Discriminante	95
Figura 55 Mapa de susceptibilidad generado con la metodología propuesta	96
Figura 56. Modelo conceptual de variables incluidas en los análisis finales de susceptibilidad a FRM.	97
Figura 57 Duración Del Tipo De Combustible Dominante	99
Figura 58. Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema	102
Figura 59. Carga total de combustible	104
Figura 60. Figura del modelo utilizado para derivar los valores máximos y mínimos de las estaciones definidas para el POMCA	105
Figura 61 Mapa de fallas activas del área de la cuenca del Río Risaralda.	107
Figura 62. Pendientes en porcentaje Cuenca del Río Risaralda.	111
Figura 63 Mapa de Pendientes en grados Cuenca del Río Risaralda.	112
Figura 64 Diagrama metodológico de estudio	113
Figura 65. Rangos de clasificación de las cuencas según el área	113
Figura 67. Rangos de clasificación de las cuencas según el factor de forma	115
Figura 67 Obtención de parámetros morfométricos en SIG.	121
Figura 68. Relieves o modelados similares según fotointerpretación	122
Figura 69. Unidades del terreno (Tipos de relieve). (Zinck 2012)	123
Figura 70 Histogramas de frecuencias con curva normal de algunas variables sin ajuste (izquierda) y con ajuste (derecha)	130
Figura 71 Tabla de resultados del Test de normalidad (K-S Z) de las variables.	131
Figura 72 Comunidades (arriba) y matriz de componentes rotados	131
Figura 73 Mapa de susceptibilidad generado con la metodología propuesta	134
Figura 74 Porcentaje de áreas de susceptibilidad en la cuenca	135
Figura 75 Diagrama para la definición de zonas críticas para evaluación de amenaza	136
Figura 76. Duración del tipo de combustible dominante	139
Figura 77 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	142
Figura 78 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	143

1 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la información suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Caldas y de Risaralda la cual fue remitida por el Fondo de adaptación, se realizó su descarga e integración en la estructura según el catálogo de objetos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a una escala 1:25.000, esto se entiende como la forma de estructurar organizadamente los datos geográficos según los estándares nacionales, este constituye 13 conjuntos de datos espaciales que permiten estructurarse por temática asociada (datasets) como se muestra en la Tabla 1. Esto facilita la lectura actual y futura de los resultados del POMCA

Tabla 1 Información del catálogo de Objetos de la geodatabase básica a escala 1:25.000 (Modelo de datos IGAC 1:25.000, basado en NTC 5661)

No	Dataset	
1	Cobertura Vegetal	
2	Edificación Obra Civil	
3	Entidades Territoriales y Unidades Administrativas	
4	Impresión	
5	Índice Mapas	
6	Instalaciones construcciones para transporte	
7	Puntos de Control	
8	Relieve	
9	Superficies Agua	
10	Toponimias	
11	Transporte Aéreo	
12	Transporte Marítimo Fluvial	
13	Transporte Terrestre	

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Con lo anterior se unificaron las 20 planchas capa a capa manteniendo la integridad espacial y la información proyectada al mismo sistema de coordenadas.



Para la delimitación cartográfica del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Risaralda, fue necesario un ajuste cartográfico de los límites del POMCA, los cuales se hicieron de acuerdo con la información suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Caldas y de Risaralda y que fue remitida por el Fondo de adaptación. Se realizó su descarga e integración en la estructura según el catálogo de objetos del IGAC escala 1:25.000. Para el área de análisis se utilizaron 20 planchas IGAC en formato GDB (Geodatabase). El procedimiento para la definición y ajuste (ver Figura 2) del POMCA se describe en la Figura 2. Dicho ajuste fue necesario por las diferencias entre la delimitación del POMCA inicial y la cartografía base proporcionada. El procedimiento para llegar a los resultados, se evidencia en la Figura 2 y el resultado de este se evidencia en Figura 5. Para dicho proceso se utilizaron diferentes programas para el manejo de la información cartográfica, como son ArcGIS, IDRISI y Global Mapper



Figura 2 Esquema metodológico de ajuste de la delimitación del área del POMCA

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En términos normativos, la información cartográfica debe cumplir con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana 5043¹, que implica varios elementos y subelementos de calidad de la información que según la NTC, deben ser mantenidos al momento de hacer ajustes en la cartografía, en especial en el nivel de calidad de consistencia lógica, en el subnivel de topología y en la consistencia de los dominios con los cuales fueron definidos los campos que caracterizan las capas de información dentro de la base de datos espacial (Geodatabase), sólo se concentra el esfuerzo del sistema en estos subniveles dado que los otros, son competencia y de cumplimiento por las fuentes oficiales de información. En la siguiente se mencionan los Elementos y subelementos de calidad a los cuales se refiere la NTC -5043. Dichos estándares buscan garantizar la calidad en los datos procesados y así permitir que el uso de los mismos avale los expresados en la cartografía del POMCA.

¹ Provee los conceptos básicos que permiten describir la calidad de los datos geográficos, disponibles en forma digital y análoga, y presentar un modelo conceptual que facilite el manejo de la información sobre la calidad de dichos datos geográficos.

Elementos de calidad	Subelementos de calidad
A- Grado de totalidad	a1- Comisión
	a2- Omisión
B- Consistencia lógica	b1- Consistencia de dominio
	b2- Consistencia topológica
	b3- Consistencia de formato
C- Exactitud de posición	c1- Exactitud absoluta o externa
	c2- Exactitud relativa o interna
	c3- Exactitud de posición de datos de celdas
D- Exactitud temporal	d1- Exactitud en la medición del tiempo
	d2- Consistencia temporal
	d3- Validez temporal
E- Exactitud temática	e1- Exactitud de clasificación
	e2- Exactitud de un atributo cualitativo
	e3- Exactitud del valor dado a un atributo cuantitativo
Cuadro 1. Elementos y subelementos de calidad	

Figura 3 Elementos y subelementos de calidad NTC 5043
Fuente: NTC 5043

1.1 Diseño De La Plantilla General Para La Presentación De Los Mapas Que Se Entregarán Con El Pomca.

Siguiendo las consideraciones básicas de la información cartográfica se diseñó la plantilla básica a una escala 1:25.000 para los mapas que se construirán en el POMCA, para tal fin se generaran dos (2) planchas, las cuales se ordenan con las letras mayúsculas de la A (norte) y B (sur), dichas planchas presentan unas medidas de 70 por 100 cm y una cuadrícula (red de líneas geográficas) de 1/10 de la escala gráfica. Los mapas contienen como elementos gráficos la norte, escala gráfica, escala numérica, grilla, sistema de coordenadas y proyección, leyenda y convenciones, fuentes de información, logos del proyecto e instituciones participantes, fechas de publicación y elaboración del mapa, escala de captura y procesamiento, escala de publicación, mapa de localización general, mapa de localización de la plancha, título del mapa, numeración del mapa, numeración de la plancha. Ver Figura 4

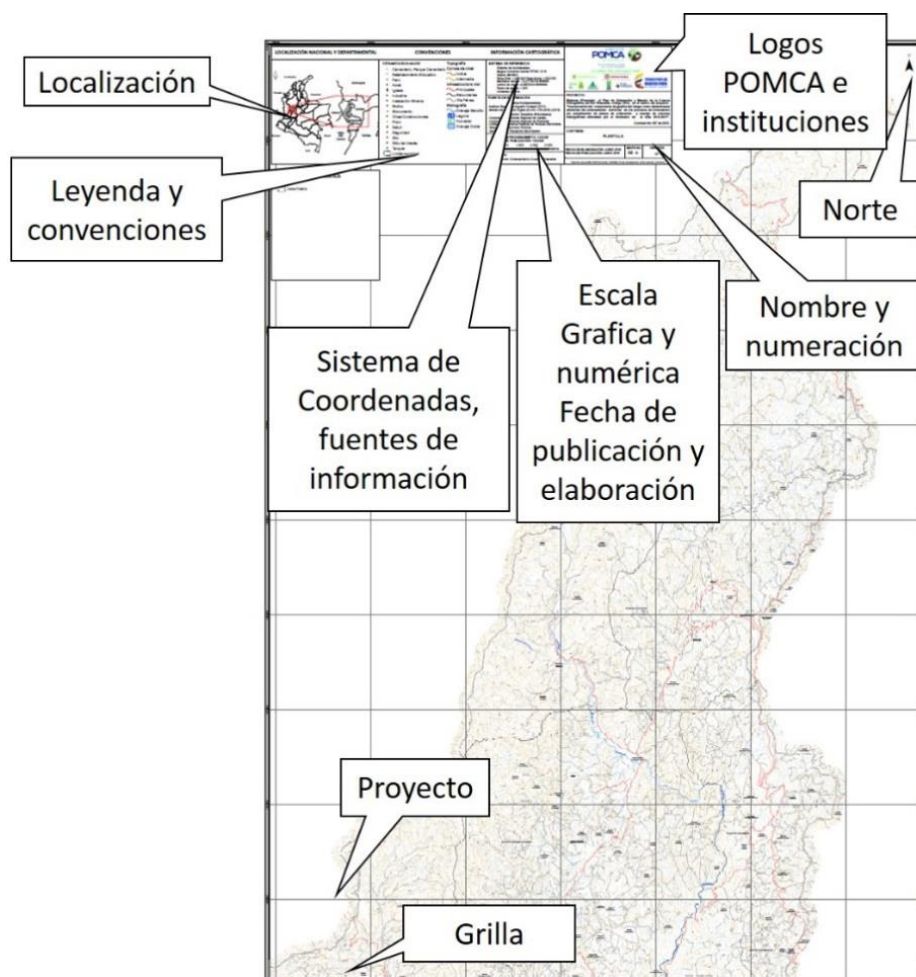


Figura 4. Plantilla general del POMCA

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

2 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA Y DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA

2.1 Descripción y ubicación geográfica

La cuenca se encuentra bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER) y la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas). El área total del POMCA de Risaralda (2614) de 125.600 ha. El POMCA está ubicado en el centro-occidente de Colombia (ver Figura 5), entre los departamentos de Caldas y Risaralda.

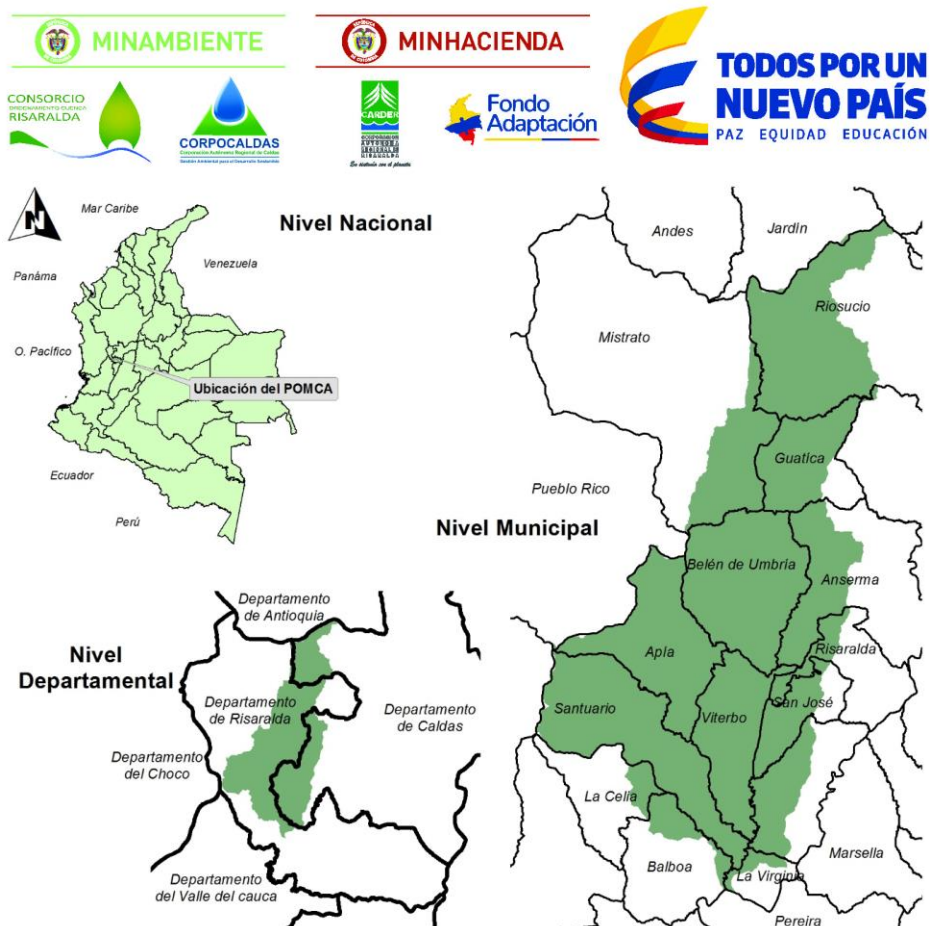


Figura 5 Localización geográfica del POMCA.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.2 Jurisdicción municipal

Para determinar el área de los entes territoriales y las veredas que los componen fue necesario ajustar la información política administrativa municipal proporcionada por el fondo de adaptación a la cartografía base (1:25.000), en la Figura 6 se esquematiza el procedimiento por el cual se modificó los límites municipales y veredales, y el cual permitió generar los análisis y datos

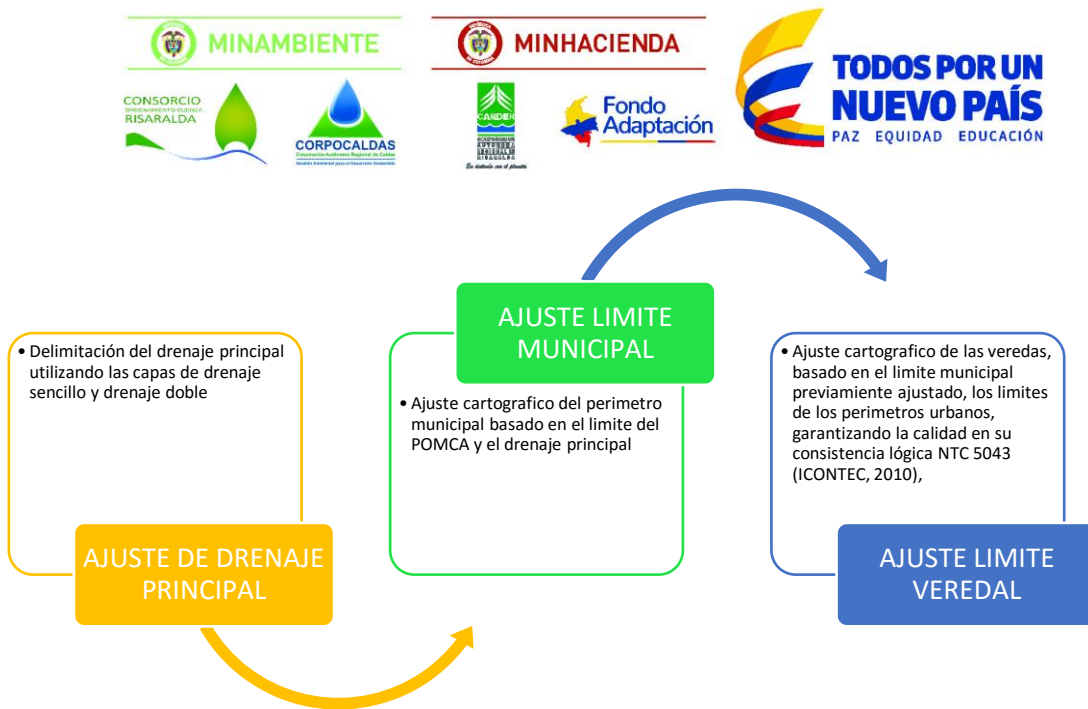


Figura 6 Esquema metodológico de ajuste en la delimitación político administrativo.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

La delimitación de las unidades político-administrativas que hacen parte de la cuenca están basados en la capa proporcionada por la interventoría “Límites Entidades Territoriales de Colombia, Versión 1.0 2013”.

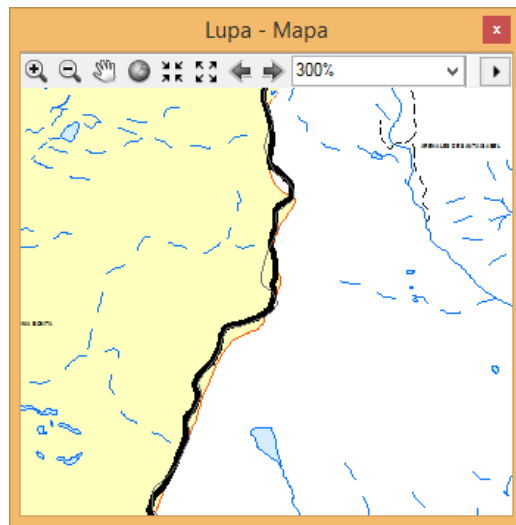


Figura 7 Ajuste de la información de límites veredales con la información territorial
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Este proceso es valorado por la CARDER desde la oficina de sistemas de información. Una vez agotado este paso se incluye en la base de datos espacial.

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 (ver Figura 8, color verde es el departamento de Caldas y el azul claro corresponde al departamento de Risaralda).

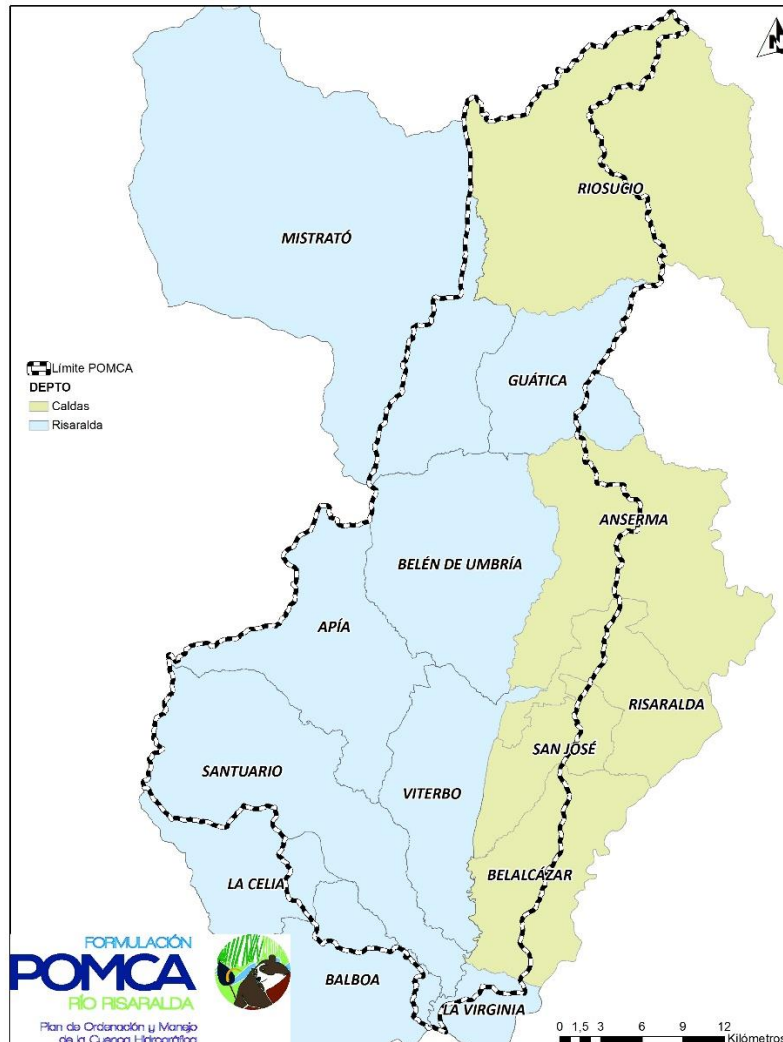


Figura 8 Jurisdicción de los municipios con relación al POMCA
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Tabla 2, se relaciona en sus dos primeras columnas el nombre y el área total para cada municipio dentro del POMCA. La columna siguiente indica el área que cada uno de los municipios tiene dentro del área de estudio, así mismo en la cuarta columna se establece el porcentaje de área del municipio al interior del área del POMCA, por último, se identifica cuanto representa en porcentaje cada municipio con relación a las 125.600 ha del POMCA.

Tabla 2 Relación de áreas de los municipios con relación al POMCA

Municipio	Departamento	Área Total Municipio (ha)	Área Municipio en POMCA (ha)	Porcentaje del municipio en POMCA (%)	Porcentaje del POMCA por municipio (%)
ANSERMA	CALDAS	20.941,62	8.338,48	39,82%	6,64%
BELALCÁZAR	CALDAS	11.370,02	5.655,07	49,74%	4,50%
RIOSUCIO	CALDAS	38.567,73	19.241,05	49,89%	15,32%
RISARALDA	CALDAS	9.006,80	2.311,61	25,67%	1,84%
SAN JOSÉ	CALDAS	6.086,60	4.445,88	73,04%	3,54%
VITERBO	CALDAS	11.289,23	11.289,23	100,00%	8,99%
APÍA	RISARALDA	14.916,92	14.916,76	100,00%	11,88%
BALBOA	RISARALDA	11.947,75	2.699,77	22,60%	2,15%
BELÉN DE UMBRÍA	RISARALDA	18.060,17	18.060,17	100,00%	14,38%
GUÁTICA	RISARALDA	10.127,16	8.333,28	82,29%	6,63%
LA CELIA	RISARALDA	9.235,66	1.411,77	15,29%	1,12%
LA VIRGINIA	RISARALDA	3.277,98	988,13	30,14%	0,79%
MISTRATÓ	RISARALDA	56.516,88	8.896,68	15,74%	7,08%
SANTUARIO	RISARALDA	19.012,17	19.012,17	100,00%	15,14%
DATOS TOTALES		240.356,69	125.600,05		

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

La Figura 9 y Tabla 2 se evidencia como el municipio de Riosucio, Belén de Umbría y Santuario representa el 45% del área del POMCA, con una participación en promedio del 15% por cada municipio. Otros municipios representativos con una participación en la cuenca entre un 5 y 14% son: Anserma, Viterbo, Apía, Guática y Mistrató. El resto de los municipios presentan una menor área dentro de la cuenca, como son en orden descendente Belalcázar (4,5%), San José (3,54%), Balboa (2,15%), Risaralda (1,84%), La Celia (1,12%) y La Virginia (0,79%). Por otro lado, municipios como Viterbo, Apía, Belén de Umbría y Santuario tienen incorporado la totalidad de su área municipal dentro de la cuenca. San José y Guática tienen un área representativa dentro del POMCA, mayor a la mitad de su extensión municipal. El resto de municipios tienen un área menor a la mitad de sus municipios, pero Belalcázar y Riosucio sus valores son cercanos al 50%. La Virginia presenta poca área en el total de la cuenca y un 30% de su extensión municipal, sin embargo, gran parte de este se encuentra sobre su zona urbana.

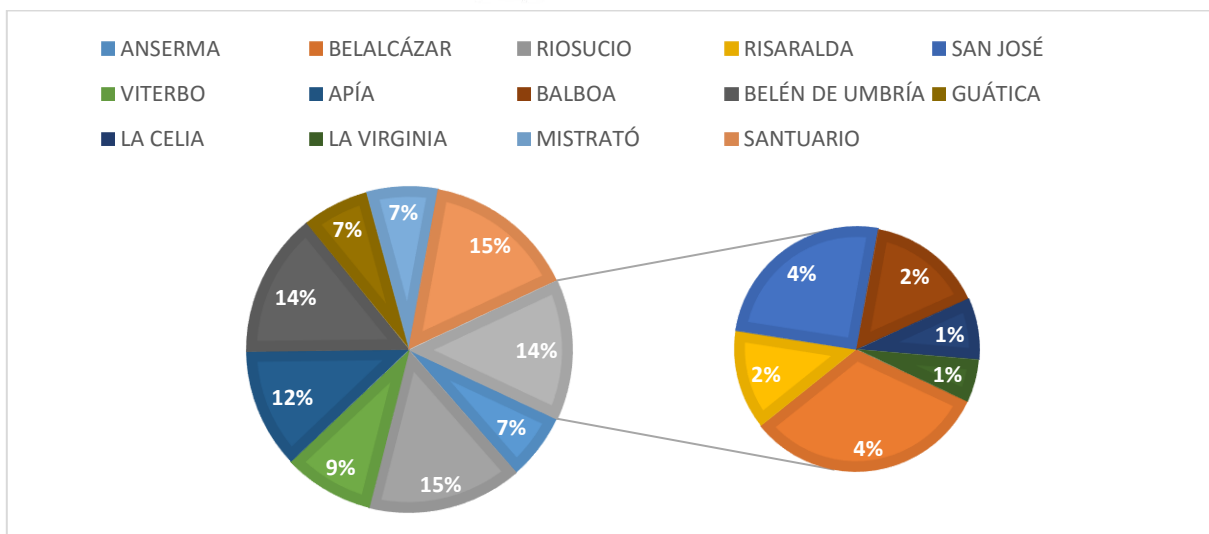


Figura 9 Porcentaje del área de los municipios dentro del POMCA
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3 CONSIDERACIONES GEOGRÁFICAS GENERALES QUE INFLUYEN EN EL CLIMA DEL ÁREA DEL POMCA DEL RÍO RISARALDA.

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 1.470 km², hasta su desembocadura en el Río Cauca, y se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental.

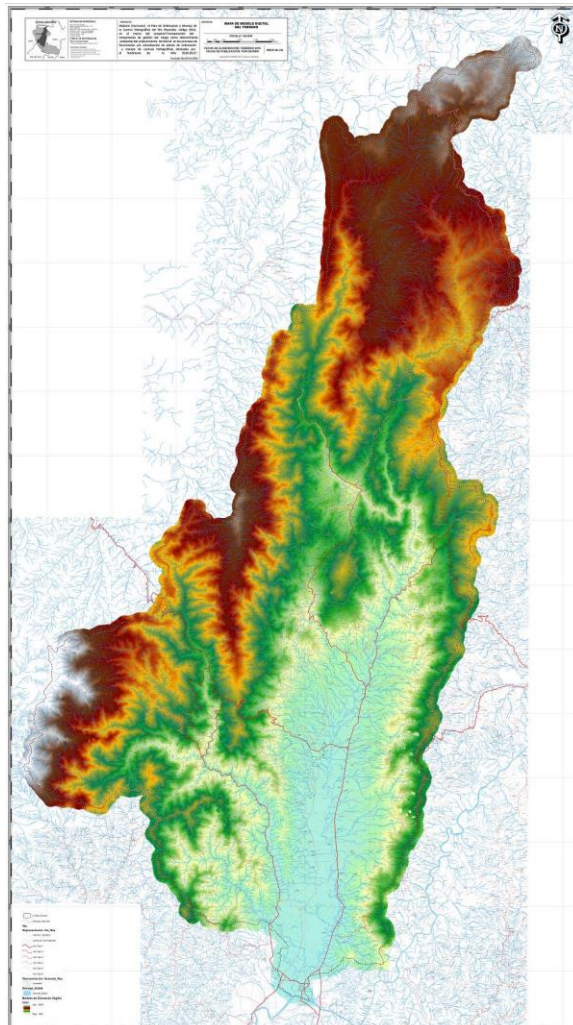


Figura 10. Localización cuenca río Risaralda

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

3.1 Información climatológica original y tratada.

Se realizó una revisión de las estaciones hidroclimatológicas existentes en el área de estudio de la cuenca Risaralda, las cuales son productos de proyectos desarrollados en la cuenca. Como fuentes de información de entidades que realizan el monitoreo hidroclimatológico son: IDEAM, La Federación Nacional de Cafeteros, La CHEC.

Se presenta en la Tabla 3 Las estaciones hidroclimatológicas de las cuales se cuenta con series de información y de las cuales se seleccionan posteriormente para los análisis climáticos, dichas estaciones han sido utilizadas en proyectos desarrollados en la cuenca.



En el anexo 1 (digital), se presenta el total de estaciones climáticas que hacen parte de la cuenca de fuente IDEAM y otras fuentes de información.

Tabla 3 Estaciones meteorológicas.

CÓDIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	SERIE	VARIABLE	TIPO	RESOLUCION	ESTADO	ENTIDAD
2615006	ARAUCA	5.10852800000	75.70161100000	890	1962-2015	ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2617026	GUERRERITO	5.28141666667	75.66447222222	845	1978-2015	ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2614502	BELLAVISTA	5.27591700000	75.80000000000	2024	1963-2015	ppt	CO	Mensual	Activa	IDEAM
					1978-2015	T°	CO	Medios diarios	Activa	IDEAM
					1978-2015	T°		Max diarios		
					1978-2015	Humedad relativa		Diarios		
					1979-2015	Evaporación		Diarios		
2617502	INST. LOS FUNDADORES	5.43333300000	75.71666700000	1820	1970-1982	ppt	CO	Diarios	Suspendida	IDEAM
2614503	LA CAMELIA	5.08022200000	75.96694400000	1670	1963-2015	ppt	CO	Diarios	Activa	IDEAM
					1978-2015	T°		Medios diarios		
					1978-2015	T°		Max diarios		
					1978-2015	T°		Min diarios		



CÓDIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	SERIE	VARIABLE	TIPO	RESOLUCIÓN	ESTADO	ENTIDAD
					1978-2015	Humedad relativa		Med diarios		
					1979-2013	Evaporación		Diarios		
					1979-2015	Brillo solar		Horas		
5401002	LA LÍNEA PORVENIR	5.17188888889	75.97891666667	2060	1970-2015	ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
2614505	LA SAMARIA	5.05000000000	75.88333333333	1020	1973-1996	ppt	CO	Mensual	Suspendida	IDEAM
2614012	MISTRATÓ	5.29458333333	75.87230555556	1520	1964-2015	ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
2617505	RÍO SUCIO	5.43333333333	75.70000000000	1820	1970-1979	ppt	CO	Diario	Suspendida	IDEAM
26170290	RIOSUCIO	5.42513888889	75.72977777778	1950	1985-2015	ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
26170270	LA MARGARITA	5.13333333333	75.71666666667	980	1963-1983	ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
26155120	APTO SANTAGUEDA	5.08333333333	75.68333333333	933	1941-1989	ppt	CP	Diario	Suspendida	IDEAM
					1979-1989	T		Media diaria		

CÓDIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	SERIE	VARIABLE	TIPO	RESOLUCIÓN	ESTADO	ENTIDAD
					1981 - 1989	T		Max diaria		
					1979 - 1989	HR		Medios diarios		
					1979 - 1987	Brillo solar		Horas		
2614011	SAN CLEMENTE	5.3183611111	75.7870277778	2060	1970-2004	ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2614008	TAIJARA ALEJANDRÍA	5.2808055556	75.8258333333	1415	1991-2004	ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2614009	TAPARCAL	5.1674166667	75.8622500000	1652	1969-2015	ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
2614018	LA VIRGINIA	4.8928611111	75.8819722222	900	1979-2015	ppt	PM	Diario	Activa	IDEAM
26110150	LA INMACULADA	4.7938333333	75.9865000000	960	1958-2015	ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
2611012	VILLANUEVA	4.9708333333	76.0381111111	1310	1970 - 2004	ppt	PM	Mensual	Activa	IDEAM
26140170	SUBESTACIÓN ANSERMA	5.2333333333	75.7833333333	1660	1981-2003	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
26140030	LA MARIA	5.1333333333	75.9500000000	1480	1965 - 2000	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC

CÓDIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	SERIE	VARIABLE	TIPO	RESOLUCIÓN	ESTADO	ENTIDAD
26140160	LA PALESTINA	5.483333333333	75.783333333333	2560	1963-2000	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
5401006	PUERTO DE ORO	5.416666666667	75.966666666667	820	1964-1996	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
54010090	SAN ANTONIO DEL CHAMI	5.466666666667	75.983333333333	1170	1962-2000	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
2617024	LOS CHANCOS	5.466666666667	75.766666666667	2500	1963-1972	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
54010050	PUREMBARA	5.416666666667	75.933333333333	1100	1963-1996	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
26140150	RÍO ARRIBA EMBALSE UMBRÍA	5.366666666667	75.883333333333	1720	1963-2000	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
26140140	SUB. LA VIRGINIA	4.900000000000	75.883333333333	711	1975-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
26140130	SUBESTACIÓN VITERBO	5.050000000000	75.883333333333	930	1975-2003	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
54010080	PUEBLO RICO	5.233333333333	76.033333333333	1570	1963 - 1999	ppt	PM	Mensual	Activa	CHEC
2617034	LA ORIENTAL	5.366667000000	75.716667000000	1630	1981-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS

CÓDIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	SERIE	VARIABLE	TIPO	RESOLUCIÓN	ESTADO	ENTIDAD
2614027	EL BARRANCO	5.333333333333	75.883333333333	1580	1987-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614030	BUENOS AIRES	5.300000000000	75.883333333333	1830	1981-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614039	OSPIRMA	5.333333333333	75.816666666667	1550	1981-2002	ppt	EP	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2617011	EL DIAMANTE	5.316667000000	75.700000000000	1550	1981-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614043	LOS NARANJOS	5.050000000000	76.000000000000	1650	1981-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614020	LA TRIBUNA	4.950000000000	75.966666666667	1500	1972-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614506	INGENIO RISARALDA	4.900000000000	75.900000000000	900	1976-2001	ppt	CO	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26140460	VISTA HERMOSA	5.233333333333	75.900000000000	1900	1988-1998	ppt	PM	Mensual	Suspendida	FED. NAL DE CAFETEROS
26140440	LA GAVIOTA	5.200000000000	75.783333333333	1530	1984-1987	ppt	PM	Mensual	Suspendida	FED. NAL DE CAFETEROS
26110130	BELLA VISTA	4.800000000000	76.066666666667	1550	1974-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS

CÓDIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	SERIE	VARIABLE	TIPO	RESOLUCIÓN	ESTADO	ENTIDAD
26110260	SANTA MARTA	4.86666666667	76.0500000000	1760	1979-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26110270	EL PLACER	4.78333333333	76.1000000000	1730	1971-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26140260	LA ELVIRA	5.20000000000	75.8666666667	1520	1994-2002	ppt	PG	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26140370	LA FLORIDA	5.15000000000	75.8833333333	1350	1981-1986	ppt	PM	Mensual	Suspendida	FED. NAL DE CAFETEROS
2614042	EL TAMBORAL	5.11666666667	75.9166666667	1450	1981-1986	ppt	PM	Mensual	Suspendida	FED. NAL DE CAFETEROS
26170120	EL DESCANSO	5.48333333333	75.6333333333	1650	1980-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DECAFEETEROS
26170130	LA MANUELITA	5.36666666667	75.6833333333	1320	1970-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26170320	LA ARGENTINA	5.46666666667	75.7000000000	1420	1978-2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
26175070	RAFAEL ESCOBAR	5.46666666667	75.6500000000	1320	1971-2002	ppt	CO	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS
2614035	LOS CAMBULOS	5.15000000000	75.8833333333	1400	1988 - 2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS

CÓDIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	SERIE	VARIABLE	TIPO	RESOLUCIÓN	ESTADO	ENTIDAD
2611026	SANTA MARTA	4.866666666667	76.050000000000	1760	1979 - 2002	ppt	PM	Mensual	Activa	FED. NAL DE CAFETEROS

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

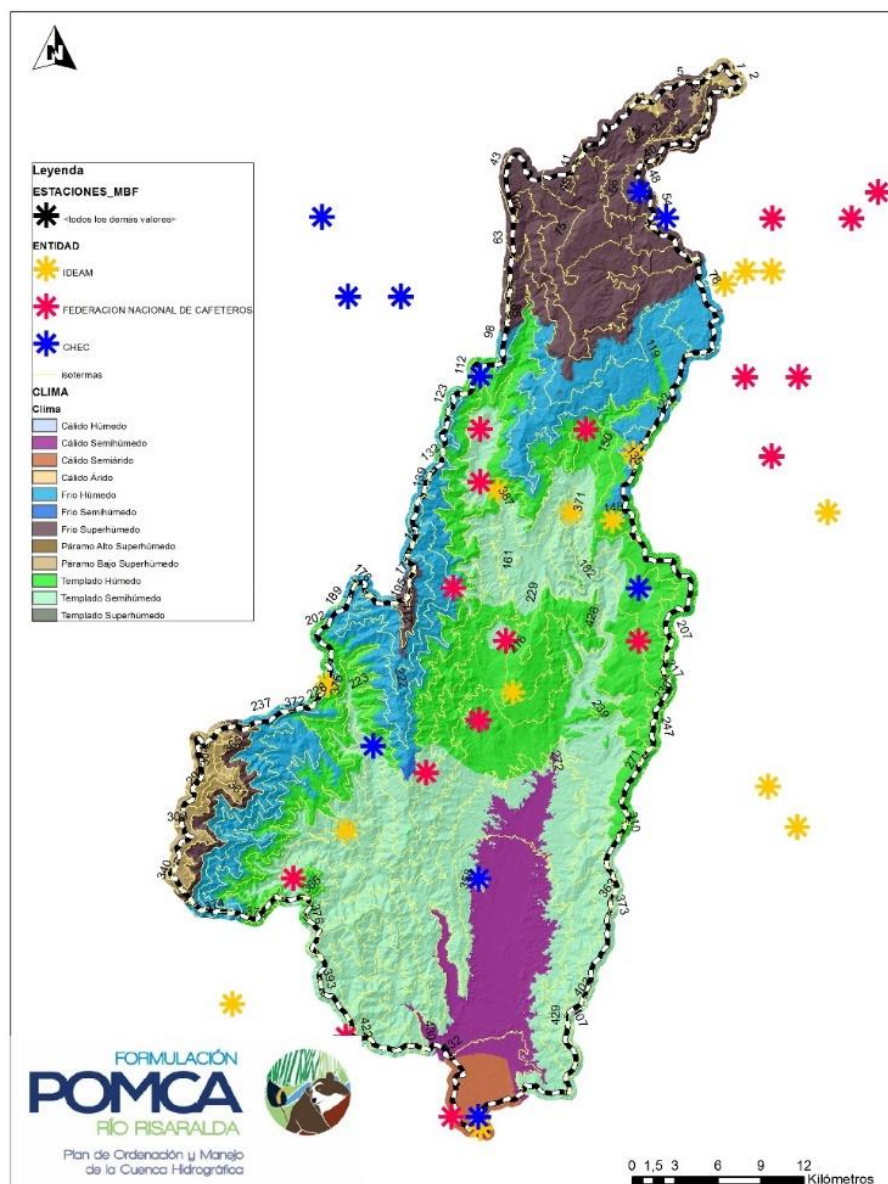


Figura 11. Localización Estaciones meteorológicas
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

3.2 Caracterización del clima en el área de la cuenca

La OMM (*Organización Meteorológica Mundial*), en su publicación técnica N°182, define el clima como la síntesis de las condiciones meteorológicas, caracterizadas por los estados y las evoluciones del tiempo (representadas por estadísticas a largo plazo que muestran el comportamiento de los elementos o variables meteorológicas) en una porción determinada del espacio.

La ubicación geográfica del territorio colombiano (entre 4°13'30" de latitud sur y 12°30'40" de latitud norte), sobre la franja ecuatorial o zona tórrida de la tierra, le permite recibir una cantidad abundante y casi constante de radiación durante todo el año, situación que supondría un clima tropical con temperaturas elevadas y muy poco variables a lo largo del año. Sin embargo, en Colombia es posible encontrar una diversidad climática envidiable, debido principalmente, a la riqueza orográfica del país.

Es importante anotar que, no solo la latitud y la orografía determinan las condiciones climáticas que predominan sobre el territorio colombiano, existen otros factores como la distribución de océanos y continentes y el desplazamiento de corrientes atmosféricas, los cuales inciden en el comportamiento de los elementos o parámetros meteorológicos (lluvias, temperatura, insolación, humedad, etc.) y entregan características particulares al clima en las distintas regiones del país.

Debido a las diferencias térmicas existentes entre las latitudes medias y bajas del planeta, se originan corrientes atmosféricas permanentes en la baja troposfera que se mueven entre los trópicos y el ecuador. Estas corrientes, cálidas y húmedas, de componente noreste y sureste son conocidas como vientos Alisios y en su recorrido se encuentran sobre la franja ecuatorial dando origen a una zona de bajas presiones conocida como Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), caracterizada por la formación de grandes y abundantes nubes, las cuales dan origen a precipitaciones de variada intensidad.

La ZCIT tiene un desplazamiento sur-norte-sur a lo largo del año, alcanzando su posición extrema norte (entre 12° y 15° N), durante los meses de julio y septiembre (estación de verano en el Hemisferio boreal) y su posición extrema sur (entre 3 y 5°S) en el período comprendido entre febrero y marzo. Este sistema recorre el centro del país dos veces al año dejando a su paso cantidades importantes de precipitación sobre Cundinamarca, donde se encuentra el área de estudio.

3.3 Temperatura media del Aire

Cuando se habla de la temperatura del aire en superficie se hace referencia a la lectura que se toma de un termómetro expuesto al aire en una caseta o abrigo meteorológico, a una altura comprendida entre 1,25 y 2 metros sobre el nivel del suelo. En un punto cualquiera de la tierra, las temperaturas más bajas (mínimas) se presentan luego del enfriamiento nocturno y antes de que la radiación solar empiece a superar la terrestre. En la región intertropical, la temperatura máxima se presenta un poco después del mediodía (aproximadamente dos horas después del cenit), cuando la inclinación de los rayos solares es aún pequeña y la ganancia de radiación por parte de la tierra continúa superando las pérdidas.

De otro lado, se sabe que la temperatura varía con la altitud, disminuyendo gradualmente en la medida que se asciende, lo que se conoce como gradiente térmico vertical y hace parte de la explicación de los pisos térmicos. Es normal,

entonces que, en la medida en que ascendemos por la ladera de las montañas que enmarcan la cuenca del río Risaralda, los valores de temperatura se hagan cada vez menores.

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.

3.3.1 Distribución espacial de la temperatura

El comportamiento de la temperatura es posible analizarlo con el trazo de las isotermas, líneas que por teoría unen puntos con igual valor de temperatura. En la Figura 12 se observa el mapa de isotermas en la cuenca del río Risaralda, de allí se puede establecer que hacia 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.

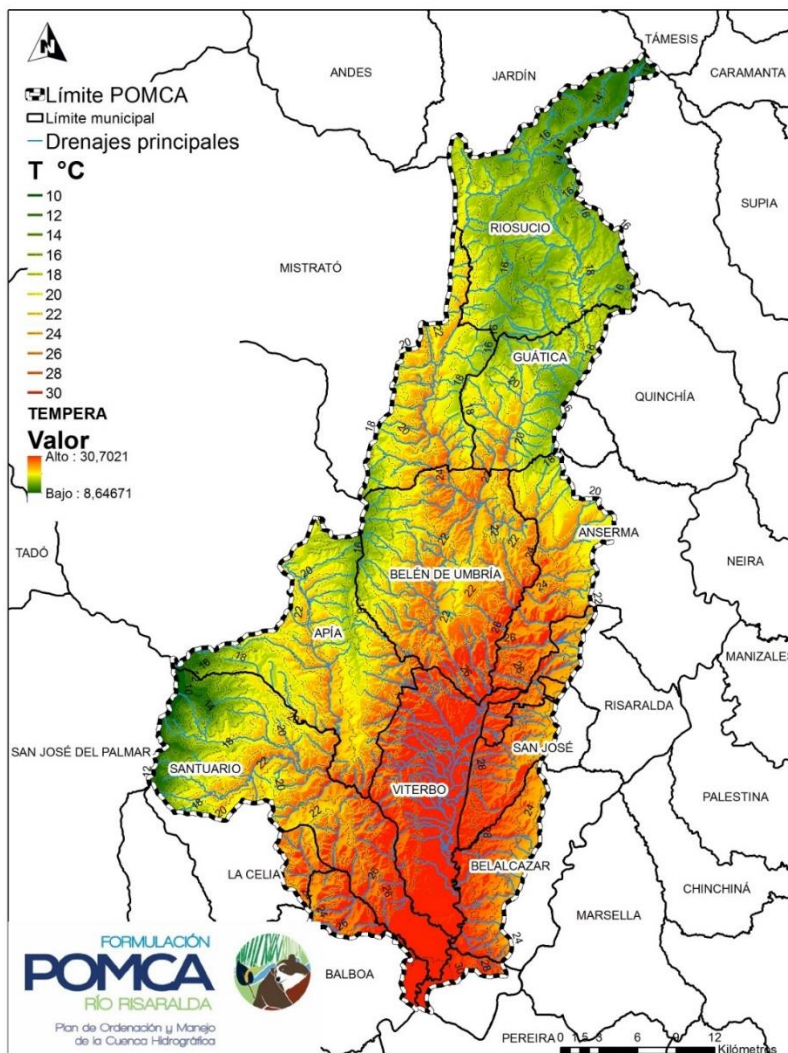


Figura 12. Isothermas cuenca Risaralda

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

3.3.2 Distribución espacial de la precipitación

Las isoyetas medias mensuales multianuales para la cuenca del río Risaralda muestran que las mayores precipitaciones se presentan en la parte alta de la cuenca en jurisdicción del municipio de Riosucio con valores de 3350 mm/año, posteriormente hacia el municipio de Guática Risaralda se observa disminución presentándose precipitaciones de 2300 mm/año, oscilando entre 1800 mm/año hasta 2450 mm/año en jurisdicción de los municipios de Anserma Caldas, Belén de Umbría y Apia Risaralda; ya hacia la parte media baja de la cuenca en jurisdicción de Santuario Risaralda, Viterbo y Belalcázar Risaralda se observan precipitaciones que oscilan entre los 2000 mm/año y 1800 mm/año. (Ver Figura 14).

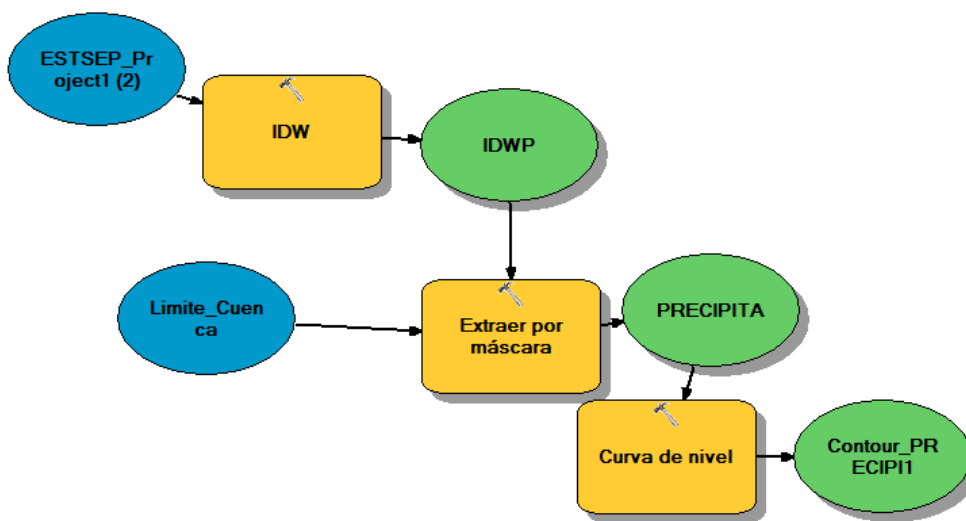
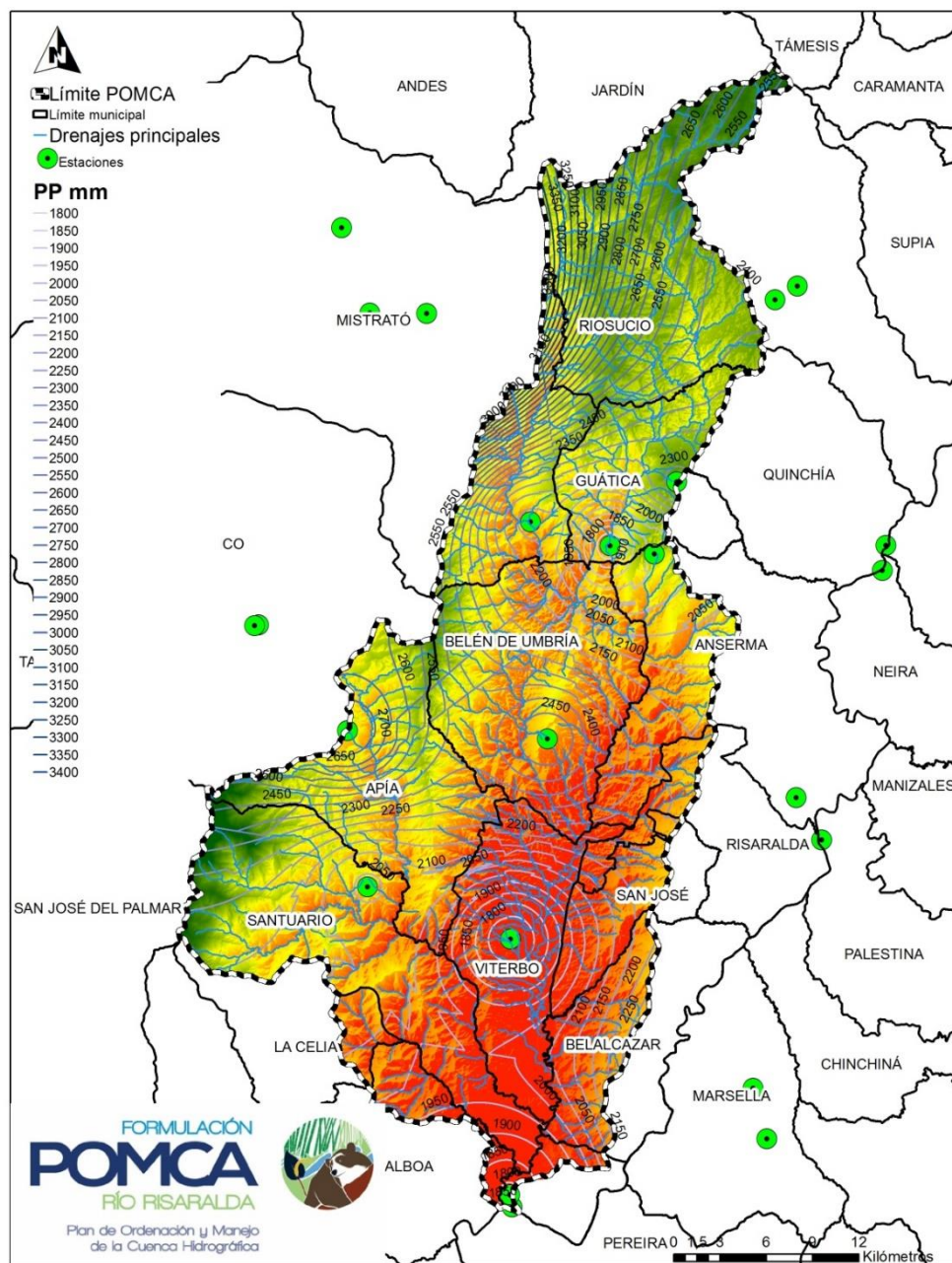


Figura 13 Modelo Conceptual para Isoyets.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.



3.3.3 Resultados y análisis

El extremo alto de la cuenca (nacimiento río Risaralda) presenta clima Páramo Bajo Superhúmedo, posteriormente y en jurisdicción del municipio de Riosucio Caldas se presenta clima de Frio Superhúmedo y Frio Húmedo, esta última unidad climática se mantiene hasta límites con el municipio de Guática Risaralda y sobre la margen

izquierda de la cuenca sectores Noroeste y Sureste, inclusive se en la parte alta de Santuario se presenta zonificación climática de Páramo bajo súper húmedo.

La parte media de la cuenca presenta zonificación climática entre templado húmedo y templado semihúmedo, predominando este último se presenta por la margen Noreste, este y sur este, en jurisdicción de municipios de Anserma, Risaralda, San José y Belalcázar en Caldas.

Posteriormente hacía la parte media baja de la cuenca en jurisdicción del municipio de Viterbo Caldas y La Virginia Risaralda se presenta zonificación climática Cálido Semihúmedo; finalmente en la parte más baja de la cuenca en su extremo inferior se presenta zonificación climática cálido semiárido.

En la Figura 16 se puede observar la zonificación climática para la cuenca.

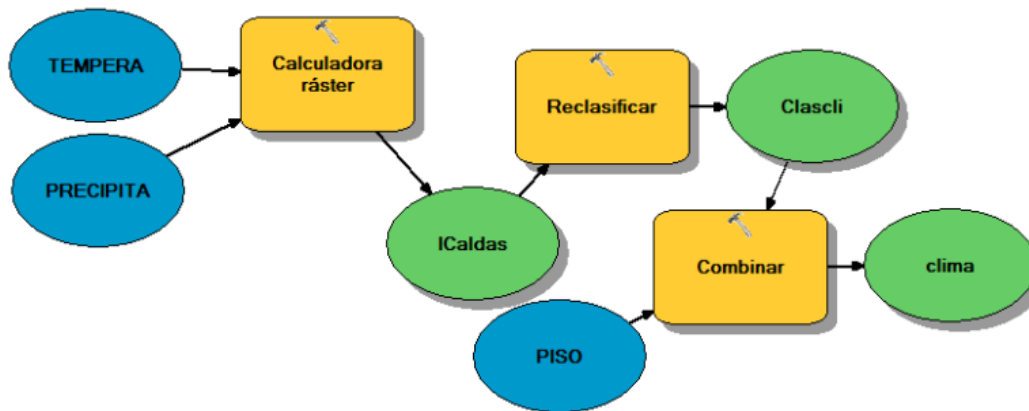


Figura 15. Modelo conceptual Clima.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

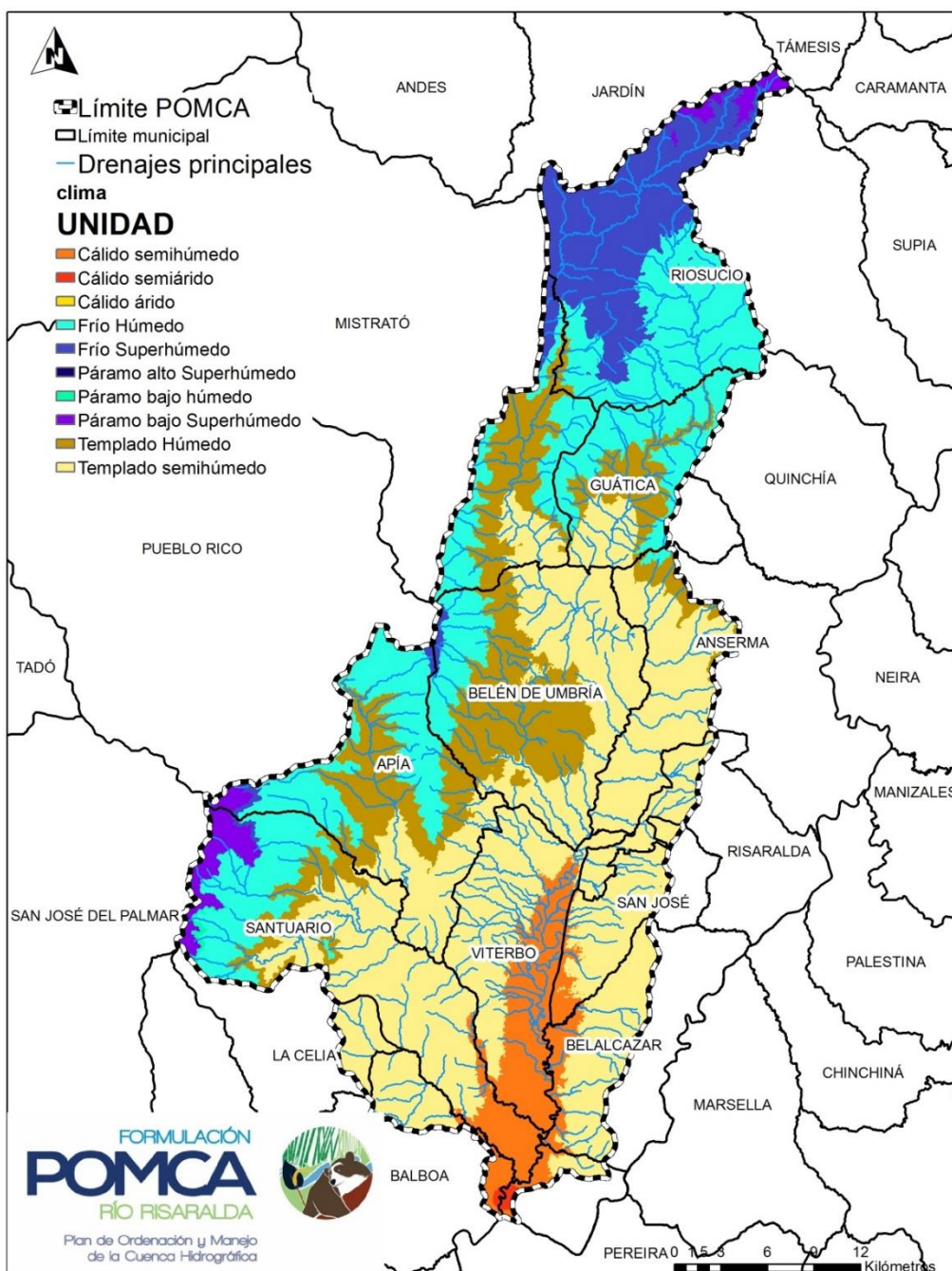


Figura 16. Zonificación Climática en el Área del POMCA del río Risaralda.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016

3.4 Evapotranspiración Potencial y Real

La evapotranspiración es uno de los componentes más importantes del balance hídrico, y se define como la suma de la evaporación física de agua desde la superficie y la transpiración de las plantas y los seres vivos. El balance de masas representa la cantidad de agua saliente del volumen de control hacia la atmósfera en forma de vapor de agua. La dinámica de la evapotranspiración está condicionada por tres factores fundamentales: disponibilidad de agua, disponibilidad de energía para el cambio de estado del agua y condiciones atmosféricas propicias para el almacenamiento y transporte de vapor de agua.

La disponibilidad de agua en una zona es determinada por la precipitación dado que a largo plazo ésta es la responsable del suministro de agua a los acuíferos por infiltración manteniendo el flujo base de las corrientes. El suministro de agua en la zona vadosa va directamente a las plantas, y junto con el agua interceptada por las mismas conforma el volumen disponible para la evapotranspiración.

Diferentes fórmulas han sido obtenidas en condiciones climáticas diferentes a las tropicales. A partir del estudio realizado por (Barco, y otros, 2000), se demostró que los cálculos más confiables para estimar esta variable eran Cenicafé y Turc, lo cual se ha ratificado en múltiples trabajos que se han desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (2003 y 2009).

Para la estimación de la variable evapotranspiración para la cuenca del río Risaralda se utilizó el método de Cenicafé – Budyko, este método permite calcular la evapotranspiración potencial en función de la elevación sobre el nivel del mar. La ecuación (1), fue obtenida realizando una regresión a los valores obtenidos de aplicar el método de Penman a los datos de estaciones climáticas de Colombia.

$$ETP = 1700.17 \exp(-0.0002 h) \quad (1)$$

Esta ecuación se realizó en el SIG a partir del IDW, a partir del uso de calculadora de mapas.

La Evapotranspiración potencial se transforma a evapotranspiración real mediante la expresión de Budyko, que se presenta en la siguiente ecuación (2) (Amaya et al., 2009).

$$ETR = \left(ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \cdot \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right) \right)^{0.5} \quad (2)$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real (mm/año) y P es la precipitación media de la cuenca (mm/año)

Los rangos de Evapotranspiración Potencial (ETP) en la cuenca de río Risaralda son muy variables oscilan desde los 810 mm/año hasta los 1800 mm/año, la parte alta hacia el nacimiento del río Risaralda, presenta ETP de 994 mm, inmediatamente después se presenta ETP de 1800 mm, lo anterior en jurisdicción del municipio de Risaralda, posteriormente hacia media alta y media de la cuenca, se observa ETP que varía desde los 1150 mm hasta los 1300 mm en jurisdicción de Belén de Umbría y de los municipios que se localizan sobre la cuchilla Este; hacia el sector Suroeste parte alta del municipio de Santuario en área del Distrito de Manejo Integrado Planes de San Rafael y Parque Regional Natural Tatamá se observa ETP que oscila entre los 990 mm pasando por los 1800 mm y descendiendo nuevamente hasta los 1300 mm, tendencia similar a la presentada en la parte alta de la cuenca.

Ya hacia la parte media y media baja se presenta ETP que va desde los 1350 mm hasta 1420 mm en la parte más baja de la cuenca. En la Figura 17 se muestra la salida gráfica resultante para la Evapotranspiración Potencial (ETP).

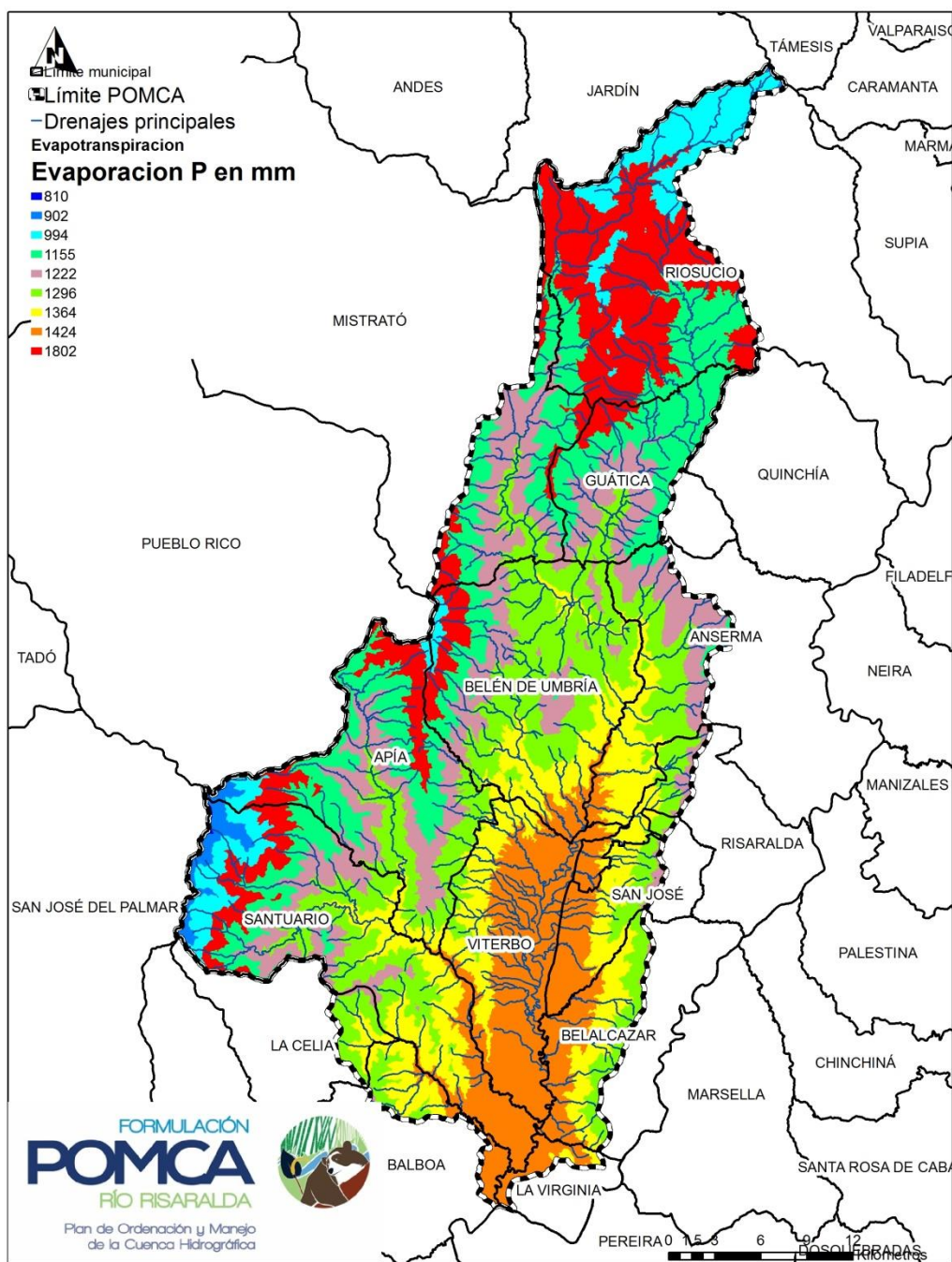


Figura 17. Evapotranspiración Potencial en el Área del POMCA del río Risaralda.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016

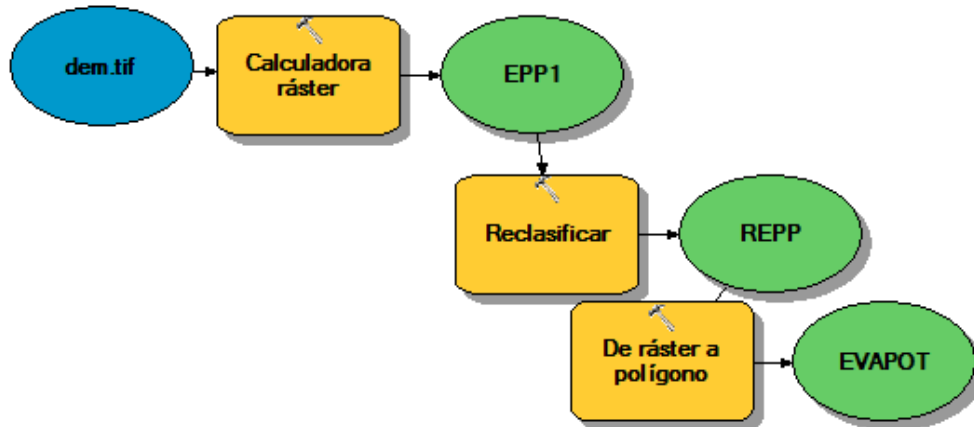


Figura 18. Modelo conceptual EVP
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

Por su la ETR no presenta variaciones tan significativas como en el caso de la ETP, hacia la parte alta de la cuenca los 800 mm y 850 mm, posteriormente hacia la parte media alta y media de la cuenca, se presentan ETR con valores alrededor de los 800 mm que se mantiene hasta el área en jurisdicción de Belén de Umbría en donde se presentan valores superiores a 1000 mm, que se mantienen hasta la parte baja de la cuenca (Figura 19).

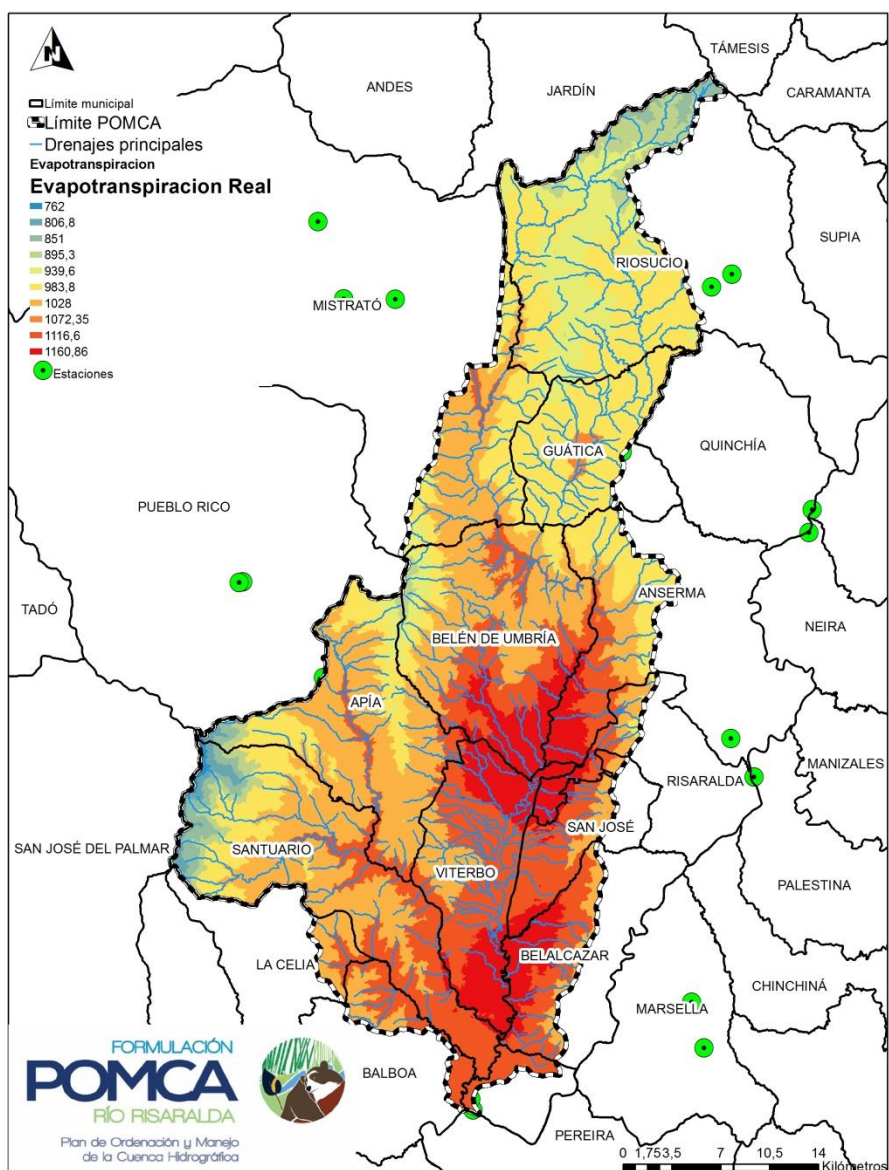


Figura 19. Evapotranspiración Real en el Área del POMCA del río Risaralda.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016.

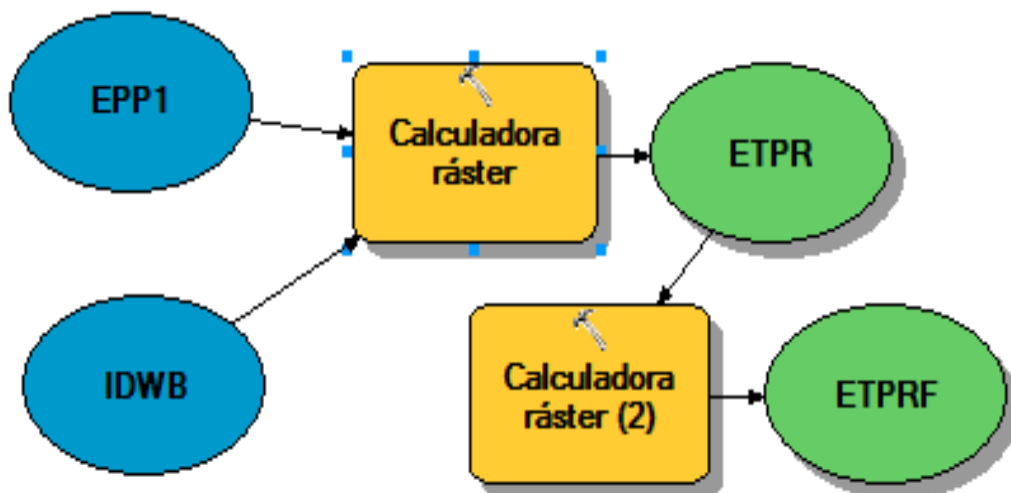


Figura 20. Modelo conceptual EVTR.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016.

Formula operada para el cálculo en ARGIS:

$$("%EPP1%" * "%IDWB%" * \text{TanH}("%IDWB%" / "%EPP1%") * (1 - \text{CosH}("%EPP1%" / "%IDWB%") + \text{SinH}("%EPP1%" / "%IDWB%"))).$$

3.4.1 Identificación de la variabilidad climática en la cuenca y la influencia de fenómenos macroclimáticos.

Con la finalidad de poder soportar que los fenómenos del ENSO se relacionen con los cambios presentados en la media y la varianza de las series estudiadas, se realizó el estudio de la influencia de dicho fenómeno.

Como primera medida se realizó la clasificación de los meses, con base en los reportes de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), de fenómenos ENSO que se han presentado históricamente y que es actualizado mensualmente. Esta información se puede consultar en la página web de la NOAA y se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Índice Oceánico Niño (ONI) para eventos cálidos y fríos

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.4	-1.2	-1.1	-1.2	-1.1	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
1951	-0.8	-0.6	-0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6
1952	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
1953	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7
1954	0.7	0.4	0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5
1955	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.4
1956	-0.9	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4
1957	-0.3	0	0.3	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.1	1.2	1.3	1.6
1958	1.7	1.5	1.2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
1959	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
1960	-0.1	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.2	0	0.1	0.2	0.1	0	0
1961	0	0	-0.1	0	0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1
1964	1.0	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6	1.7	1.8	1.5
1966	1.3	1.0	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1968	-0.7	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	0.8
1969	0.9	1.0	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5	0.8	0.8	0.8	0.7
1970	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.2
1971	-1.3	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.8
1972	-0.7	-0.4	0	0.3	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	1.9
1973	1.7	1.2	0.6	0	-0.4	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.7	-1.9	-1.9
1974	-1.7	-1.5	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6
1975	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8
1977	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0
1981	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	1.9	2.1	2.1
1983	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9

1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6
2015	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.2	2.3
2016	2.2	1.9	1.5	1.1								

Fuente: National Weather Service, 2016

En la siguiente dirección electrónica se puede encontrar la anterior tabla:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Los eventos cálidos (en rojo) y fríos (en azul) han sido definidos para un umbral de +/- 0.5 °C para el índice oceánico El Niño (ONI) y para efectos históricos el evento cálido o frío se define como presente cuando los valores del ONI están por fuera del umbral cinco veces consecutivos.

Utilizando esa clasificación de los meses se elaboraron gráficas que permitieran comparar el comportamiento de la precipitación media mensual multianual para los meses considerados secos (NIÑO), húmedos (NIÑA) y normales. Para este análisis se emplearon los datos de cuatro estaciones climáticas, ubicada en tres franjas altitudinales distintas de la siguiente forma:

Complementario con lo anterior se presenta en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** un consolidado de los años niño y niña, adicionalmente indicando si son fenómenos débiles, moderados, fuertes o muy fuertes.

Tabla 5. Consolidados años niño y niña

El niño				la niña		
Débiles	mod	Fuerte	Muy fuerte	Débiles	mod	Fuerte
1951-1952	1963-1964	1957-1958	1982-1983	1950-1951	1955-1956	1973-1974
1952-1953	1986-1987	1965-1966	1997-1998	1954-1955	1970-1971	1975-1976
1953-1954	1987-1988	1972-1973	2015-16	1964-1965	1998-1999	1988-1989
1958-1959	1991-1992			1967-1968	1999-2000	
1968-1969	2002-03			1971-1972	2007-08	
1969-1970	2009-10			1974-1975	2010-11	
1976-1977				1983-1984		
1977-1978				1984-1985		
1979-1980				1995-1996		
1994-1995				2000-01		
2004-05				2011-12		
2006-07						

Fuente: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

A partir de la definición de años niño, niña y normal por cada una de las 27 estaciones de utilizadas para análisis de precipitación, se realizó un análisis de variabilidad de la precipitación mediante las isoyetas.

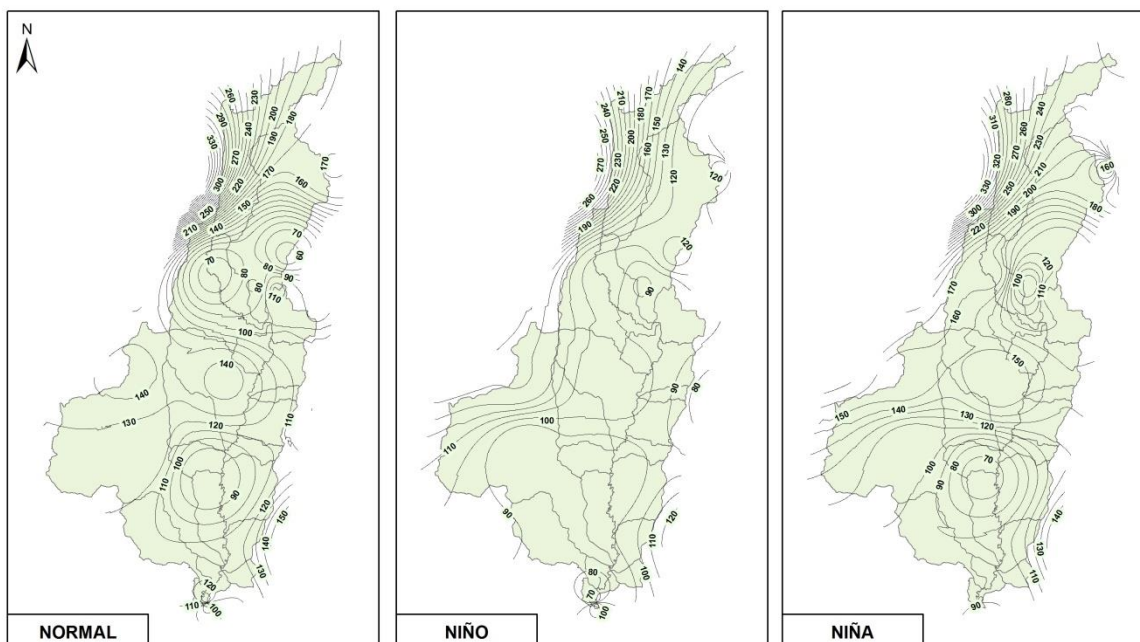


Figura 21. Variabilidad climática isoyetas enero
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

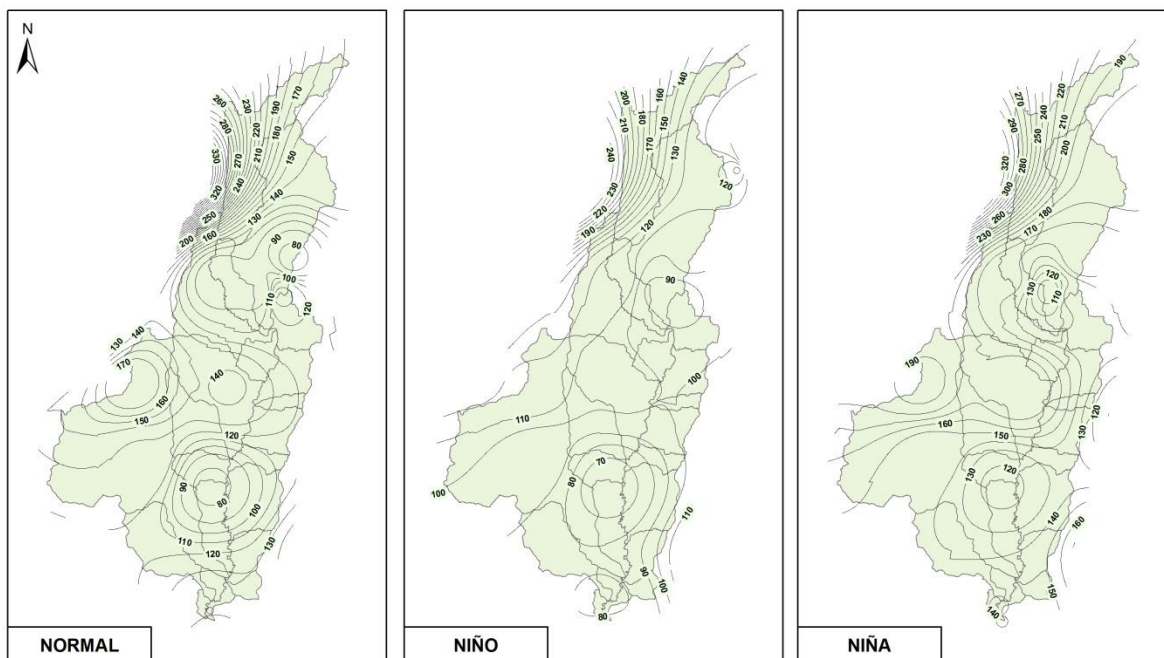


Figura 22. Variabilidad climática isoyetas febrero
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

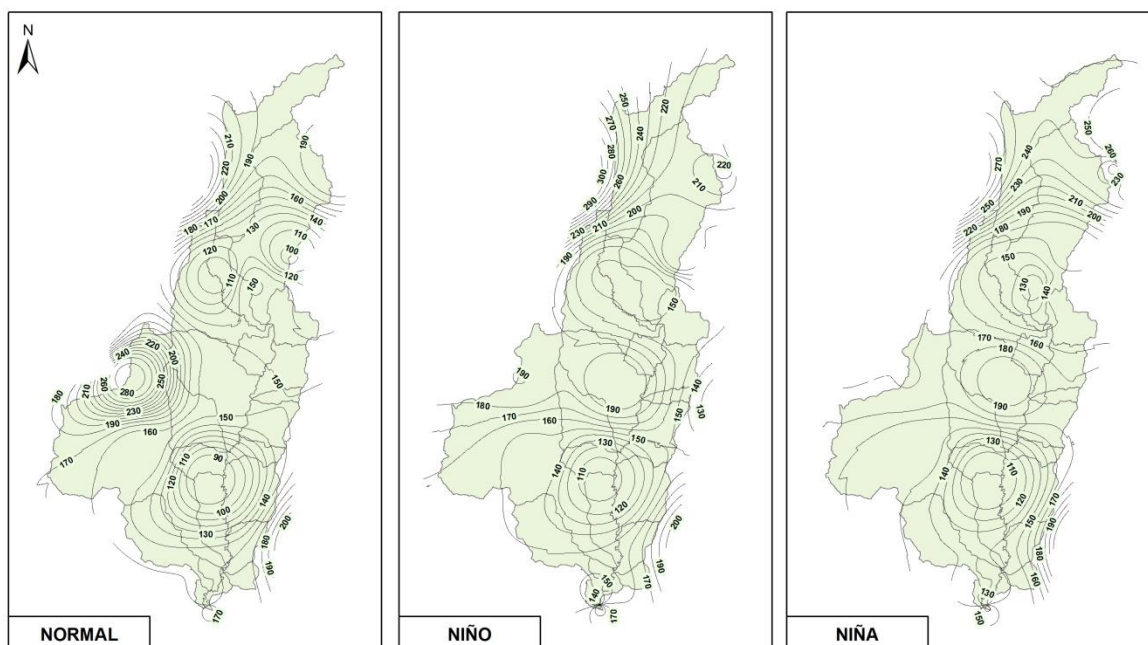


Figura 23. Variabilidad climática isoyetas marzo
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

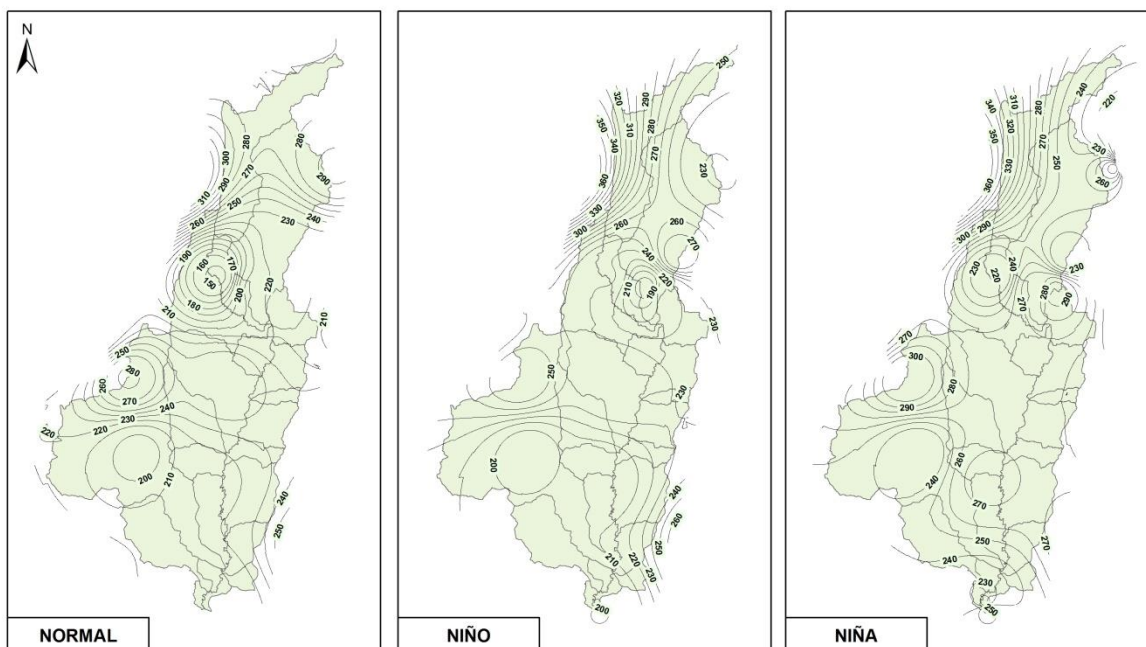


Figura 24. Variabilidad climática isoyetas abril
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

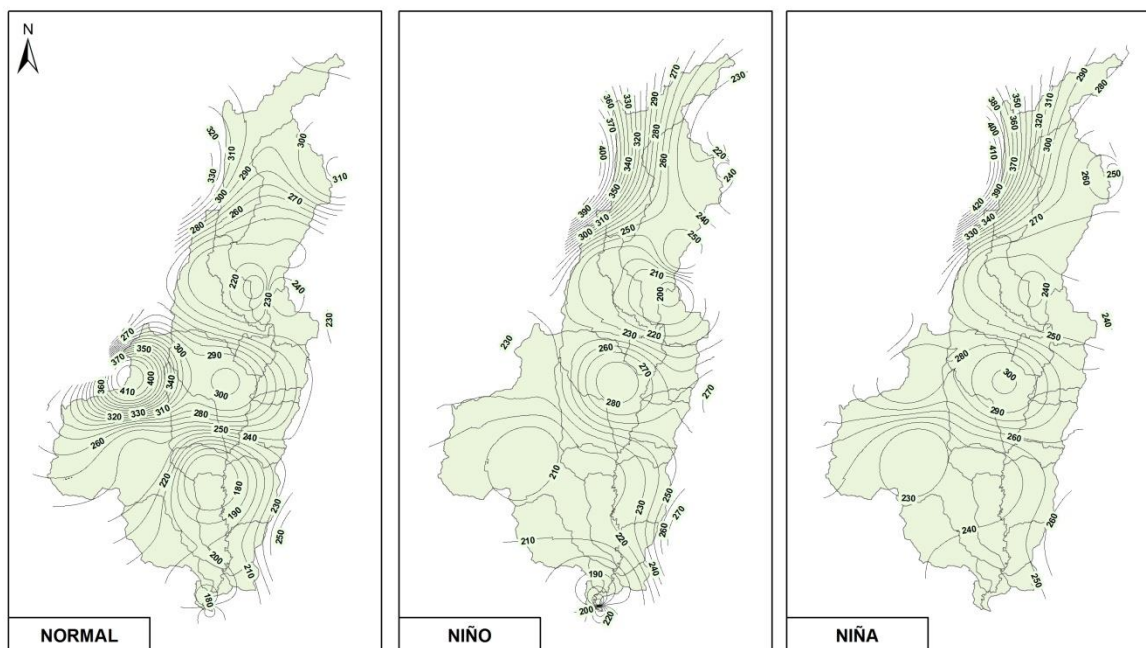


Figura 25. Variabilidad climática isoyetas mayo
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

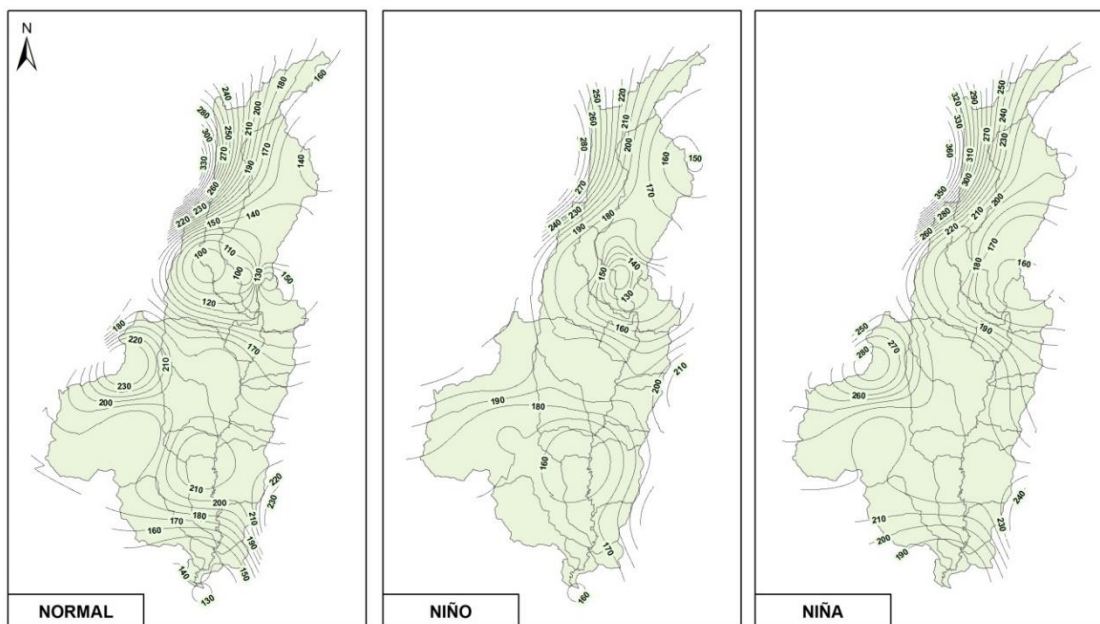


Figura 26. Variabilidad climática isoyetas junio
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

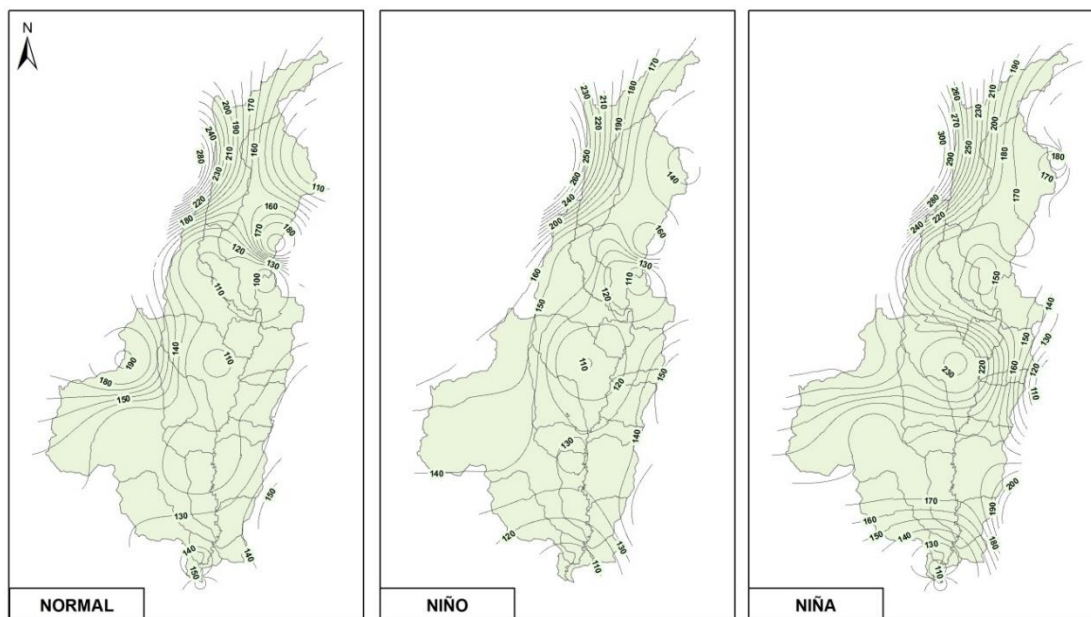


Figura 27. Variabilidad climática isoyetas julio
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

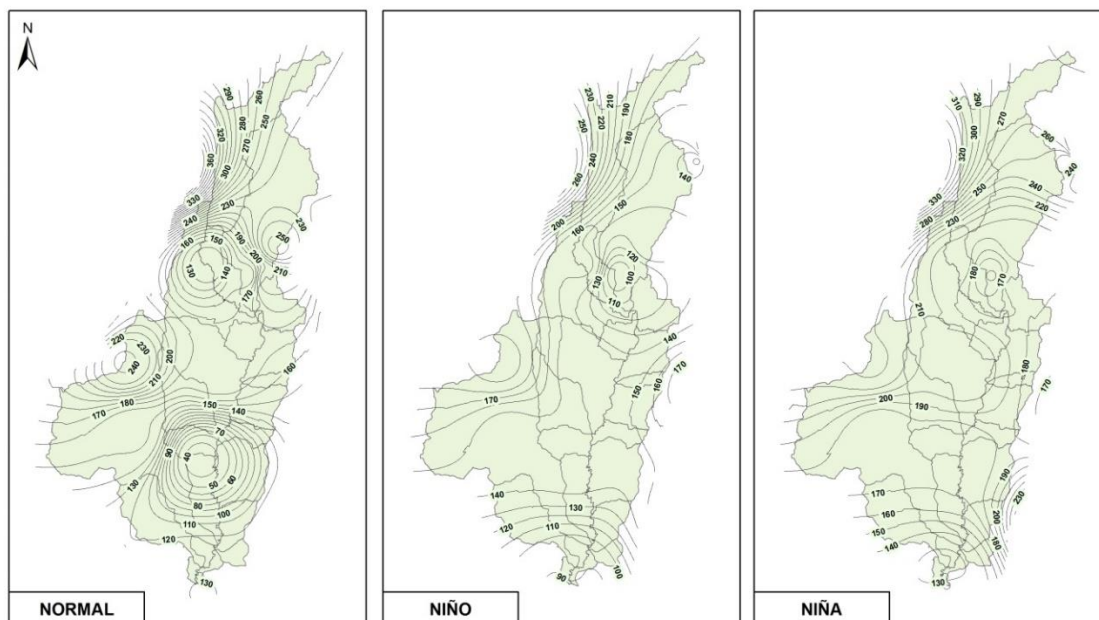


Figura 28. Variabilidad climática isoyetas agosto
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

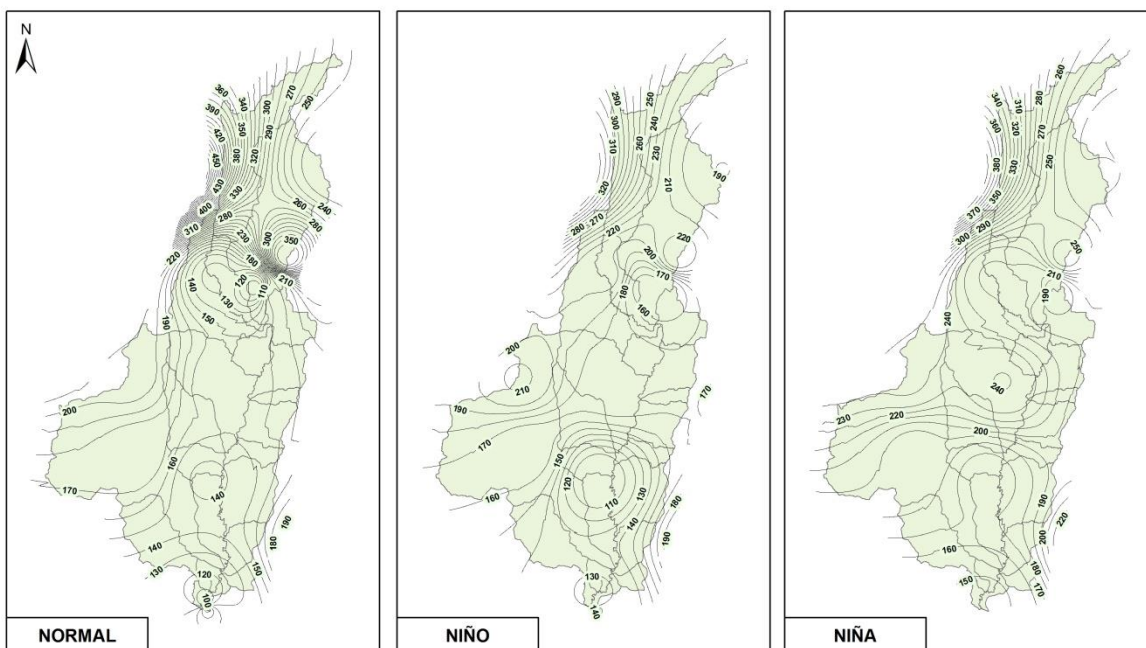


Figura 29. Variabilidad climática isoyetas septiembre
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

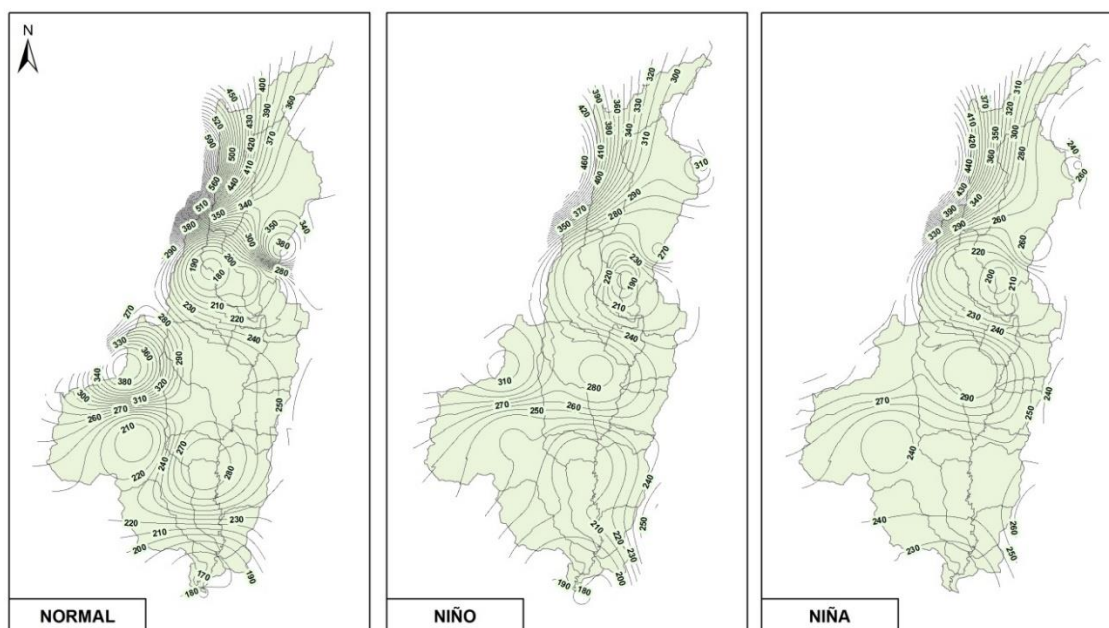


Figura 30. Variabilidad climática isoyetas octubre
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

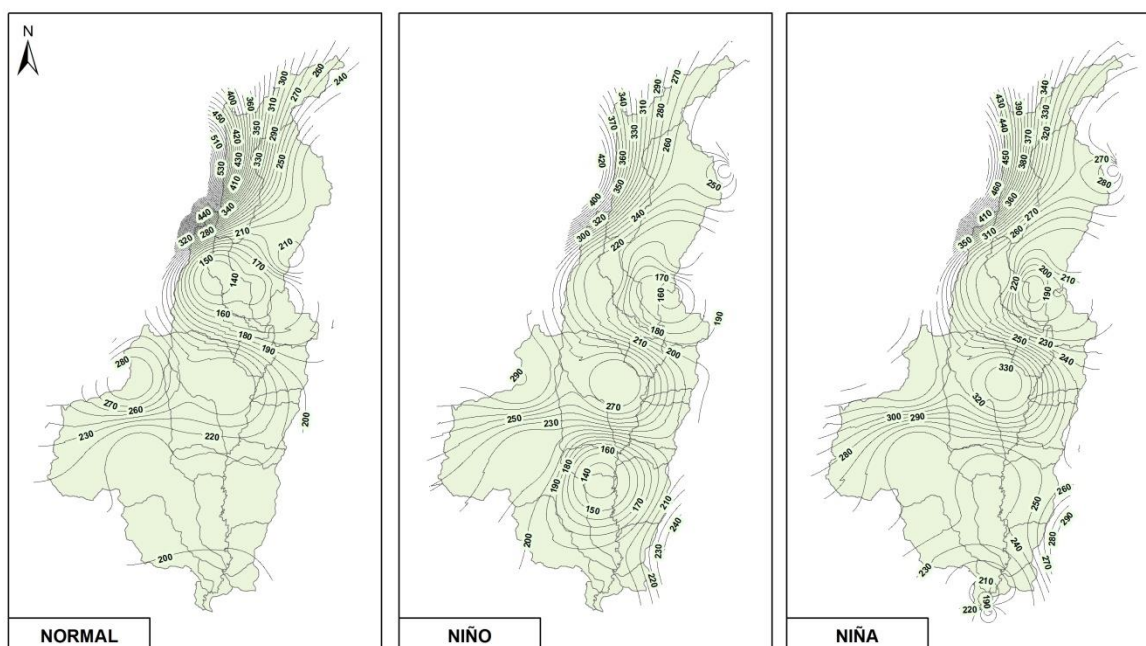


Figura 31. Variabilidad climática isoyetas octubre
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

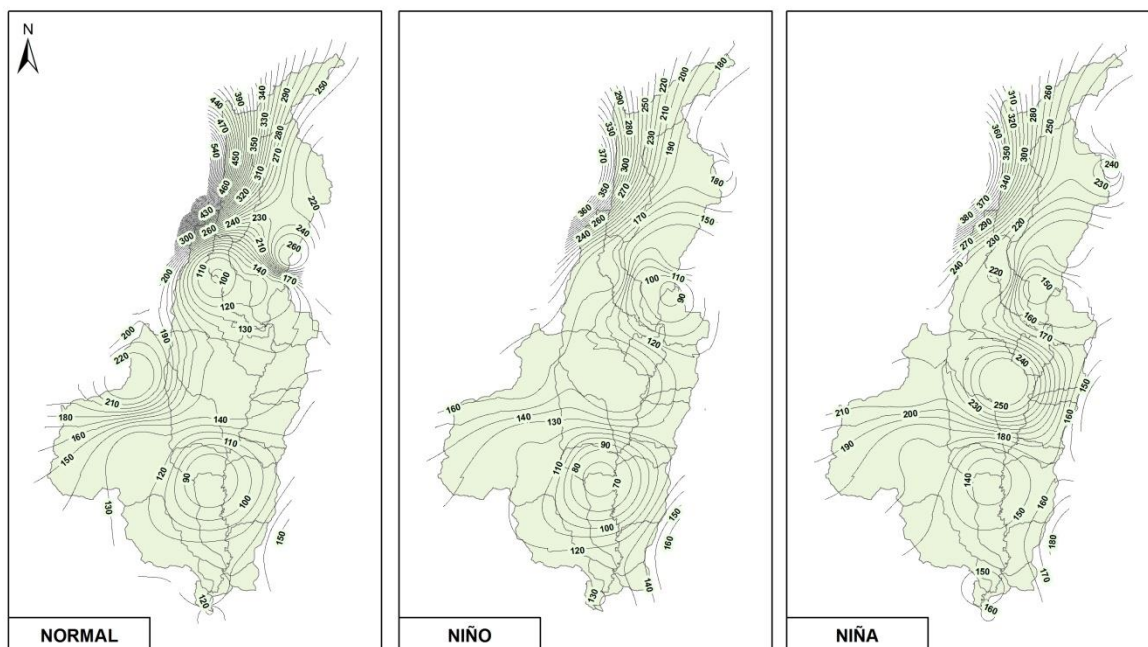


Figura 32. Variabilidad climática isoyetas noviembre
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

3.5 Resultados del Índice de Aridez (IA)

En la Figura 34 se observa los resultados del Índice de Aridez (IA) en la cuenca del río Risaralda. De las siete (7) categorías mostradas en la Figura 19 se presentan tres (3) categorías.

Toda la parte alta de la cuenca y la parte media y baja hacia el sector Noroeste y Suroeste hacia la cuchilla del San Juan presenta altos excedentes de agua, esto en jurisdicción del municipio de Riosucio Caldas, Belén de Umbría, Apía y Santuario Risaralda, este mismo indicador se presenta en una pequeña franja de la vertiente Este en la parte alta de alta de municipios de Anserma, San José, Risaralda y Belalcázar en Caldas.

Ya hacia la parte media y media baja de la cuenca y hacia el Sureste se presentan excedentes de agua, en esta misma zona en áreas de jurisdicción de Viterbo Caldas y La Virginia Risaralda, se presentan moderados y excedentes de agua.

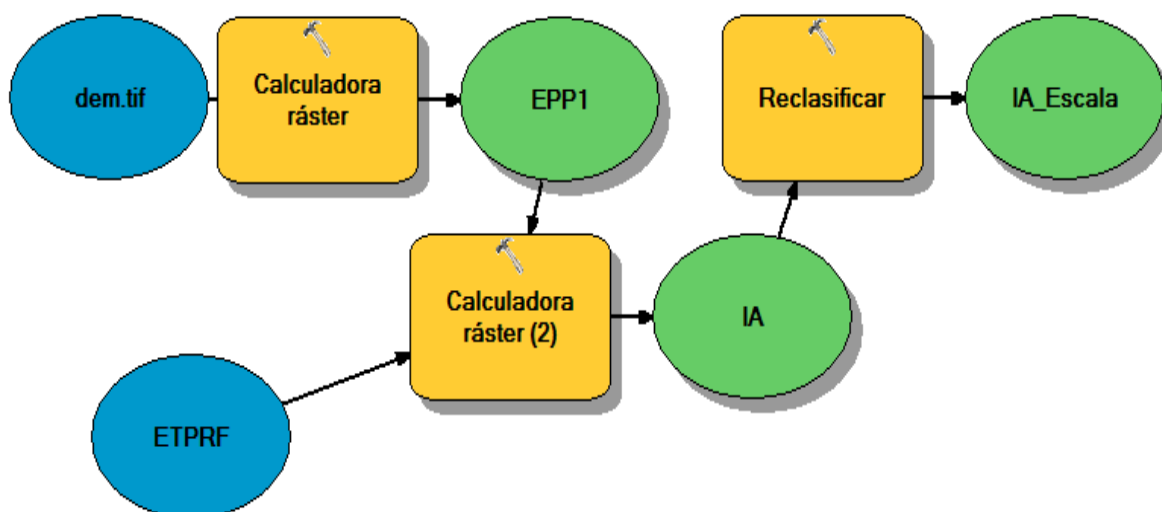


Figura 33. Modelo Conceptual Índice de Aridez.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016.

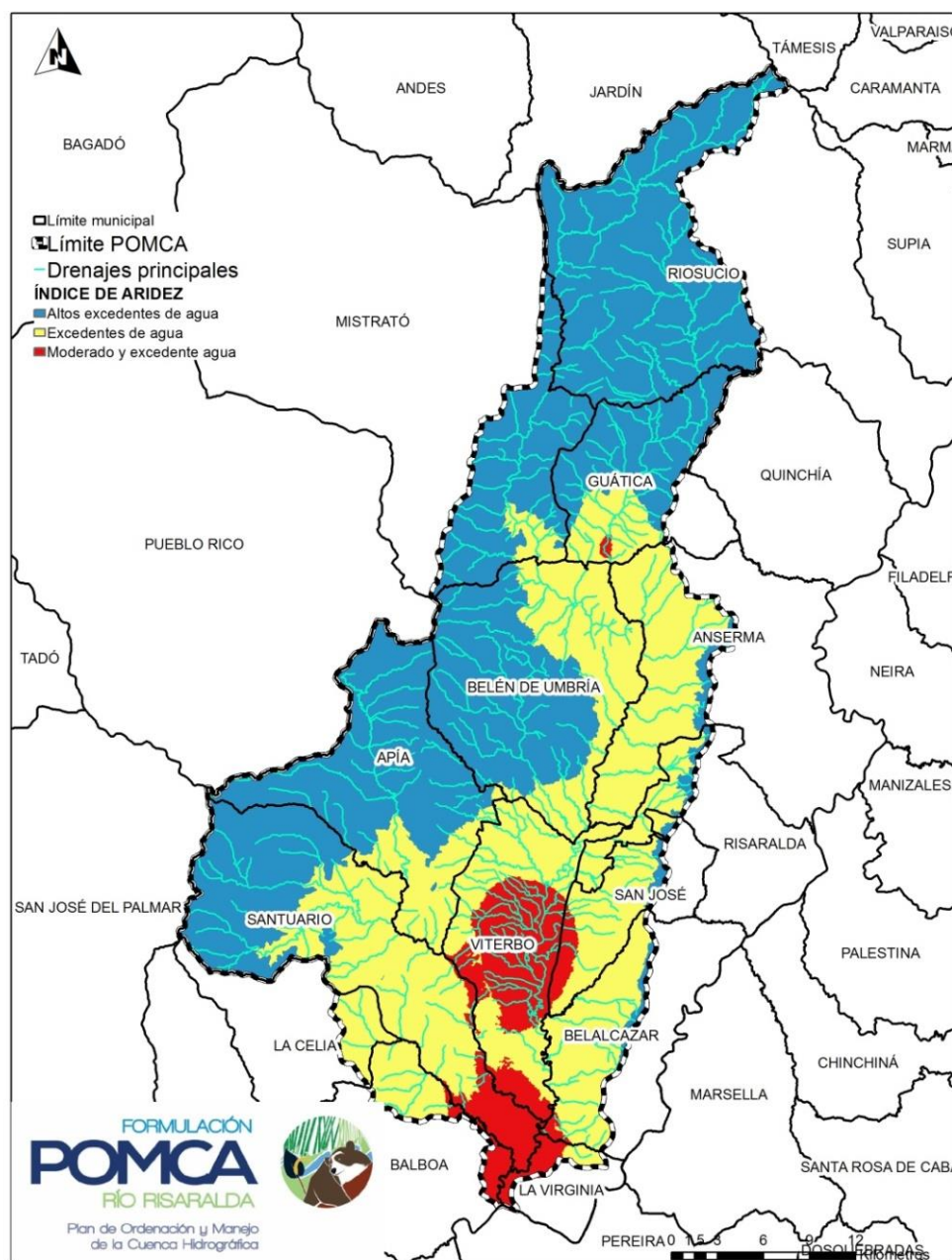


Figura 34. Índice de Aridez en el Área del POMCA del río Risaralda.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016.

3.5.1 Balance hídrico climático en el área de la cuenca

El balance hídrico determina las condiciones hídricas superficiales promedio de la zona de estudio y para su elaboración se utilizan los valores medios mensuales de precipitación y evapotranspiración. Sólo se consideran aportes por lluvia, los aportes por aguas subterráneas y perdidas por percolación no son consideradas.

Se utilizó el método directo para el cálculo de balance hídrico, este método establece que conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evaluar la disponibilidad de agua en los cultivos, estudios hidrológicos, entre otros.

El método directo propuesto por Thornthwaite y Matter, según el cual se va perdiendo agua para poder generar la evapotranspiración potencial hasta agotar la reserva.

El balance hídrico consiste en definir mes a mes los siguientes parámetros, en mm.

P = precipitación media mensual

ETP = Evapotranspiración Potencial

ETR = Evapotranspiración Real

P – ETP = Diferencia entre P y ETP

R = Reserva

VR = Variación de la reserva

F = Déficit

Ex = Excedentes

Analizando algunos parámetros en detalle:

P – ETP = Es el balance mensual de entradas y salidas del suelo. La diferencia clasifica los meses secos ($P - ETP < 0$) y en meses húmedos ($P - ETP > 0$)

R = Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas ($P > ETP$), el agua excedente pasará a engrosar las reservas del suelo; por el contrario, cuando las salidas sean mayores que las entradas se reducirá la reserva del suelo. Sin embargo, el suelo no es “pozo sin fondo”, y cuando se alcance la capacidad de retención del suelo, el agua añadida en “exceso”, escurrirá superficialmente o en profundidad. Por tanto, se debe tener en cuenta el concepto de reserva máxima a cantidad de agua por unidad de superficie (mm), que el suelo es capaz de almacenar en su perfil. Para el modelo del balance hídrico se asumió una capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de 100 mm, la cual corresponde a la cantidad de agua aprovechable por las plantas que puede conservar el suelo y depende principalmente de la textura y la profundidad

ETR = Es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ETP de referencia.

El procedimiento para el cálculo de la ETP por el método de Thornthwaite es el siguiente:

- 1) Se calculan un “índice de calor mensual” (i) a partir de la temperatura t :

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

- 2) Se calcula el “índice de calor anual” (I), sumando los 12 valores de i :

$$I = \sum i$$

- 3) Se calcula ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

Donde ETP sin corr: ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

i = Temperatura media mensual (°C)

I = Índice de calor anual, obtenido en el punto 2

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} + 0.49239$$

- 4) Corrección para el número de días del mes y en número de horas de sol

$$ETP = ETP_{sin\ corr.} \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$$

Dónde:

ETP: ETP Corregida

N = Número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud

d = Número de días del mes

Se seleccionaron tres (3) estaciones, para realizarles en balance hídrico climático.

En el rango altitudinal entre los 0 y los 1000 msnm se encuentra la Estación Virginia la-alerta, en donde se observa que todos los meses presentan periodos húmedos, no se presentan déficit de agua, la ETP es igual a la ETR. Del total de agua que se precipita el 38 % se evapotranspira y el 62% son excesos.

Tabla 6. Cálculo balance hídrico estación Virginia – La Alerta

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Total
temp	24.18	23.79	24.43	24.12	24.52	24.45	24.24	24.17	24.07	23.39	23.21	23.50	
nº horas luz	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4	12	12.3	12.1	12	11.9	11.8	
ETP	60.8	60.4	63.8	64.5	68.3	62.2	64.4	63.3	63.6	56.0	56.1	57.8	741.4
P	89.5	114	179.4	219.2	240.9	160.3	126.2	109	147.7	191.6	214.4	141.3	1933.5
P-ET	28.7	53.6	115.6	154.7	172.6	98.1	61.8	45.7	84.1	135.6	158.3	83.5	
Tipo de Período	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	
Reserva - R-	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
VR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR	60.8	60.4	63.8	64.5	68.3	62.2	64.4	63.3	63.6	56.0	56.1	57.8	741.4
F (Déficit)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Excedentes	28.7	53.6	115.6	154.7	172.6	98.1	61.8	45.7	84.1	135.6	158.3	83.5	1192.1

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016

En la Figura 35. Precipitación, ETP y ETR en la estación Virginia – La Alerta se puede observar el comportamiento del régimen bimodal en la estación Virginia La Alerta, en comparación con la ETP y la ETR, en donde se ratifica que la ETP y la ETR son iguales y no se presentan déficit y no superan la precipitación.

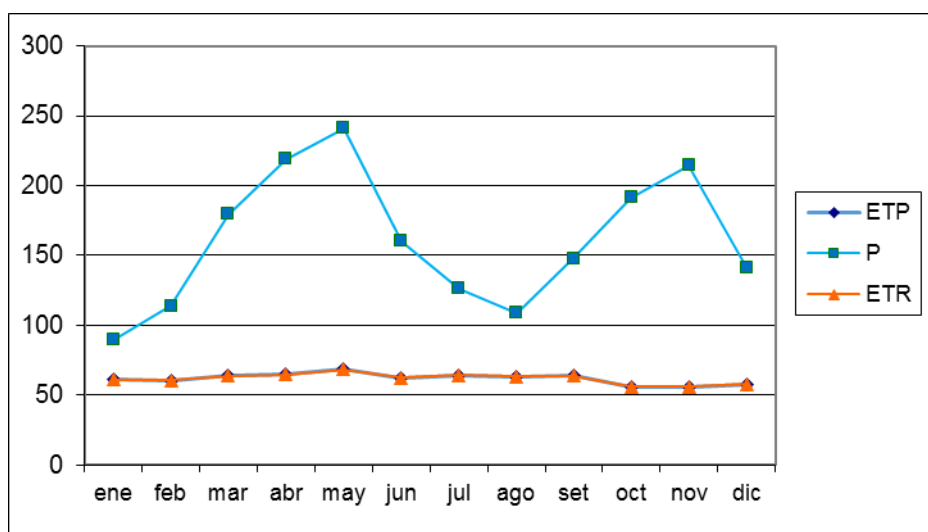


Figura 35. Precipitación, ETP y ETR en la estación Virginia – La Alerta

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016

En el rango altitudinal entre los 1000 msnm y 2000 msnm se escogió la estación Riosucio que se localiza en los 1900 msnm, se observa que todos los meses presentan periodos húmedos, no se presentan déficit de agua, la ETP es igual a la ETR. Del total de agua que se precipita el 33 % se evapotranspira y el 67% son excesos (Tabla 7).

En la Figura 36 se puede observar el comportamiento del régimen bimodal en la estación Riosucio, en comparación con la ETP y la ETR, en donde se ratifica que la ETP y la ETR son iguales y no se presentan déficit y no superan la precipitación.

Tabla 7. Cálculo balance hídrico estación Riosucio

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Tota l
temp	17.78	17.50	17.97	17.74	18.03	17.99	17.83	17.78	17.70	17.20	17.07	17.29	
nº horas luz	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4	12	12.3	12.1	12	11.9	11.8	
ETP corr.	64.6	65.4	66.9	68.7	71.4	65.2	68.2	67.3	67.9	61.9	62.5	63.5	793. 6
ETP	66.0	66.8	68.4	70.3	72.9	66.7	69.7	68.8	69.4	63.3	63.9	64.9	811. 2
P	143.7	145.6	203.6	253.9	229.5	164.2	142.5	170.1	206.6	299.8	265.3	205.7	2430 .5
P-ET	77.7	78.8	135.2	183.6	156.6	97.5	72.8	101.3	137.2	236.5	201.4	140.8	
Tipo de Período	húme do	húme do	húme do	húme do	húme do	húme do	húme do	húme do	húme do	húme do	húme do	húme do	
Reserva - R.	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
VR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR	66.0	66.8	68.4	70.3	72.9	66.7	69.7	68.8	69.4	63.3	63.9	64.9	811. 2
F (Déficit)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Excedentes	77.7	78.8	135.2	183.6	156.6	97.5	72.8	101.3	137.2	236.5	201.4	140.8	1619 .3

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016

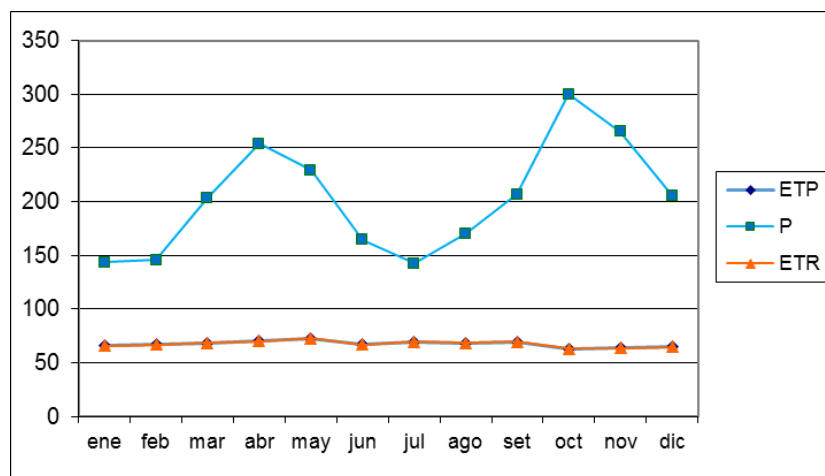


Figura 36. Precipitación, ETP y ETR en la Estación Riosucio

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016

Finalmente, en el rango entre los 2000 y 3000 msnm se seleccionó la estación San Clemente, se observa que todos los meses presentan periodos húmedos, no se presentan déficit de agua, la ETP es igual a la ETR. Del total de agua que se precipita el 33 % se evapotranspira y el 67% son excesos

Tabla 8. Cálculo balance hídrico estación San Clemente

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Total
temp	16.365	16.10	16.53	16.32	16.59	16.55	16.41	16.36	16.29	15.83	15.71	15.9	
nº horas luz	11.8	11.9	12	12.2	12.3	12.4	12	12.3	12.1	12	11.9	11.8	
ETP corr.	60.5	61.4	62.6	64.4	66.7	61.0	63.9	63.0	63.6	58.3	59.0	59.6	744.0
ETP	91.2	92.6	94.3	97.1	100.5	91.9	96.3	95.0	95.9	87.9	88.9	89.9	1121.6
P	120.2	120.7	184.3	260.3	256.2	169.2	170.7	161.5	247.9	267.0	196.7	149.3	2304.0
P-ET	29.0	28.1	90.0	163.2	155.7	77.3	74.4	66.5	152.0	179.1	107.8	59.4	
Tipo de Período	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	húmedo	
Reserva - R-	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
VR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ETR	91.2	92.6	94.3	97.1	100.5	91.9	96.3	95.0	95.9	87.9	88.9	89.9	1121.6
F (Déficit)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Excedentes	29.0	28.1	90.0	163.2	155.7	77.3	74.4	66.5	152.0	179.1	107.8	59.4	1182.4

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016

En la Figura 37. Precipitación, ETP y ETR en la Estación San Clementese puede observar el comportamiento del régimen bimodal en la estación Riosucio, en comparación con la ETP y la ETR, en donde se ratifica que la ETP y la ETR son iguales y no se presentan déficit y no superan la precipitación.

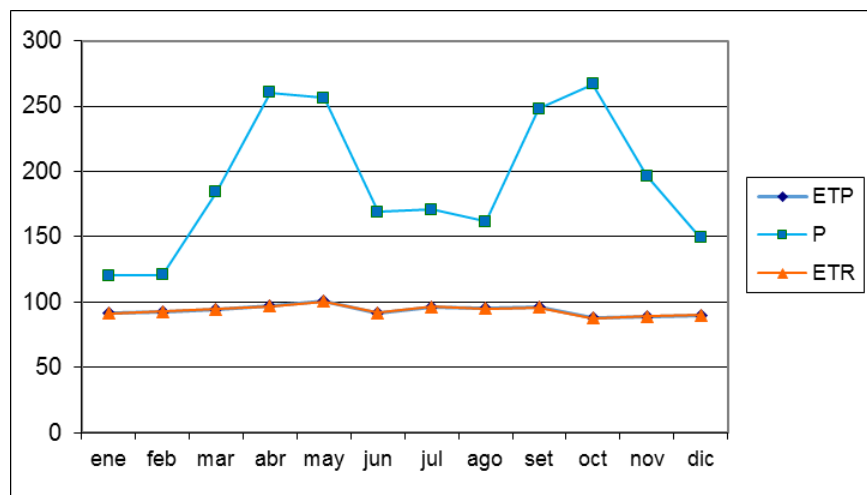


Figura 37. Precipitación, ETP y ETR en la Estación San Clemente
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda. 2016

4 GEOLOGÍA.

4.1 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 fotointerpretada ver Figura 38 Análisis de fotografías aéreas detallando las Unidades geológicas presentes. Obsérvese los puntos en color amarillo que representan los puntos de control de campo planteados. y se identificaron los sitios de interés prioritarios para iniciar el control geológico de campo o puntos de Control.

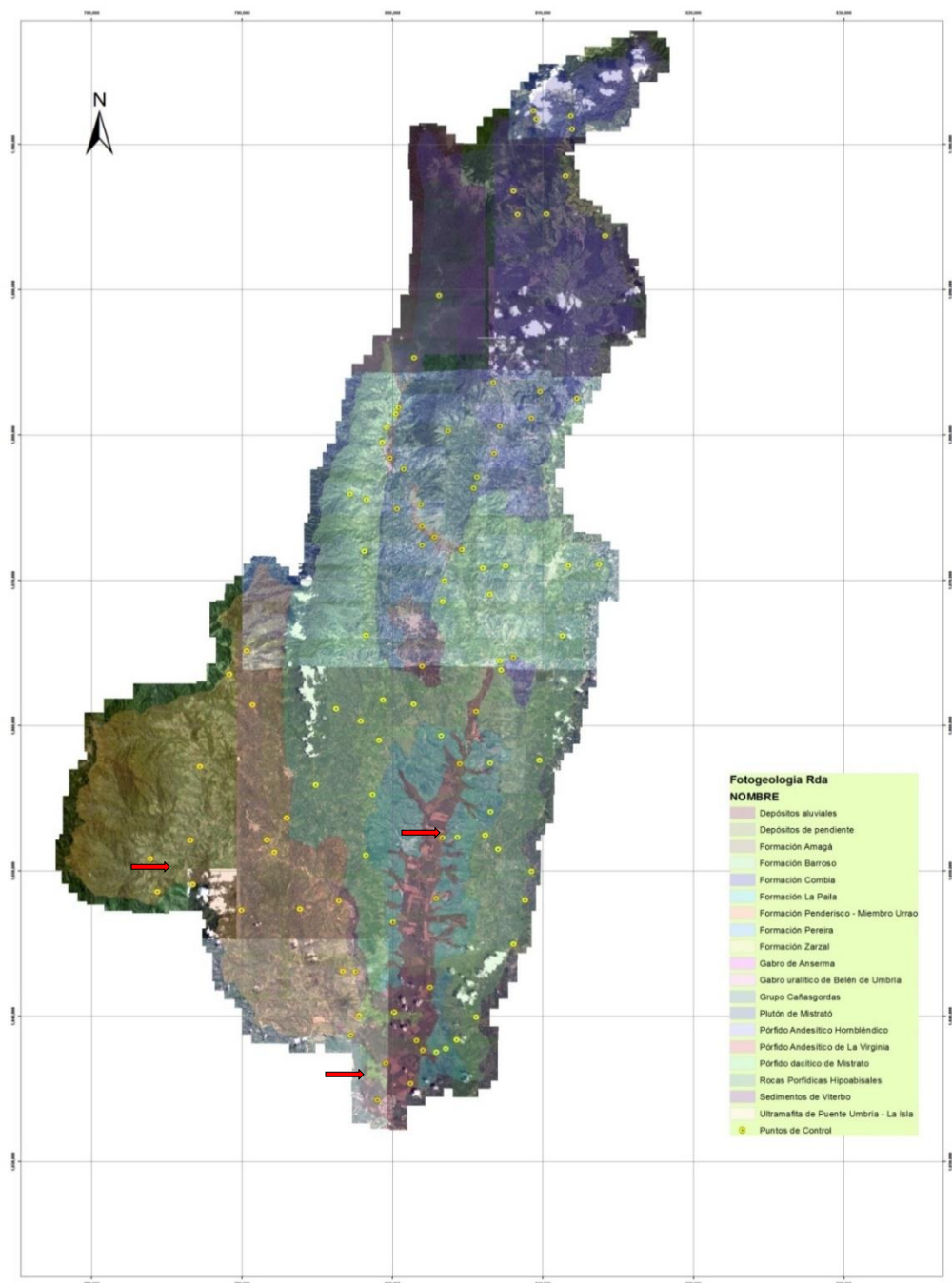


Figura 38 Análisis de fotografías aéreas detallando las Unidades geológicas presentes. Obsérvese los puntos en color amarillo que representan los puntos de control de campo planteados.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

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 mapa de densidad de fracturamiento de la Figura 38 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 Apia 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

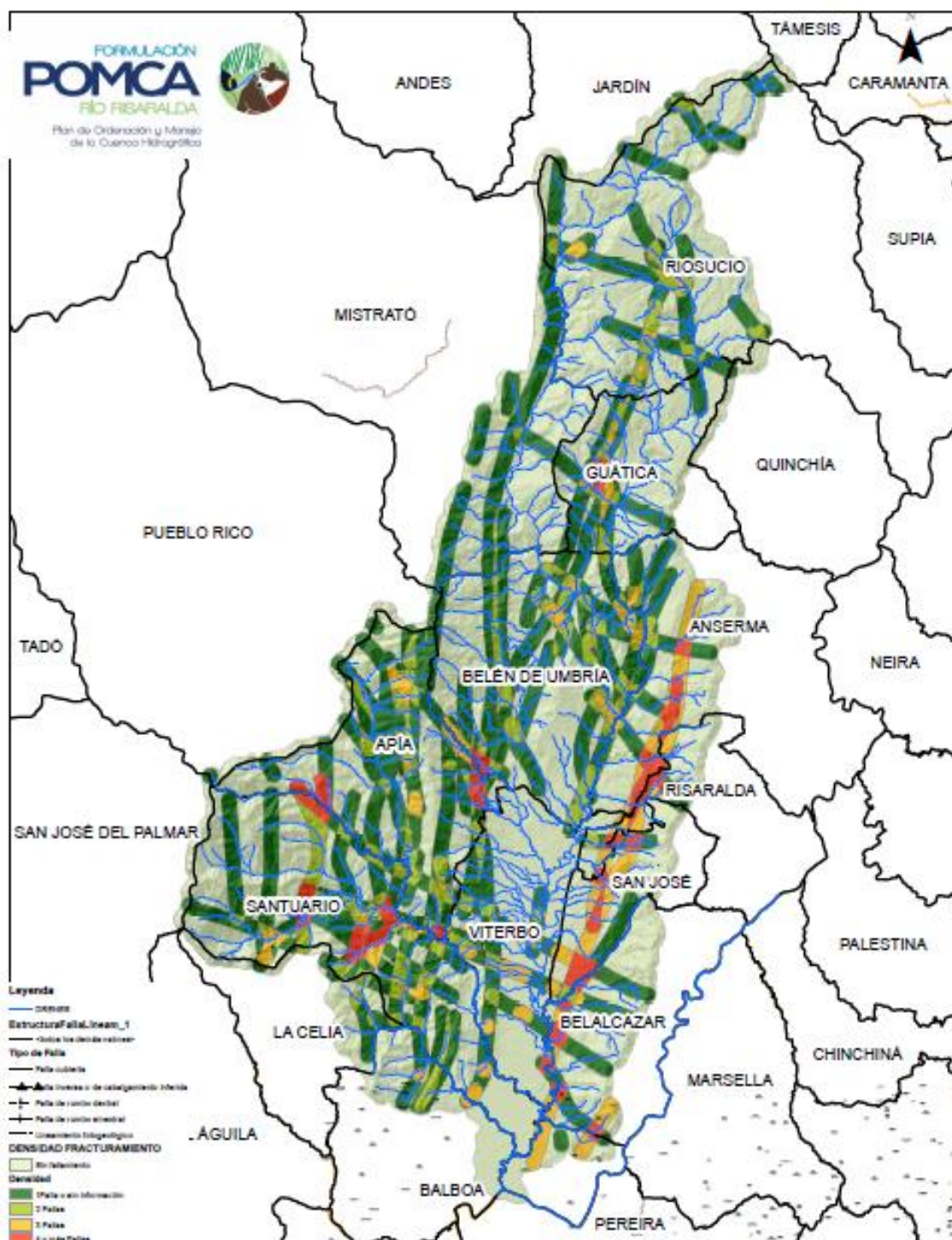


Figura 39 Mapa estadístico para densidad de fracturamiento.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.2 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 (stock de Mistrato), Rocas sedimentarias (Formación Amaga, Penderisco entre otros), suelos residuales de rocas sedimentarias e ígneas y depósitos aluviales. En la Figura 40 Mapa Cualitativo de unidades superficiales UGS. Escala 1:100.000. de mapa cualitativo de USG se remiten las unidades superficiales definidas preliminarmente.

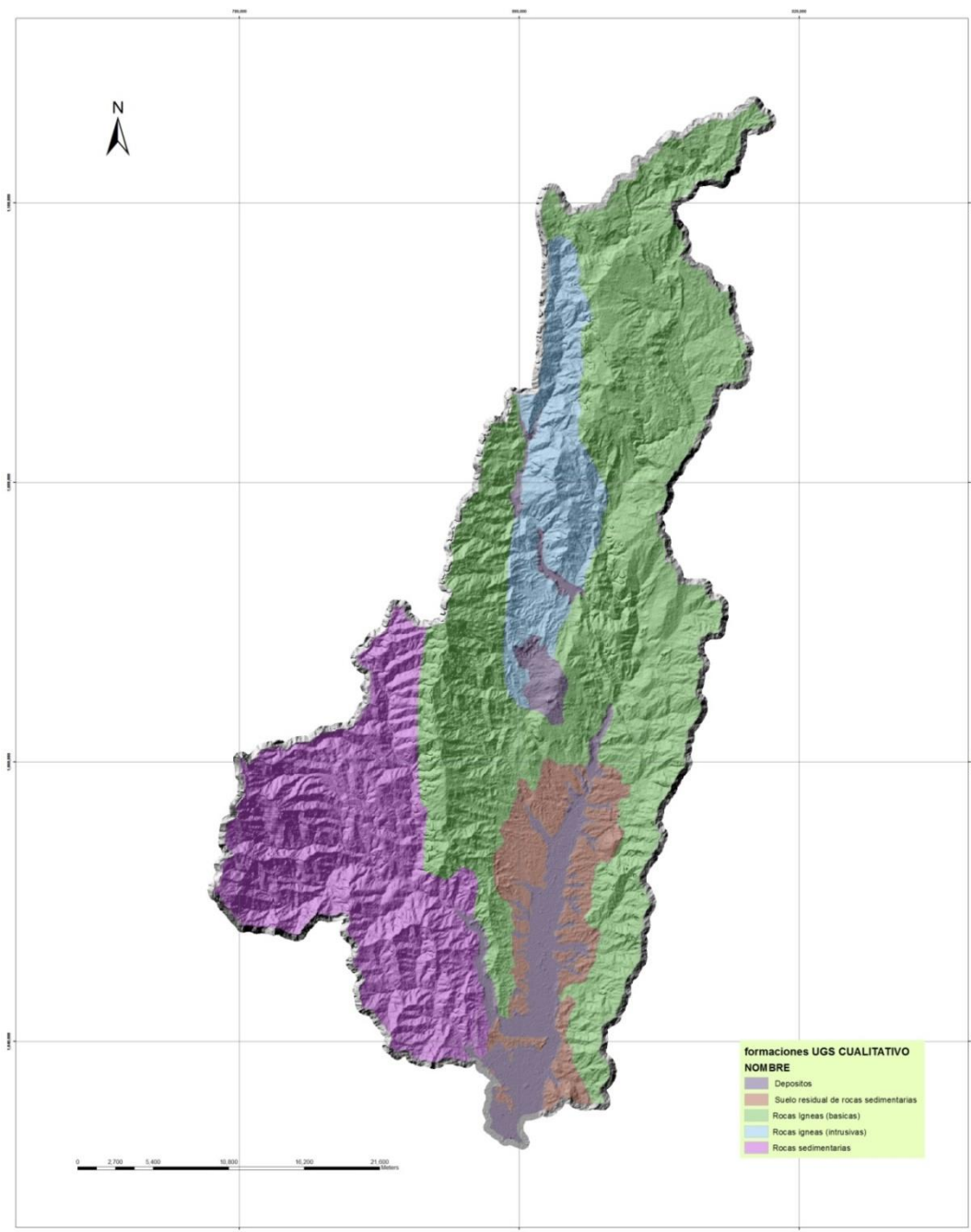


Figura 40 Mapa Cualitativo de unidades superficiales UGS. Escala 1:100.000.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



4.3 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.

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.

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 se tuvo en 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.

En el Figura 41 Se remiten los formatos de control de campo efectuados.

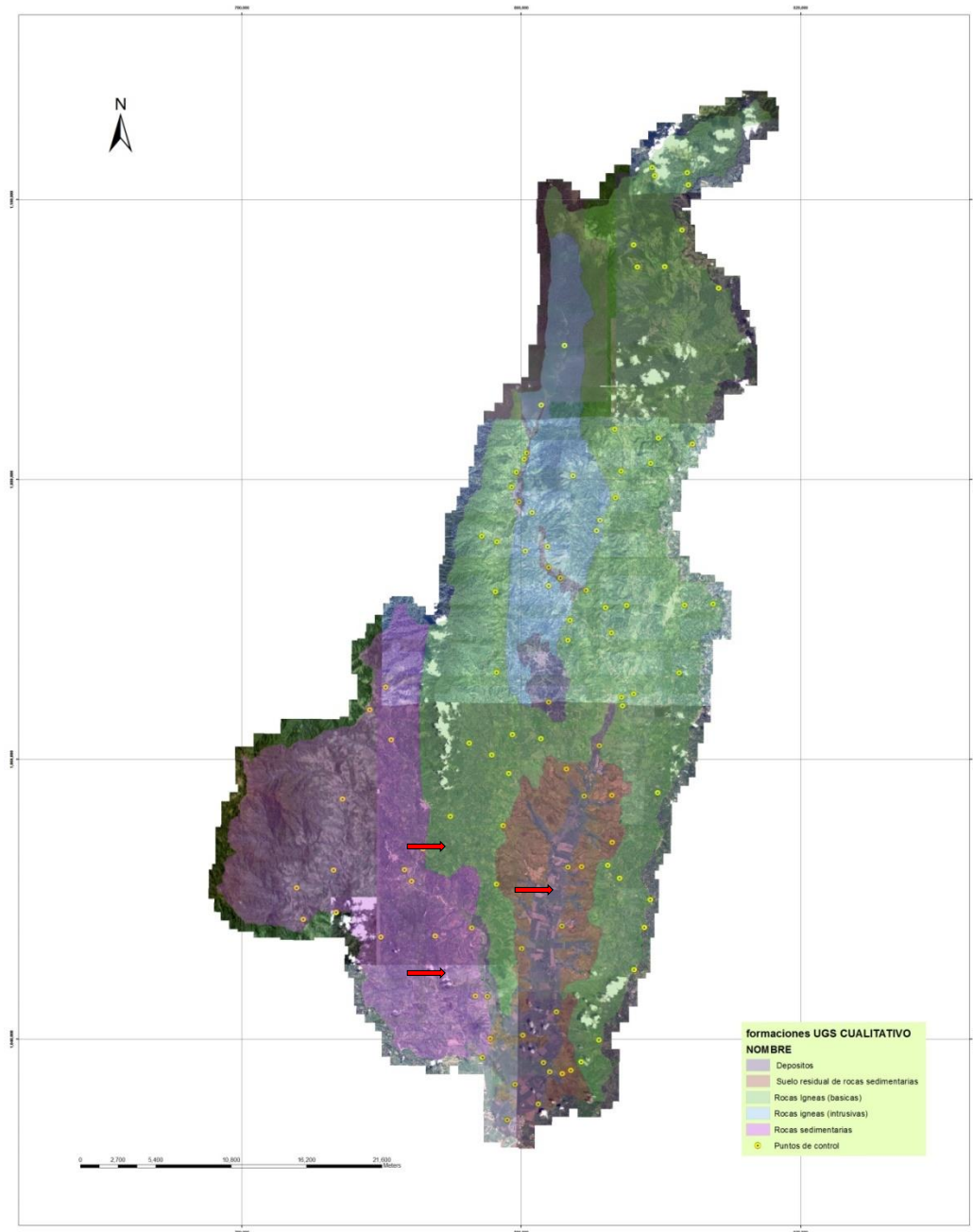


Figura 41 Análisis de sensores remotos y ubicación de puntos de control para UGS (puntos amarillos). Escala 1:100.000.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



4.4 Relieves o modelados similares. (Sensores remotos).

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:

Tabla 9 Relieves o modelados similares. (Zinck 2012):

RELIEVE	CARACTERÍSTICA
Montañas	Asociado a las áreas de laderas pertenecientes a la Formación Barroso, Rocas intrusivas (stock de Mistrato), 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: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

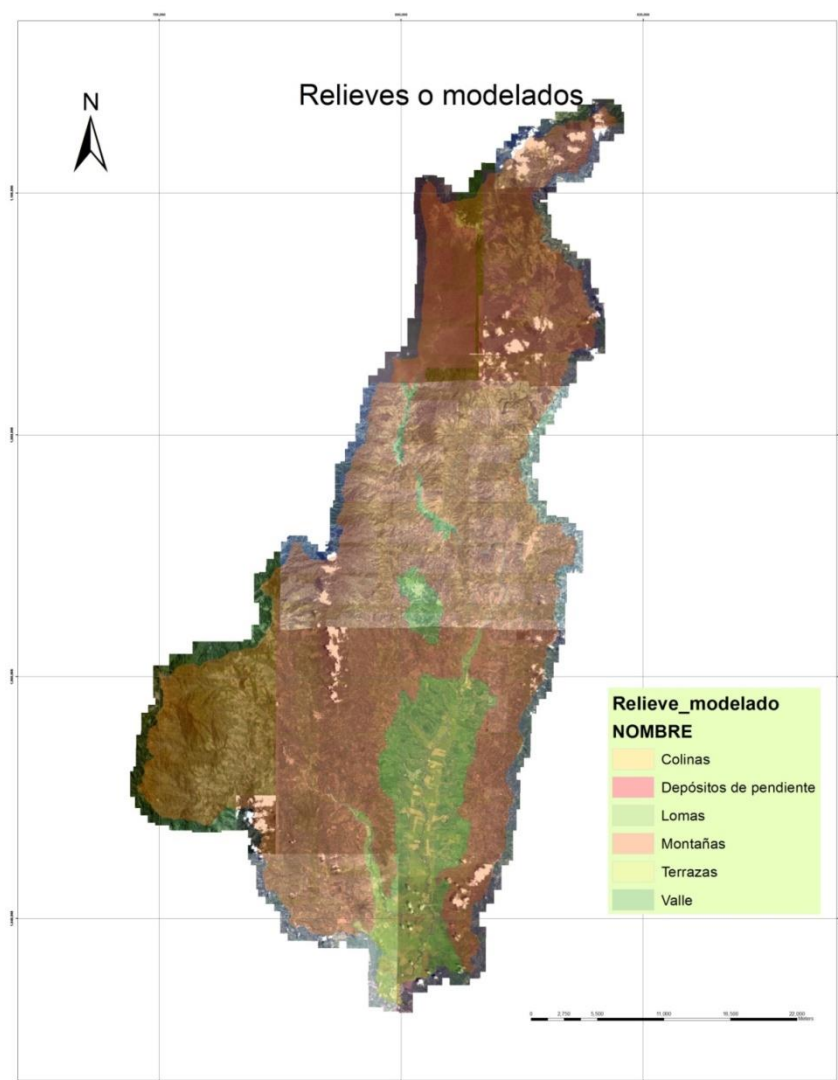


Figura 42 Relieves o modelados similares según fotointerpretación.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

4.5 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 a continuación:

Tabla 10 Paisajes fotogeológicos. (Zinck 2012):

RELIEVE	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.
Lomerio	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: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

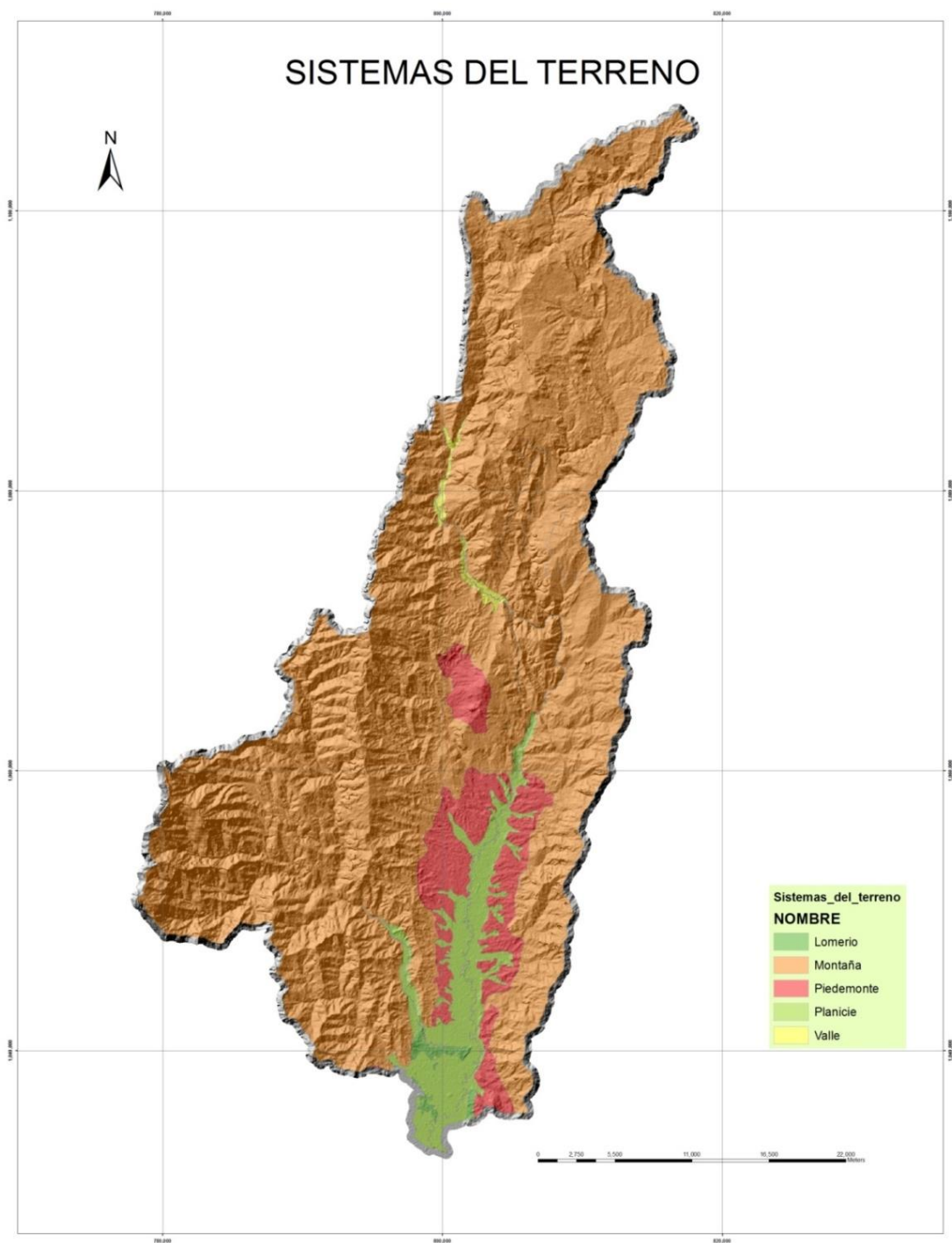


Figura 43 Sistemas del terreno.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



4.6 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 describe a continuación:

Tabla 11 Unidades según el tipo de relieve o modelado (Zinck 2012):

TIPO DE RELIEVE	MODELADO
Erosional	Cadena Montañosa. Relacionado con las laderas de pendiente media a alta.
Deposicional	Vallecito. Áreas de baja pendiente para algunos ríos menores y quebradas del sector.
Erosional	Lomas. Zonas con superficie colinosa continúa en áreas de piedemonte.
Erosional	Colinas. Superficie colinosa asociada a depósitos terciarios (Formación Zarzal).
Deposicional	Terrazas. Zonas de baja pendiente donde se presentan antiguos depósitos aluviales en antiguas terrazas en zonas de baja pendiente.
Deposicional	Asociado a zonas con depósitos tipo coluvial y zonas de baja pendiente.
Deposicional	Valle. Comprende las áreas principales donde transcurren los ríos principales Mapa y Risaralda en modelado de valle aluvial.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

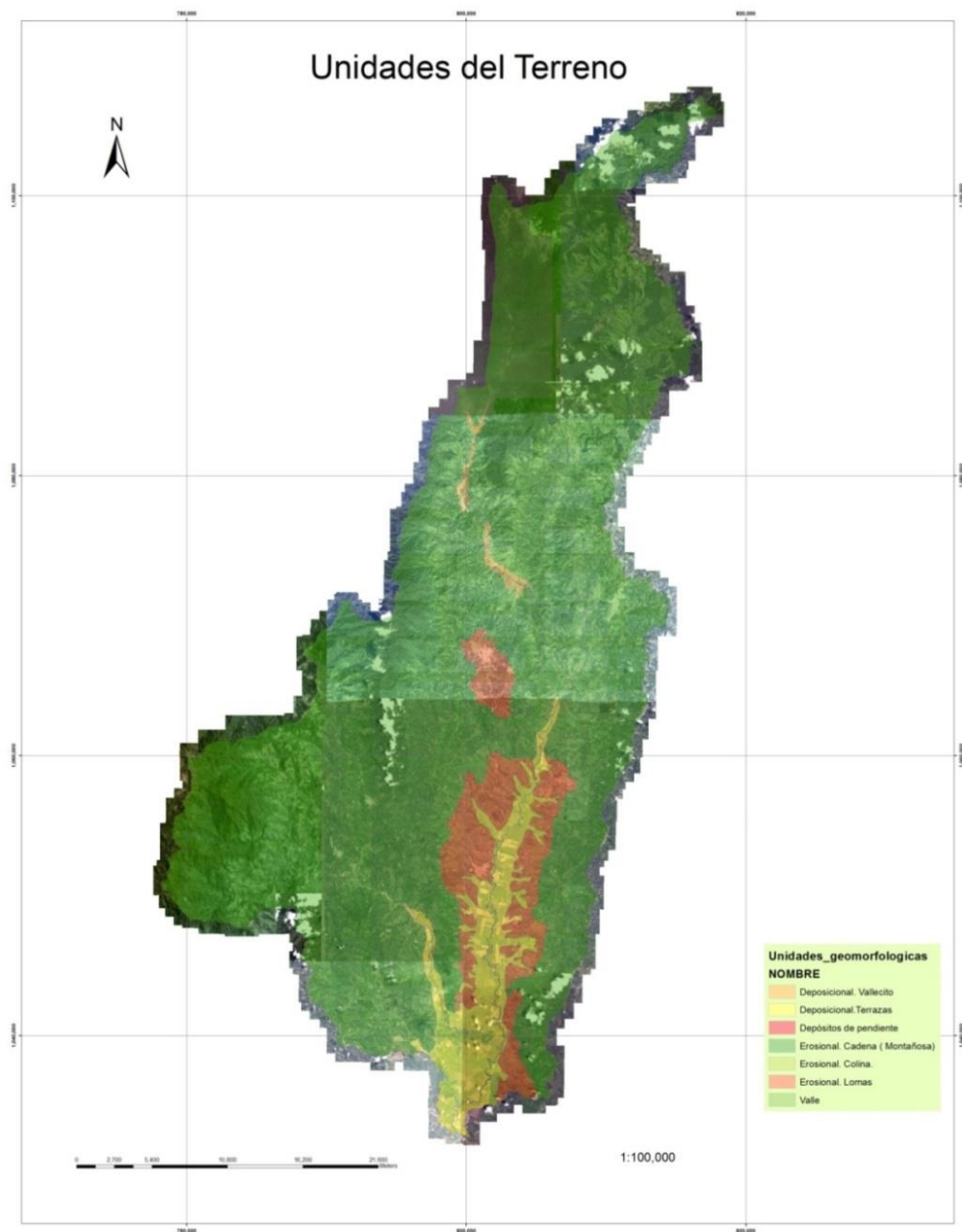


Figura 44 Unidades del terreno (Tipos de relieve). (Zinck 2012).
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Flujo del agua subterránea

La caracterización del flujo subterráneo local para el acuífero de la cuenca del Río Risaralda, se realizó con los datos de elevación del nivel de la tabla de agua en aljibes y la elevación del punto de sugerencia en manantiales, aunque no se tiene información que cubra toda la cuenca, especialmente en la parte alta de la cuenca, se interpolaron estos datos para obtener la elevación de la superficie piezométrica o potenciométrica, la dirección del flujos somero o local y posibles zonas de recarga y descarga.

En la Figura 45, se presenta la superficie potenciométrica para el acuífero libre de la cuenca del Río Risaralda, se observa que sigue de manera general la superficie topográfica de la zona. Las zonas más altas se encuentran hacia el sector norte y oeste de la cuenca y las más bajas hacia el sur. En la Figura 45, los puntos negros corresponden con los puntos de agua subterránea. Cabe aclarar que la piezometría presentada fue realizada con niveles de agua medidos en diferentes épocas puesto que para la zona no se cuenta con campañas de medición de niveles.

5.2 Zonas de recarga y descarga de acuíferos

En términos generales se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero agua procedente del exterior o del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas superficiales (importante en climas poco lluviosos), hasta la transferencia desde otro acuífero, si los mismos son externos al acuífero o sistema acuífero en consideración (Custodio & Llamas, 2001).

La recarga procedente de la infiltración de la lluvia es la entrada neta de agua al terreno (infiltración menos evaporación, menos escorrentía superficial), que se transmite hacia los acuíferos; se mide como una tasa (altura, tiempo o un caudal) (UNESCO, 1998).

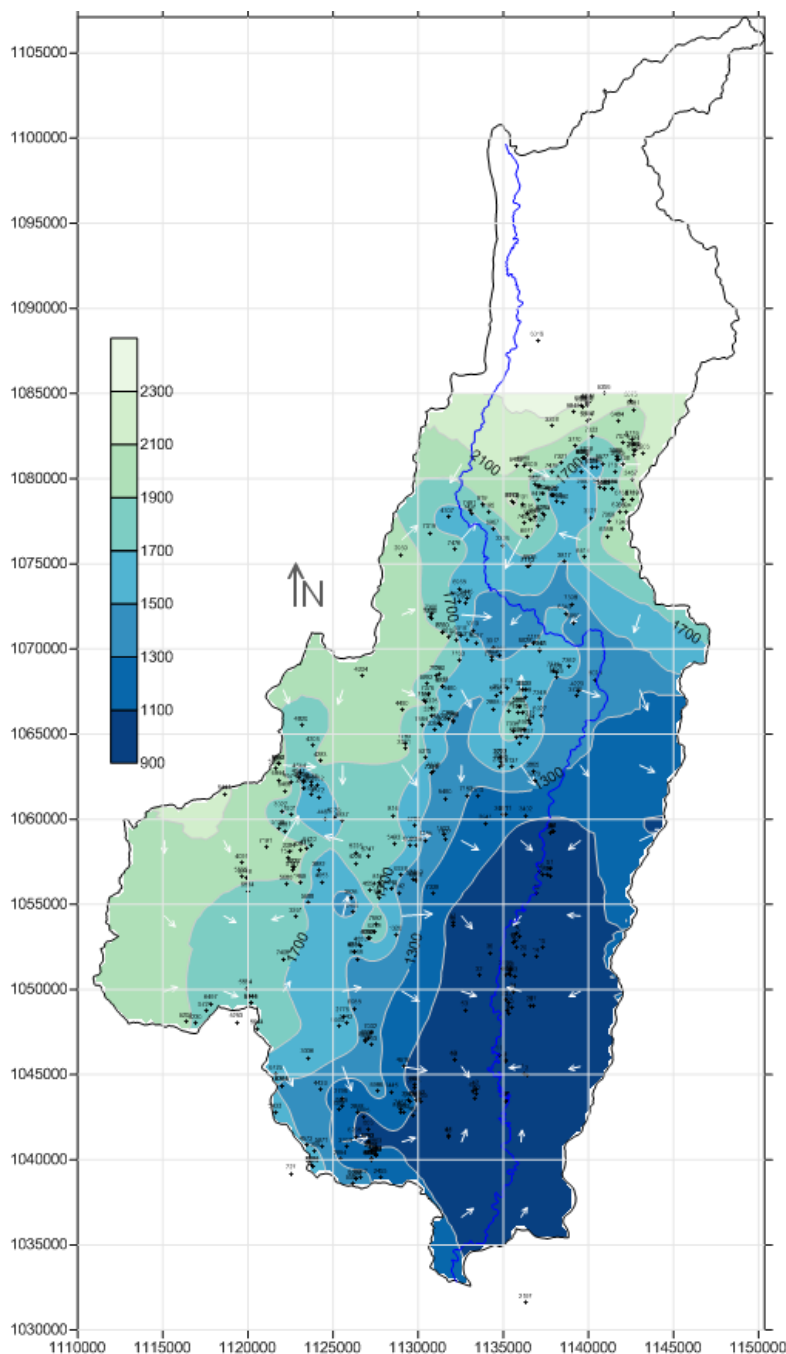


Figura 45. Direcciones del flujo subterráneo local para acuífero de la cuenca del Río Risaralda

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Este proceso ocurre de manera natural cuando el agua lluvia se infiltra hacia el acuífero a través del suelo con alta capacidad de infiltración o roca suficientemente permeable y la zona en donde ocurre este proceso se define como el área o zona de recarga (Matus Silva, 2007).

Conocer las zonas de recarga de los acuíferos permite tomar medidas de protección ya que son la principal entrada de agua a los acuíferos, pero también son áreas de alta susceptibilidad a la entrada de contaminantes en la parte más superficial de estos.

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones (a veces también de los ríos o de la recarga artificial), que en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes, este volumen es lo que se considera infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda, no toda la infiltración alcanza la zona saturada (Custodio & Llamas, 2001).

La recarga natural tiene el límite de la capacidad de almacenamiento del acuífero de tal forma que en un determinado momento el agua que llega al acuífero no puede ser ya almacenada y pasa a otra área, superficie terrestre, río, lago, o incluso a otro acuífero; la capacidad de almacenamiento de un acuífero dependerá del espesor y profundidad, esto se refiere a la geometría de los acuíferos solos, en conjunto o interconectados, Faustino J. (2006) citado por (Matus Silva, 2007).

La recarga hacia los acuíferos cuaternarios aluviales y vulcanoclásticos, se da directamente por la precipitación en periodo lluvioso, es posible que también se presenten aportes de los drenajes en periodos lluviosos, pero al parecer el mayor aporte lo da el acuífero a los drenajes y no los drenajes a los acuíferos. Es así que al observar el plano piezométrico realizado a partir de manantiales y aljibes para el acuífero superior, se encuentra que los drenajes principales actúan como zonas de descarga del agua subterránea.

- **Delimitación de las zonas de recarga potencial**

La zona en donde ocurre el proceso de infiltración de agua hacia el acuífero, que presenta un suelo con alta capacidad de infiltración o roca suficientemente permeable se define como el área o zona de recarga.

La mayoría de los métodos aplicados para este tipo de zonificación se basan en la evaluación del potencial del terreno para permitir la infiltración del agua lluvia (BUESO CAMPOS, M, 2010), (CHARLES, E. B, 1993) (Matus Silva, 2007). Para ello se analizan variables relacionadas a la topografía, geología, suelos, uso del suelo y factores climáticos. La definición del tipo y cantidad de variables depende en gran medida de la escala del estudio y del objeto específico de esta zonificación. En general las zonas de recarga se presentan categorizadas (como altas, medias o bajas).

En este estudio se adoptó la metodología desarrollada por Silva (2007), para la clasificación del terreno con base en su potencial para funcionar como zona de recarga, las variables que utiliza el método son insumos generados dentro del presente estudio.

En la metodología propuesta por Silva, 2007, las variables que determinan el potencial de una región para funcionar como zona de recarga de acuíferos son: la pendiente del terreno, el tipo de suelo, el tipo de roca, la cobertura vegetal, y el uso del suelo. Cada una de estas variables es discretizada en cinco (5) rangos. A cada rango, dependiendo de su potencial para contribuir a la recarga se le asigna un valor de 1 a 5, siendo 5 el potencial “muy alto” y 1 “muy bajo”, como se presenta en la Tabla 12. La suma de todos estos factores, cada uno con un peso diferente, determina el valor del potencial de recarga, con base en la siguiente ecuación:

$$ZR = (0,27 * Pendiente) + (0,23 * Tipo\ suelo) + (0,12 * Tipo\ de\ roca) + (0,25 * Cobertura\ vegetal) + (0,13 * Uso\ del\ suelo)$$

Una vez discretizada y ponderada cada variable, mediante la superposición y suma de las capas de información, usando Sistemas de Información Geográfica - SIG, se obtuvo la delimitación de las zonas de recarga

Tabla 12 Valoración del potencial de recarga

Potencial De Recarga	Valor Resultante
Muy alta	4.1 – 5.0
Alta	3.5 – 4.09
Moderada	2.6 – 3.49
Baja	2.0 – 2.59
Muy baja	0.75 -1.99

Fuente: (Matus Silva, 2007)

Las categorías usadas para cada variable, establecidas por la metodología de Silva, 2007 y los valores asignados para cada una, según las características de la zona se presentan a continuación:

- **Pendientes:**

La pendiente es un factor importante, pues determina el momento de la escorrentía y sus efectos en el suelo, es así que las planicies planas no favorecen la escorrentía del agua y permiten un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo ayudando la infiltración, mientras que altas pendientes aumentan la velocidad de la escorrentía, considerándose críticas estas áreas por el grado de degradación que pueden causar y la alteración de las condiciones de recarga.

Los valores de ponderación usados para las pendientes establecidos en la metodología y el área ocupada por cada rango en la zona de evaluación se presentan en la Tabla 13 junto con la distribución porcentual y en la Figura 46 su distribución areal.

La cuenca del Río Risaralda presenta un amplio rango de pendientes que varían desde ligeramente inclinada hasta totalmente escarpadas; en general predominan las pendientes ligeramente escarpadas y fuertemente inclinadas, que ofrecen un potencial de recarga moderado y ocupan el 70.81% la zona de interés. En la Figura 46 se observa que las pendientes mayores a 75% se encuentran principalmente en el sector occidental de la cuenca y que las pendientes que favorecen el potencial de recarga se encuentran ubicadas sobre la unidad acuífera de interés.

Tabla 13. Ponderación del parámetro pendiente en la cuenca del Río Risaralda

Pendiente (%)	Potencial de Recarga	Ponderación	Área (Ha)	Área (%)
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)	Muy alta	5	3622.178	2.88
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)	Alta	4	24613.646	19.60
Fuertemente inclinada, 12-25% (d)	Moderada	3	88942.293	70.81
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)	Moderada	3		
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)	Baja	2	3657.336	2.91
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100% (g)	Muy Baja	1	4764.618	3.79
Totalmente escarpada, >100% (g)	Muy Baja	1		
Total			125600.071	100

Fuente: Tomado de (Matus Silva, 2007) y modificado por Consorcio Ordenamiento Cuenca Río Risaralda 2016

- **Suelos:**

Entre las características de los suelos que influyen en la recarga se encuentra la textura, que corresponde a una propiedad básica del suelo, que ejerce influencia en propiedades como las relaciones hídricas, la fuerza o succión con que el agua es retenida por los coloides o arcillas del suelo y el rango de disponibilidad del agua para las plantas. La infiltración es siempre mayor en suelos de textura gruesa que en suelos de textura fina.

Para la asignación del parámetro, se tuvo en cuenta la granulometría de los suelos a escala 1:25.000, de la zona de evaluación, donde se identificaron 12 diferentes tipo de material con sus granulometrías asociadas. La categorización según la textura se presenta en la Tabla 14 y la distribución areal del parámetro se muestra en la Figura 47.

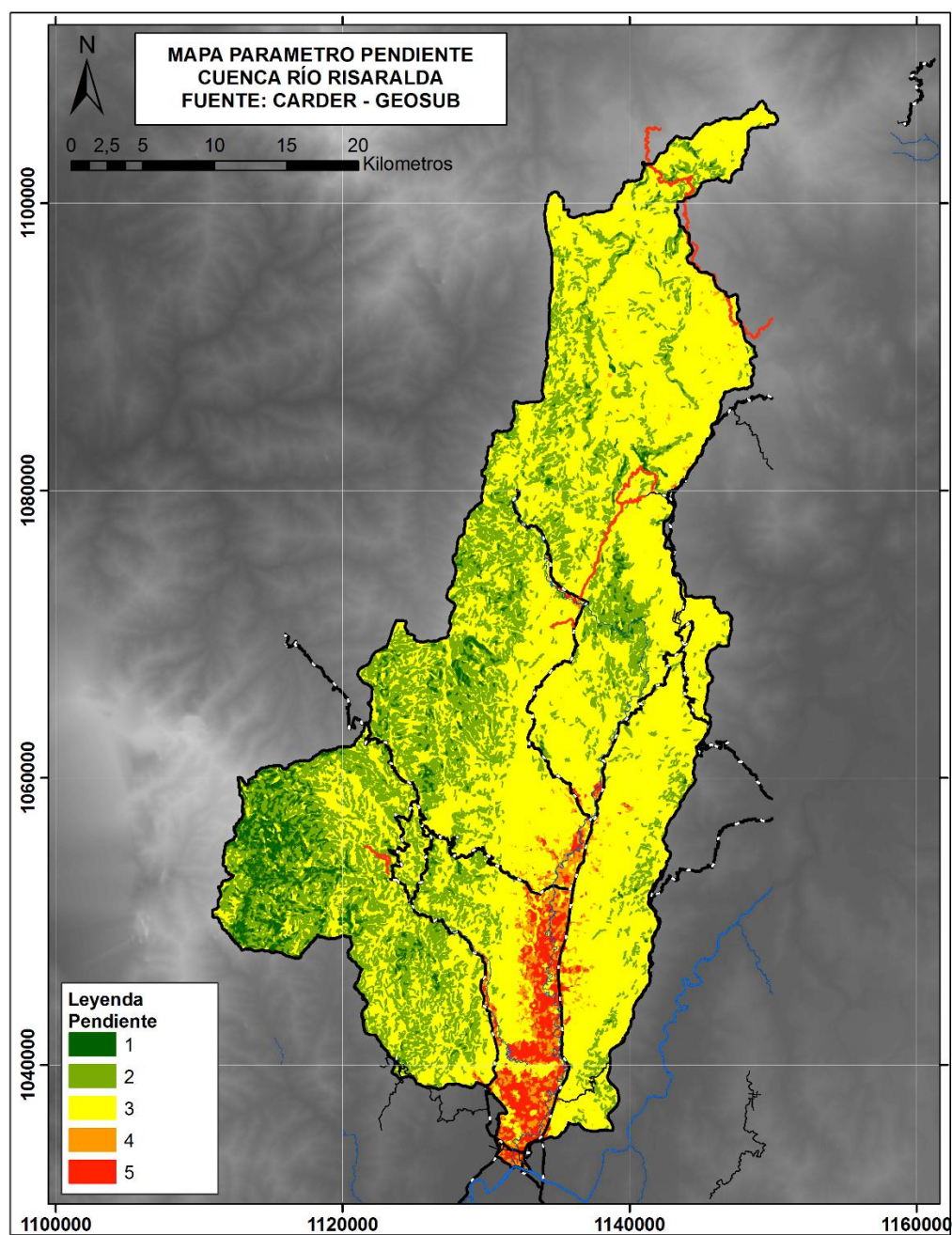


Figura 46. Distribución del parámetro Pendiente en la cuenca del Río Risaralda
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Tabla 14. Ponderación del parámetro Tipo de suelos en la cuenca del Río Risaralda

Tipo de material	Granulometría	Potencial de recarga	Ponderación	Área (Ha)	Área (%)
Sedimentario	Gruesa de guijos a bloques	Alto	4	10344.753	8.235
Volcánico	Gruesa de guijos a bloques	Alto	4		
Aluvial	Gruesa de guijos a guijarros	Alto	4		
Flujos sedimentarios por el cauce	Gruesa de guijos a guijarros	Alto	4		
Combinado entre ígneo intermedio y volcánico	Gruesa de guijos a bloques	Moderado	3.5	22132.975	17.620
Flujos de lodo volcánico	Media a gruesa	Moderado	3.5		
Aluvial	Fina	Moderado	3.5		
Caída de material piroclástico	Fina	Moderado	3	25481.958	20.286
Sedimentario	Fina	Moderado	3		
Ígneo volcánico	Fina a media	Bajo	2	45183.341	35.970
Ígneo intrusivo	Media a gruesa	Bajo	2		
Rocas	Fina y media fina	Muy bajo	1.5	22470.027	17.888
Total				125613.055	100

Fuente: Tomado de (Matus Silva, 2007) y modificado por Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

La variable suelo, presenta un potencial de recarga bajo para el 35.97% de la zona de estudio, debido a la predominancia de cuerpos ígneos volcánicos e intrusivos a lo largo de la cuenca; los potenciales de recarga moderado y alto se asocian principalmente a los suelos ubicados a lo largo del Río Risaralda.

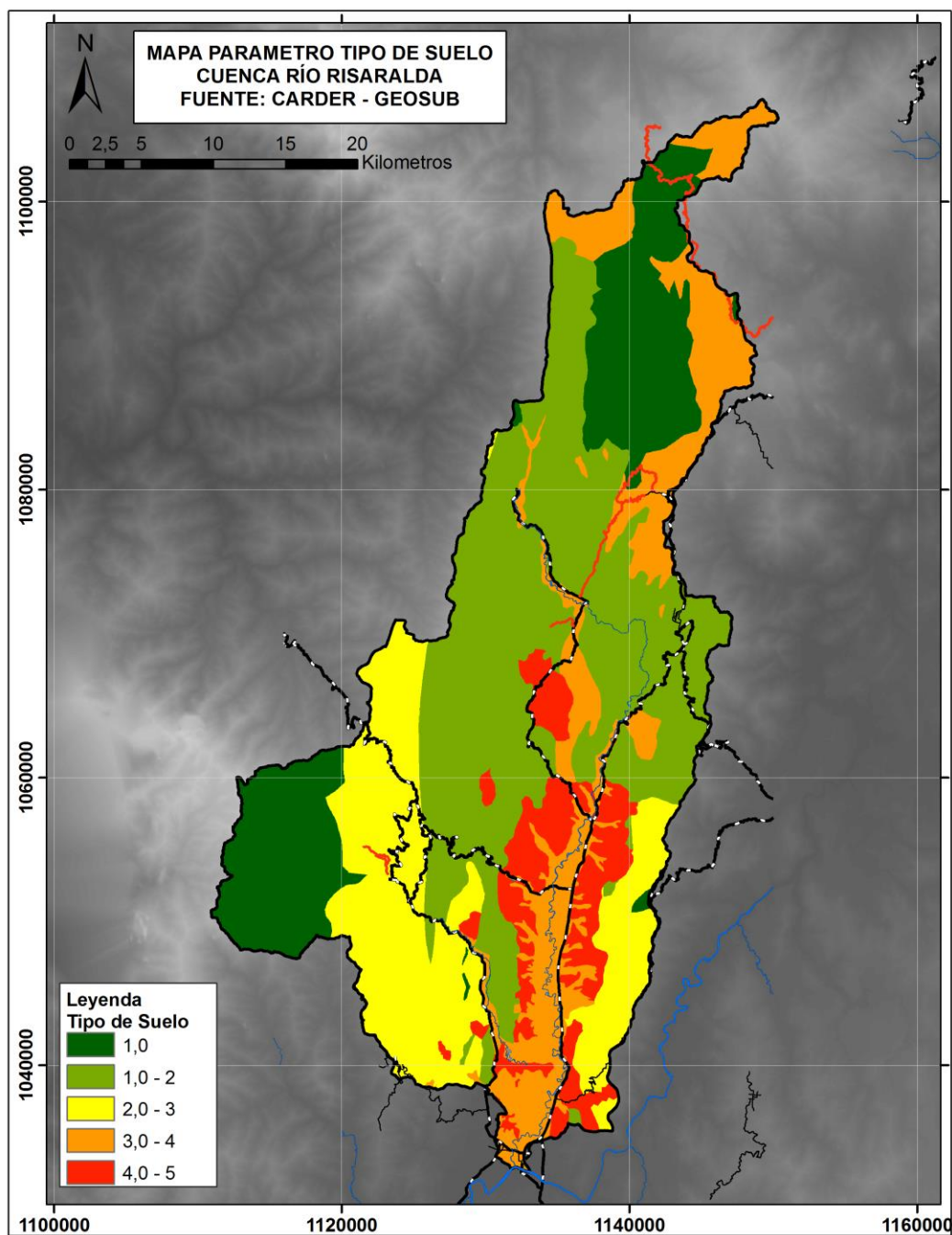


Figura 47. Distribución del parámetro Tipo de suelo en la cuenca del Río Risaralda
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

- Tipo de roca

Las ponderaciones son asignadas con base en las características del material geológico en función de su permeabilidad; así, rocas ígneas o metamórficas no fracturadas tienen una baja permeabilidad y las arenas gruesas y gravas, poseen

poros de gran tamaño a través de los cuales circula el agua con gran facilidad favoreciendo la recarga de los acuíferos. Esta variable se obtuvo de la cartografía geológica a escala 1:25.000, realizada para el presente estudio. En la Tabla 15 se presenta la ponderación por unidad geológica y su extensión y en la Figura 48 su distribución areal.

Tabla 15. Ponderación del parámetro Tipo de roca en la cuenca del Río Risaralda

NOMBRE DE FORMACIÓN	NOMENCLATURA	POTENCIAL DE RECARGA	PONDERACIÓN	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Depósitos aluviales	Qal	Alto	4	10707.3803	8.525
Depósitos aluviales recientes	Qar	Alto	4		
Terrazas	Qt	Alto	4		
Secuencia de limolitas macizas, a veces silíceas, lutitas, shales	Kaa	Moderado	3.5	30354.5357	24.167
Conglomerados y areniscas. Matriz arcillosa	Tmp	Moderado	3.5		
Areniscas y arcillolitas tobáceas con bancos de diatomitas	Tplz	Moderado	3.5		
Unidad constituida por un alto porcentaje aglomerados, brechas y tobas.	Tmc	Moderado	3	23189.0096	18.462
Miembro superior. Areniscas bien cementadas, arcillas pizarrosas.	Tos	Moderado	3		
Lentes de Chert asociados con rocas volcánicas	Kch	Bajo	2	42558.04	33.884
Diabasas, diabasas espilitizadas, basaltos, tobas y aglomerados	Kvb	Bajo	2		
Basaltos, diabasas y piroclastos.	Kvo	Bajo	2		

NOMBRE DE FORMACIÓN	NOMENCLATURA	POTENCIAL DE RECARGA	PONDERACIÓN	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Flujos de lodo volcánico, compuestos principalmente por cenizas, arena, fragmentos de roca	Qfl	Bajo	2		
Tonalita porfírica con fenocristales de cuarzo y hornblenda	Kcdgm	Bajo	1.5	18791.8319	14.962
Gabros, rocas de composición gabroide.	Kgo	Bajo	1.5		
Ultramafita de puente de Umbría-La Isla Dunitas serpentinizadas	Kuspi	Bajo	1.5		
Pórfido Andesítico Hornbléndico	Tadh	Bajo	1.5		
Pórfido dacítico de Mistrató	Tdm	Bajo	1.5		
Pórfido andesítico de la Virginia	Tpv	Bajo	1.5		
Total				125600.798	100

Fuente: Tomado de (Matus Silva, 2007) y modificado por Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

En la Figura 48 se observa que el potencial alto a moderado de recarga asociado al tipo de roca se encuentra principalmente en las inmediaciones de los drenajes principales y puntualmente en el sector occidental de la cuenca. Adicionalmente se encuentra que cerca del 33.88% de la cuenca tiene un potencial bajo de recarga debido a la presencia de rocas ígneas y metamórficas.

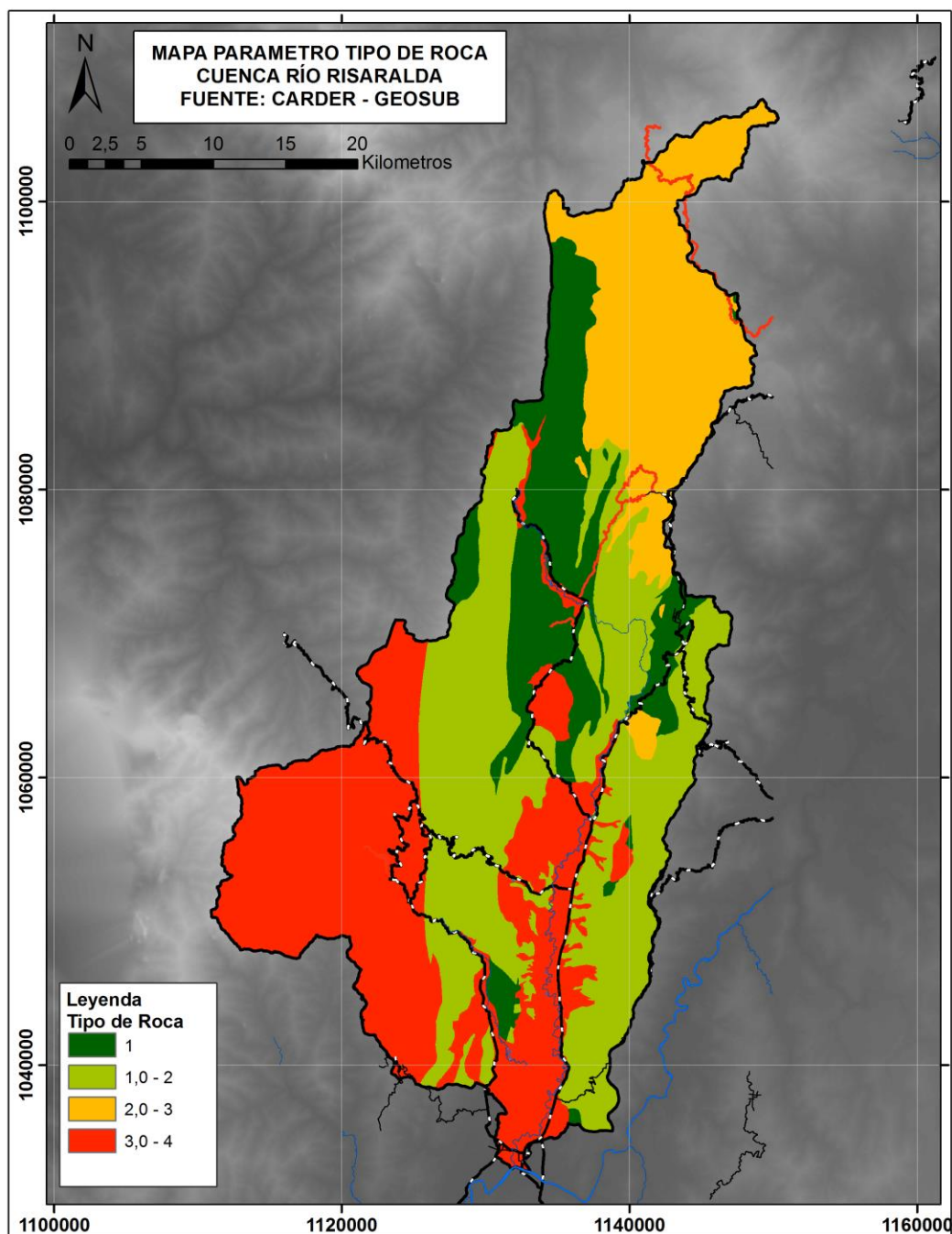


Figura 48. Distribución del parámetro Tipo de roca en la cuenca del Río Risaralda
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

5.3 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal disminuye la escorrentía superficial, permitiendo mayor contacto del agua con la superficie, atenuando la velocidad de escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la sequedad producto de los rayos del sol, contribuyendo de esta manera a conservar las características del suelo que favorecen al recarga hídrica. Las superficies desnudas, hacen que el suelo esté expuesto al impacto directo de las gotas de lluvia, lo que puede dar lugar a la compactación del mismo, por el contrario, cuando el suelo está cubierto por vegetación, las plantas lo protegen de la lluvia y por tanto de la compactación, retardando además el recorrido superficial del agua, que de este modo está más tiempo expuesta a su posible infiltración; adicionalmente, las raíces de los vegetales abren conductos en el suelo que facilitan la penetración del agua.

Para la Cuenca del Río Risaralda se consideró que las áreas abiertas sin o con poca vegetación y los pastos ofrecen una cobertura muy baja <30%, para las zonas en donde se presentan cultivos permanentes, áreas agrícolas heterogéneas y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, se asignaron dos valores de ponderación, ya que por su densidad pueden ofrecer una cobertura del suelo entre 30% y 50%; áreas donde se presentan bosques pueden presentar una cobertura de aproximadamente entre el 50% y 70% en las zonas más densas. Para las zonas artificializadas como áreas urbanas y para los cuerpos de agua, no se asignó valor de ponderación, los valores de clasificación se presentan en la Tabla 16, y en la Figura 49 se muestra su distribución areal.

Teniendo en cuenta la variable cobertura, las áreas con potencial de recarga muy bajo corresponden a pastos, cultivos transitorios y espacios abiertos sin o con poca vegetación, puesto que estos sectores debido a la deficiencia o carencia de vegetación no se favorece la infiltración del agua; ocupan el 45.56% del área de interés y se localizan principalmente en la cuenca baja y media donde las pendientes son menores.

Algunos sectores localizados principalmente en la cuenca alta y en el sector occidental, donde se presentan bosques, tienden a conservar las características del suelo, por lo cual el 35.54% de la zona de evaluación tiene potencial de recarga moderado a alto.

Tabla 16. Ponderación del parámetro cobertura en la cuenca del Río Risaralda

COBERTURA (%)	TIPO DE COBERTURA	POTENCIAL DE RECARGA	PONDERACIÓN	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
50 – 70	Bosques	Alta	4	33945.701	27.027
	Bosques fragmentados	Moderada	3.5	3007.482	2.394
30 – 50	Cultivos agroforestales	Moderada	3	7689.437	6.122
	Cultivos permanentes arbóreos	Baja	2.5	1211.601	0.965
	Cultivos permanentes arbustivos y café		2	19865.440	15.816
<30	Cultivos transitorios, Pastos	Muy baja	1.5	57224.320	45.561
	Tierras desnudas y degradadas y zonas quemadas		1	2656.084	2.115
Territorios Artificializados, Áreas húmedas, Superficies de agua		Ninguna	1		
Total				125600.06	100

Fuente: Tomado de (Matus Silva, 2007) y modificado por Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

En las zonas donde se encuentran cultivos permanentes arbóreos, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, áreas agrícolas heterogéneas, cultivos permanentes arbustivos y cultivos permanentes herbáceos, el suelo se encuentra menos expuesto, sin embargo puede sufrir procesos de compactación y erosión ya que la cobertura vegetal presente no ofrece la suficiente protección de la lluvia y el sol, en consecuencia el 16.78% de la zona de estudio presenta para esta variable potencial de recarga bajo, estas áreas se localizan principalmente en la cuenca media del Río Risaralda.

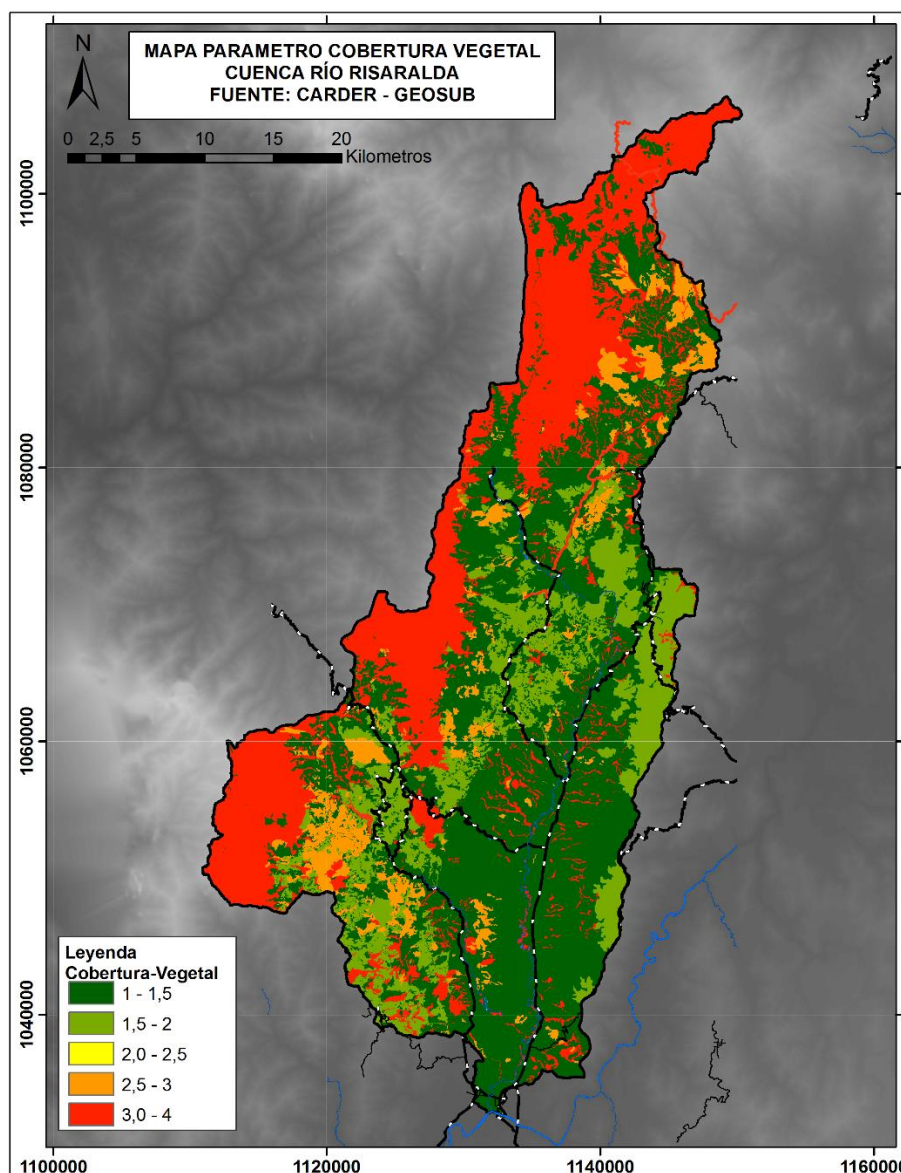


Figura 49. Distribución del parámetro cobertura en la cuenca del Río Risaralda
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

- **Uso del suelo**

El uso del suelo es el elemento más cambiante e influenciado por la actividad antrópica; el uso inadecuado del suelo contribuye a disminuir la recarga del acuífero hasta en un 50%, aumentando la pérdida del suelo por erosión hídrica o eólica y los riesgos naturales (Forges, citado por Matus, 2007). Adicionalmente es un elemento que establece el grado de influencia de una determinada actividad o cambio de uso, tanto en el deterioro de sus características (erosión y la compactación), como en la reducción de la infiltración y/o recarga hídrica.

En este aspecto se trata de establecer los usos que por su connotación y características favorecen la infiltración del agua como sistemas silvopastoriles y/o agroforestales, el uso e incorporación de materia orgánica, asociados de cultivos entre otros y diferenciar aquellos que afectan las características de suelo favoreciendo la evaporación, la compactación y el escurrimiento superficial del agua, como agricultura intensiva sin obras de conservación de suelo y agua, la ganadería extensiva, labranza convencional con excesivo uso de maquinaria, etc.

Se asignaron valores de potencial de recarga considerando que la mayor parte de las coberturas vegetales presentan algún tipo de intervención antrópica, que influye en las propiedades físicas de los suelos y finalmente en el potencial de recarga, así las zonas con menor grado de intervención del suelo se calificaron como altas y las de mayor intervención como de bajo potencial de recarga. Para los cuerpos de agua y zonas artificializadas se asignó la ponderación más baja. Los valores se establecieron como se presenta en la Tabla 17, y en la Figura 50 se muestra su distribución areal.

Para la variable uso del suelo, las áreas con pastos, cultivos permanentes, cultivos transitorios y áreas agrícolas heterogéneas, que demandan intervención sobre el suelo, pueden sufrir procesos de compactación y erosión, por lo cual se les asignó un valor de recarga bajo; ocupan el 64.46 % de la zona de interés.

Las zonas donde se encuentran bosques, aunque pueden presentar algún grado de intervención en el área de interés, se consideraron de alto potencial de recarga, ocupando el 29.42% del área; se distribuyen de forma dispersa en la cuenca media y como un bloque en la zona norte y occidental de la cuenca.

Tabla 17. Ponderación del parámetro Uso del suelo en la cuenca del Río Risaralda

COBERTURA VEGETAL	USO DEL SUELO	POTENCIAL DE RECARGA	PONDERACIÓN	ÁREA (HA)	ÁREA (%)
Bosques	Bosques	Alta	4	36953.18	29.42
Cultivos	Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Moderada	3	7689.44	6.12
	Cultivos permanentes arbóreos	Baja	2.5	1211.6	0.96
	Cultivos permanentes arbustivos y café	Baja	2	19865.44	15.82
	Cultivos transitorios, Pastos	Muy baja	1.5	57224.32	45.56
Territorios artificializados, Superficies de agua, Áreas húmedas y tierras degradadas		Muy baja	1	2656.08	2.11
Total				125600.06	100

Fuente: Tomado de (Matus Silva, 2007) y modificado por Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

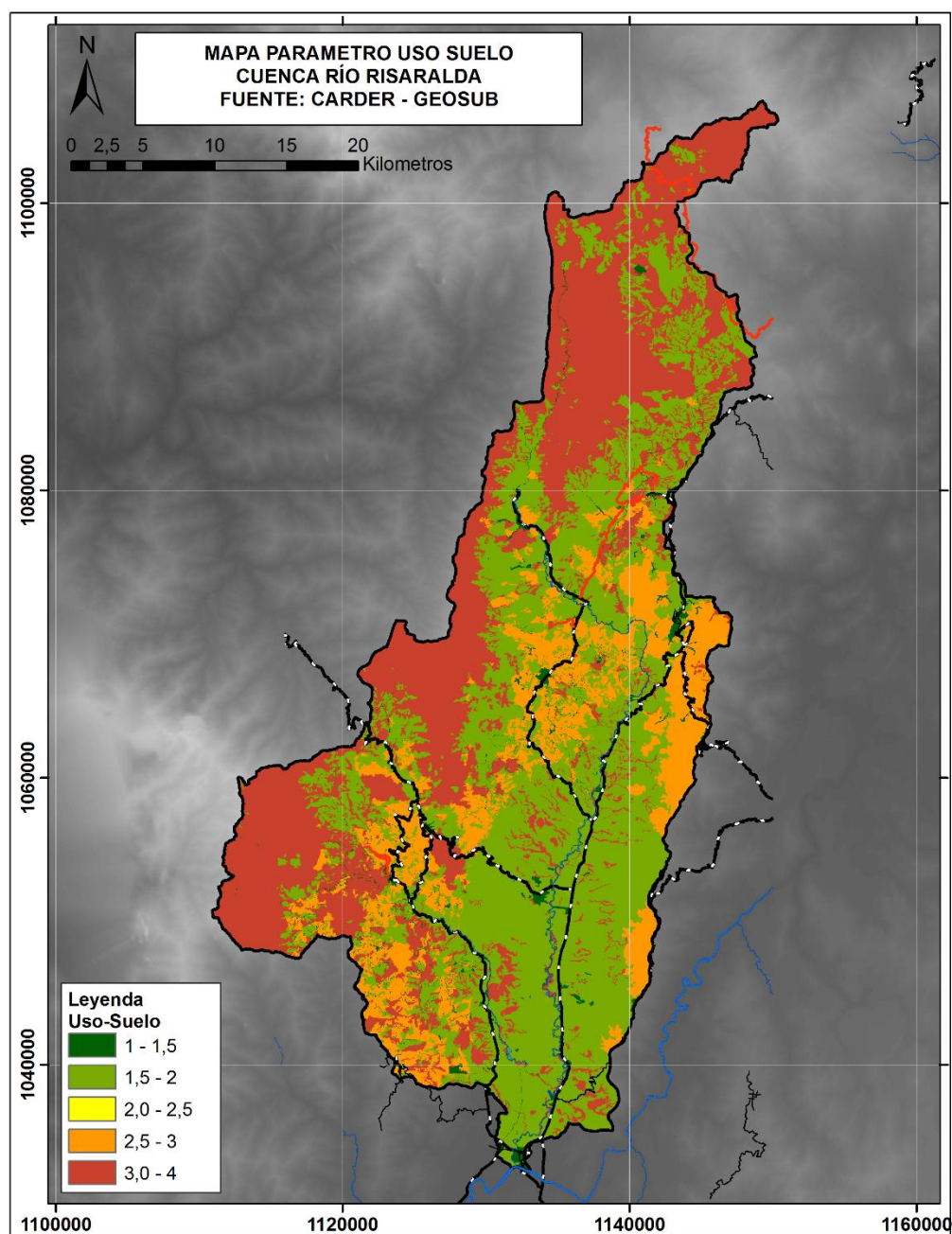


Figura 50. Distribución del parámetro Uso del suelo en la cuenca del Río Risaralda
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

- Delimitación de las zonas de recarga potencial**

Al realizar el cruce de los mapas obtenidos anteriormente, se tiene que para la cuenca del Río Risaralda hay sectores con potencial de recarga que va desde muy bajo hasta muy alto, el área que ocupa cada una se presentan en la Tabla 18 y su distribución areal en la Figura 51.

Tabla 18. Potencial de recarga de los acuíferos libres en la cuenca del Río Otún

Potencial de recarga	Valor Resultante	Área (ha)	Área (%)
Muy alta	4.1 – 5.0	7271.15	5.79
Alta	3.5 – 4.09	236.26	0.19
Moderada	2.6 – 3.49	67026.85	53.37
Baja	2.0 – 2.59	34901.94	27.79
Muy baja	0.75 -1.99	16153.2	12.86
Total		125589.4	100

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

Para la cuenca del Río Risaralda, la delimitación de las zonas de recarga potencial por precipitación directa, se categorizó principalmente como moderada en un 53.37% del área total, estos sectores se encuentran ampliamente influenciados por las pendientes inclinadas que determinan en mayor medida su disposición, del mismo modo la litología de las unidades aflorantes, asociadas en general depósitos de granulometría media a gruesa.

Le siguen en extensión, zonas de baja potencialidad de infiltración, que ocupan el 27.79% del área de la cuenca, se localizan principalmente en el sector en la cuenca media y baja, relacionados con pendientes inclinadas y usos de suelo que no favorecen la infiltración como lo son los pastizales y cultivos transicionales.

La descarga natural del acuífero libre se da tanto por los ríos y quebradas como por los manantiales, de los cuales se tiene reporte de 351 puntos, aunque la cifra puede ser mayor, lo cual muestra a un acuífero saturado, dando formación a drenajes cuyo flujo base proviene del agua subterránea. La descarga artificial de las unidades acuíferas libres se da a través de los aljibes y pozos existentes en la zona.

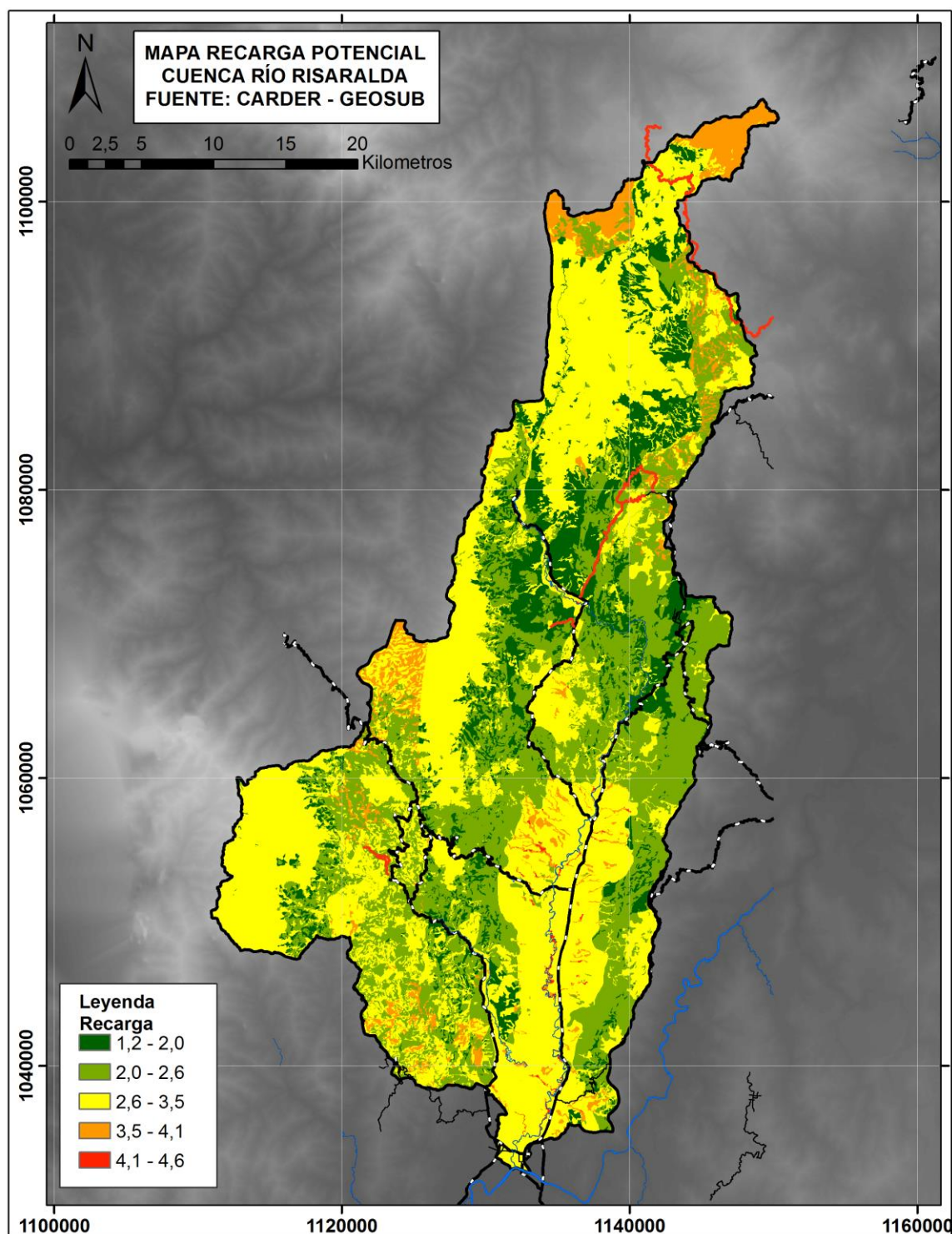


Figura 51. Zonas de recarga potencial
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

5.4 Hidrogeoquímica

Las características físico químicas del agua subterránea se van adquiriendo desde el momento en que el agua lluvia se infiltra y se incorpora al flujo subterráneo, ya que gases, aerosoles y diversas sales presentes en la atmósfera reaccionan con el agua, marcando la composición del agua de infiltración.

Una vez al agua entra en contacto con los sedimentos y las rocas, va adquiriendo sales. Este enriquecimiento en sales del agua subterránea estará controlado por la composición mineralógica de los sedimentos y las rocas, así como de la solubilidad de las sales; siendo por su solubilidad el carbonato de calcio, el carbonato de magnesio, el cloruro de sodio y el sulfato de magnesio, las que se encuentran generalmente en mayores proporciones en el agua subterránea.

El grado de mineralización de las aguas subterráneas depende del tiempo de contacto con la roca por la cual circula el agua. Generalmente aguas subterráneas cercanas a la zona de recarga o de infiltración (con cortos periodos de residencia), tendrán una mineralización más baja que las aguas subterráneas de circulación regional (las cuales han tenido largos periodos de residencia).

Para el presente estudio se contó con información de tres estudios hidrogeológicos realizados en la cuenca del Río Risaralda. El primero realizado en el año 1995 y denominado Proyecto CARDER – CANADA en el que se muestrearon 21 aljibes, con profundidades entre 4.7 y 19 m y dos pozos El Danubio, con profundidad de 50 m y El Paraíso, con una profundidad de 60 m. De la clasificación Hidrogeoquímica realizada se determina que las aguas en los puntos muestreados son en general Bicarbonatadas – cálcico – magnésicas lo cual responde a la composición mineralógica de las rocas ígneas de composición dacítica y andesítica que conforman los sedimentos cuaternarios y los cantos y sedimentos de rocas terciarias que aportan calcio y magnesio en proporciones apreciables (Proyecto CARDER - CANADA, 1995).

El estudio realizado por la UTP en el año 2014 en la cuenca baja del Río Risaralda se realizó la clasificación de facies hidroquímicas para 15 muestras de agua subterránea encontrando que las principales especies catiónicas presentes en el grupo monitoreado son el calcio y el magnesio y que principales especies aniónicas son del tipo bicarbonatado y tipo clorurado (Universidad Tecnológica de Pereira, 2014).

En el año 2015 la UTP realiza un nuevo muestreo de aguas subterráneas en 17 puntos de agua subterránea y concluye que las principales especies catiónicas presentes en el grupo de puntos monitoreados son del tipo cálcico y magnésico y que las principales especies aniónicas presentes son del tipo bicarbonatado (Universidad Tecnológica de Pereira, 2015).

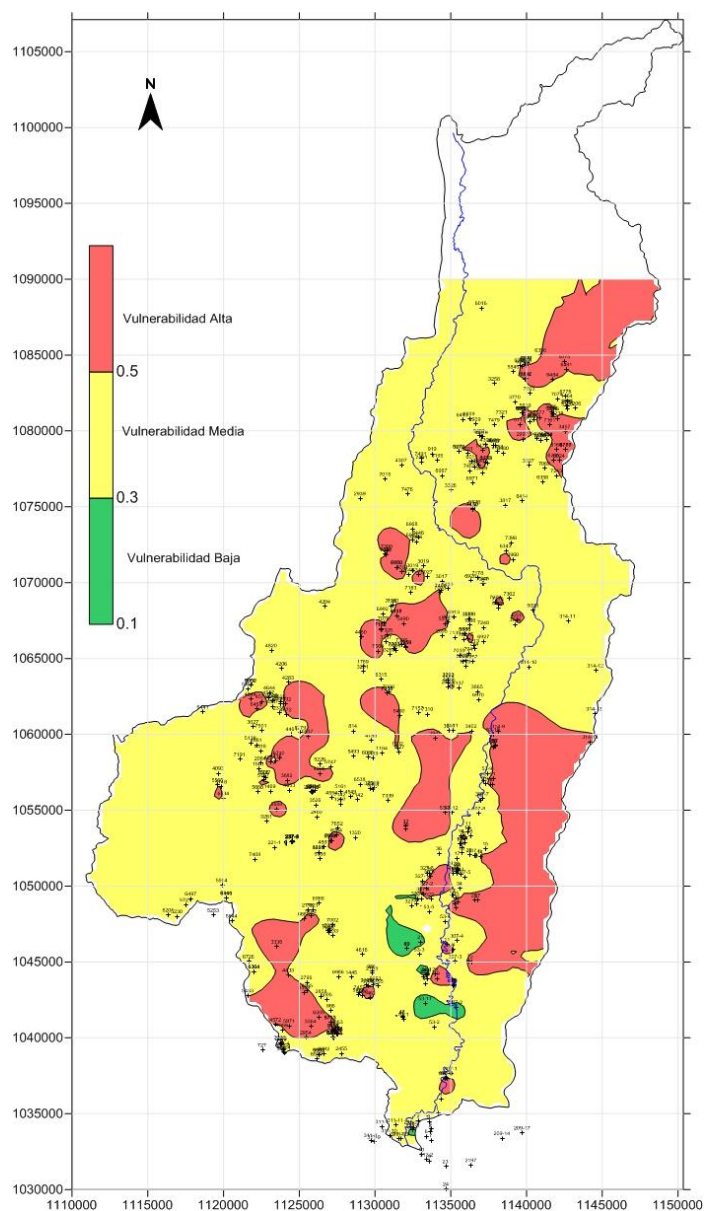


Figura 52 Vulnerabilidad de aguas subterráneas
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016



6 SUSCEPTIBILIDAD

6.1 Variables primarias.

6.1.1 Determinación de zonas inestables.

A partir del inventario de eventos adelantado en la etapa de campo como también en la información secundaria y teniendo en cuenta que según la escala de trabajo la mayoría de procesos identificados no serían cartografiables, se procedió a identificar las zonas inestables mediante la delimitación de áreas según la densidad de procesos existentes en cada sub unidad geomorfológica, detallando de esta manera áreas con una cobertura mayor como zonas inestables. Los insumos utilizados para la generación del mapa de zonas inestables haciendo uso del SIG se relacionan a continuación:

- **catálogo de eventos:** Eventos antiguos de la información bibliográfica.
- **inventario de eventos:** Eventos recientes evaluados como proceso activos.
- **Sub- unidades geomorfológicas asociadas a la inestabilidad**

Se usa como variable de agrupación para el análisis estadístico, la que indica la existencia o ausencia de zonas inestables recientes y activas, mientras que denota los otros sectores donde no se relacionan áreas con inestabilidad.

Para el procesamiento de la información se asignaron unos pesos a cada parámetro que hace parte de las variables analizadas con datos numéricos de menor a mayor valor con respecto a su importancia en convertirse en factor contribuyente a la generación de potenciales movimientos en masa. Se asignó un peso de calificación de 1 para las zonas determinadas con ausencia de zonas inestables y de 2 para las áreas catalogadas como INESTABLES.



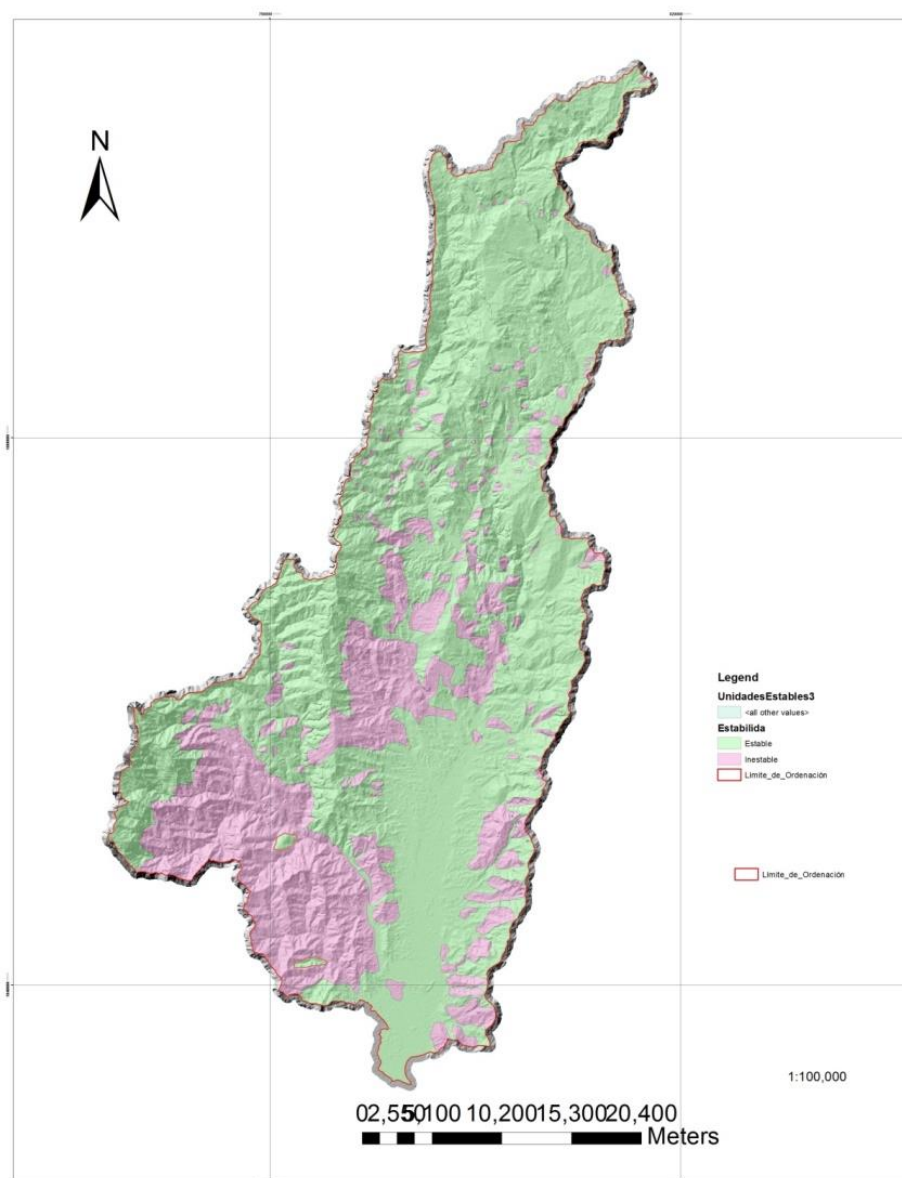


Figura 53. Zonas inestables en la cuenca
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

De acuerdo con lo anterior se determinaron diversas zonas inestables localizadas hacia el sector Oeste, central y al Este principalmente en los municipios de Balboa, La Celia, Santuario, Apia y Belalcázar

6.2 Susceptibilidad ante Movimientos en Masa.



Para la elaboración del mapa final de susceptibilidad se ha optado por dividir la serie en intervalos iguales según la distribución del histograma de frecuencias de los datos, de manera que cada uno de los rangos contenga igual cantidad de datos. Adicionalmente se realizó el ajuste de contornos según los resultados obtenidos y así se definieron las zonas con mayor o menor susceptibilidad a movimientos en masa.

Para establecer los niveles o categorías de susceptibilidad se dividen los valores de la malla regular discriminante en rangos iguales, en este caso tres 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) así:

- SUSCEPTIBILIDAD ALTA
- SUSCEPTIBILIDAD MEDIA
- SUSCEPTIBILIDAD BAJA

Se realizó el análisis haciendo uso de la función SUMA PONDERADA en ARGIS, donde se incluyen las diferentes variables reseñadas anteriormente, dando como resultado amplias zonas de susceptibilidad ALTA Y MEDIA colores (naranja y rojos) que en general coinciden con las zonas con procesos de inestabilidad identificados.

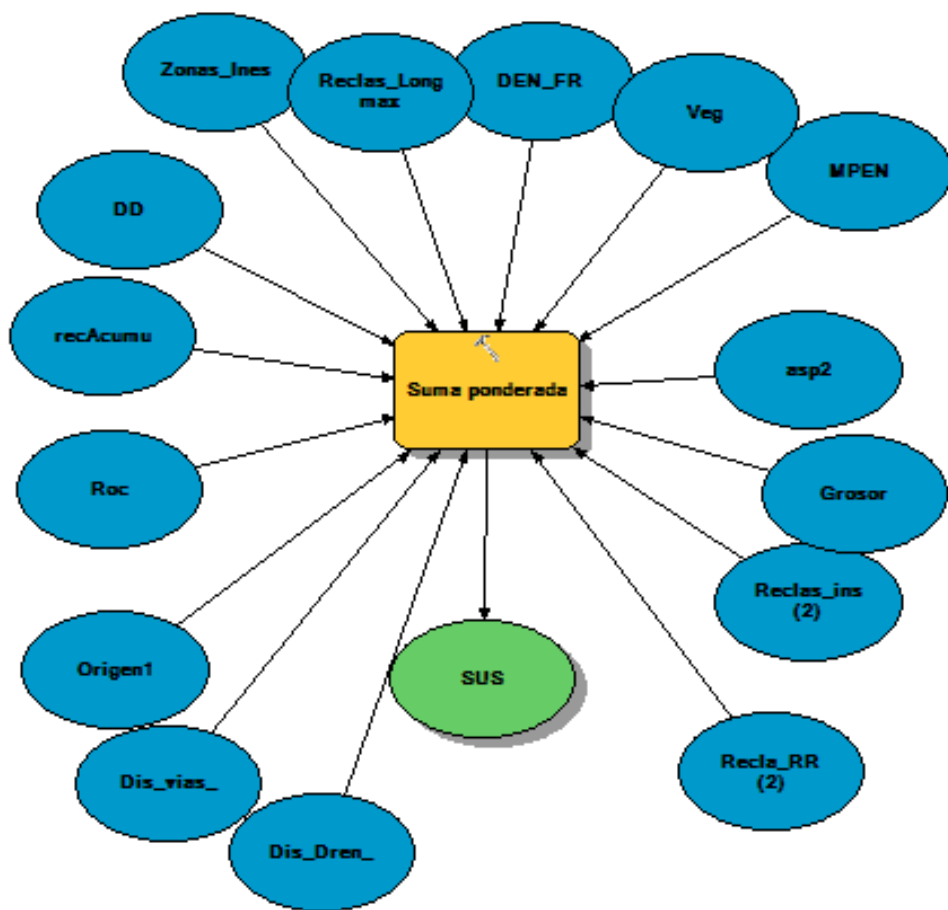


Figura 54. Modelo Conceptual del Método Discriminante.
 Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

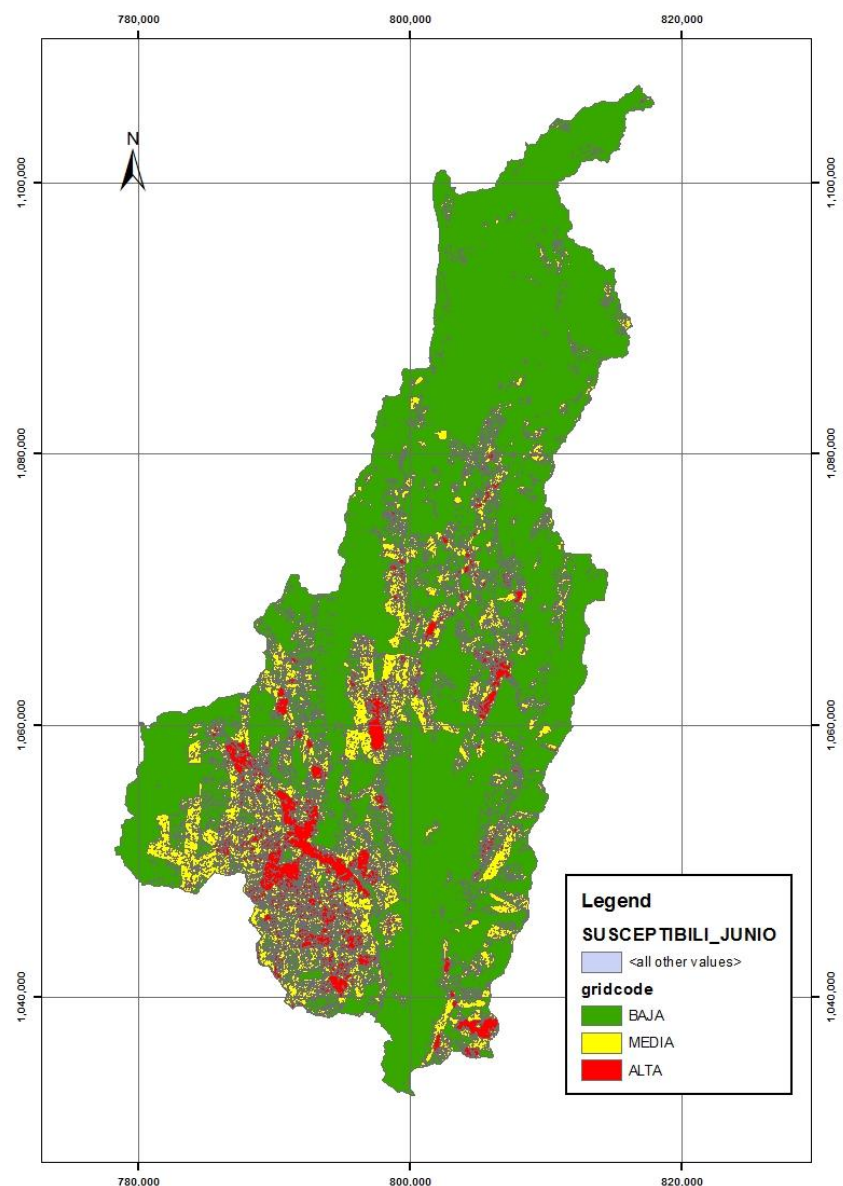


Figura 55 Mapa de susceptibilidad generado con la metodología propuesta.
 Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

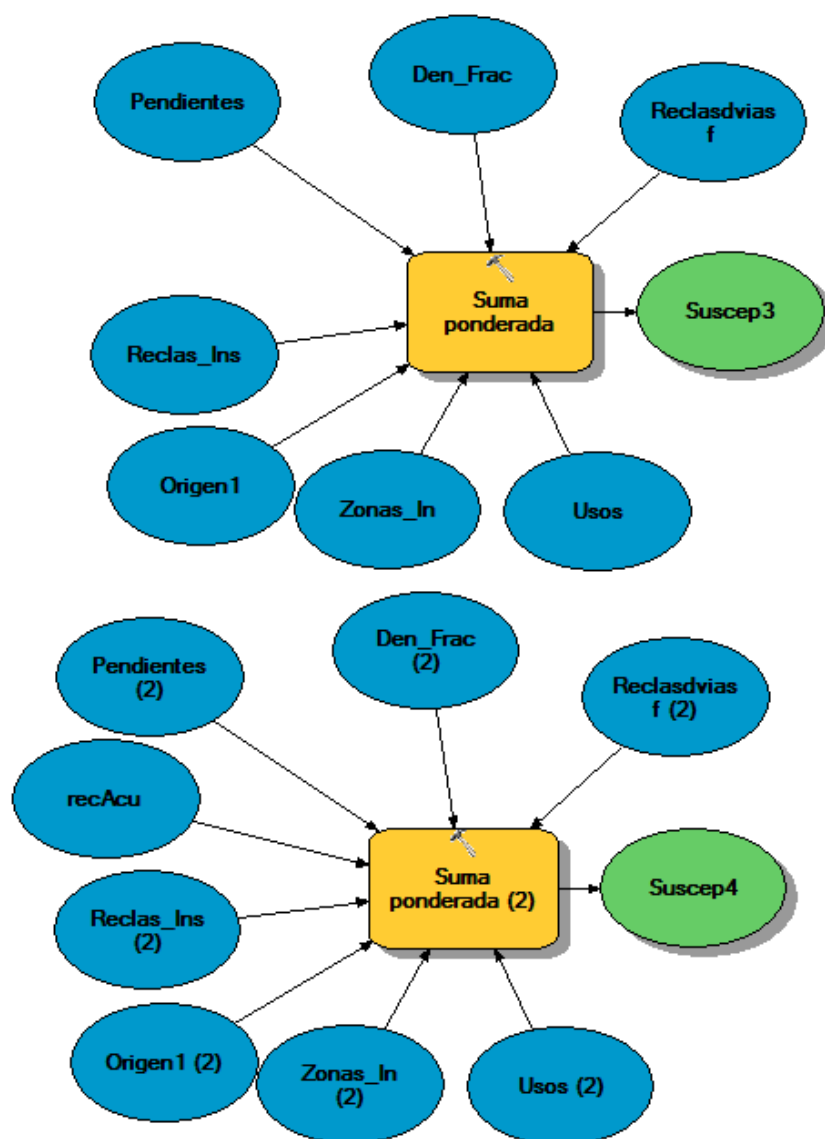


Figura 56. Modelo conceptual de variables incluidas en los análisis finales de susceptibilidad a FRM.

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

6.3 Incendios

6.3.1 Duración del Tipo de Combustible Dominante:

Es entendida como la duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1 hr, 10 hr, 100 hr).

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 19. 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.

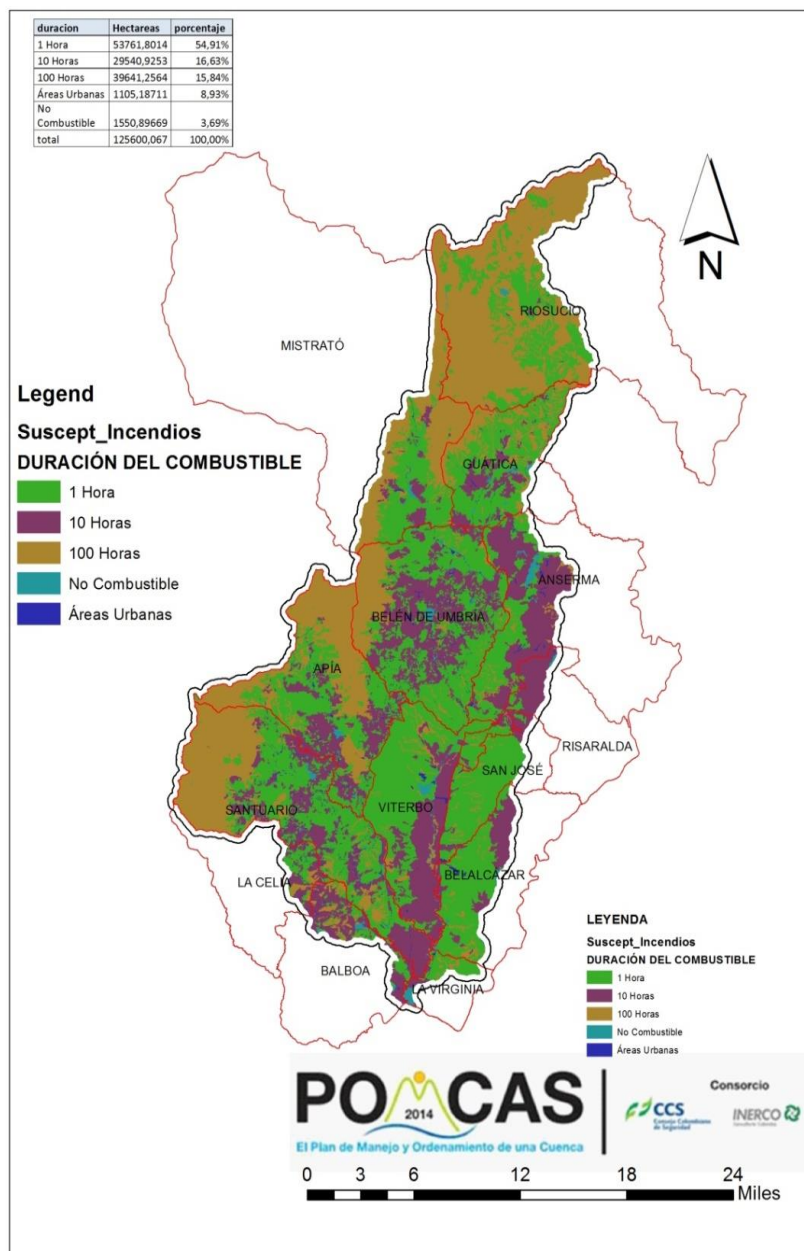


Figura 57 Duración Del Tipo De Combustible Dominante
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tipo de Combustible Vegetal Predominante por Bioma y Ecosistema: 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 alimentas 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 20. 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.

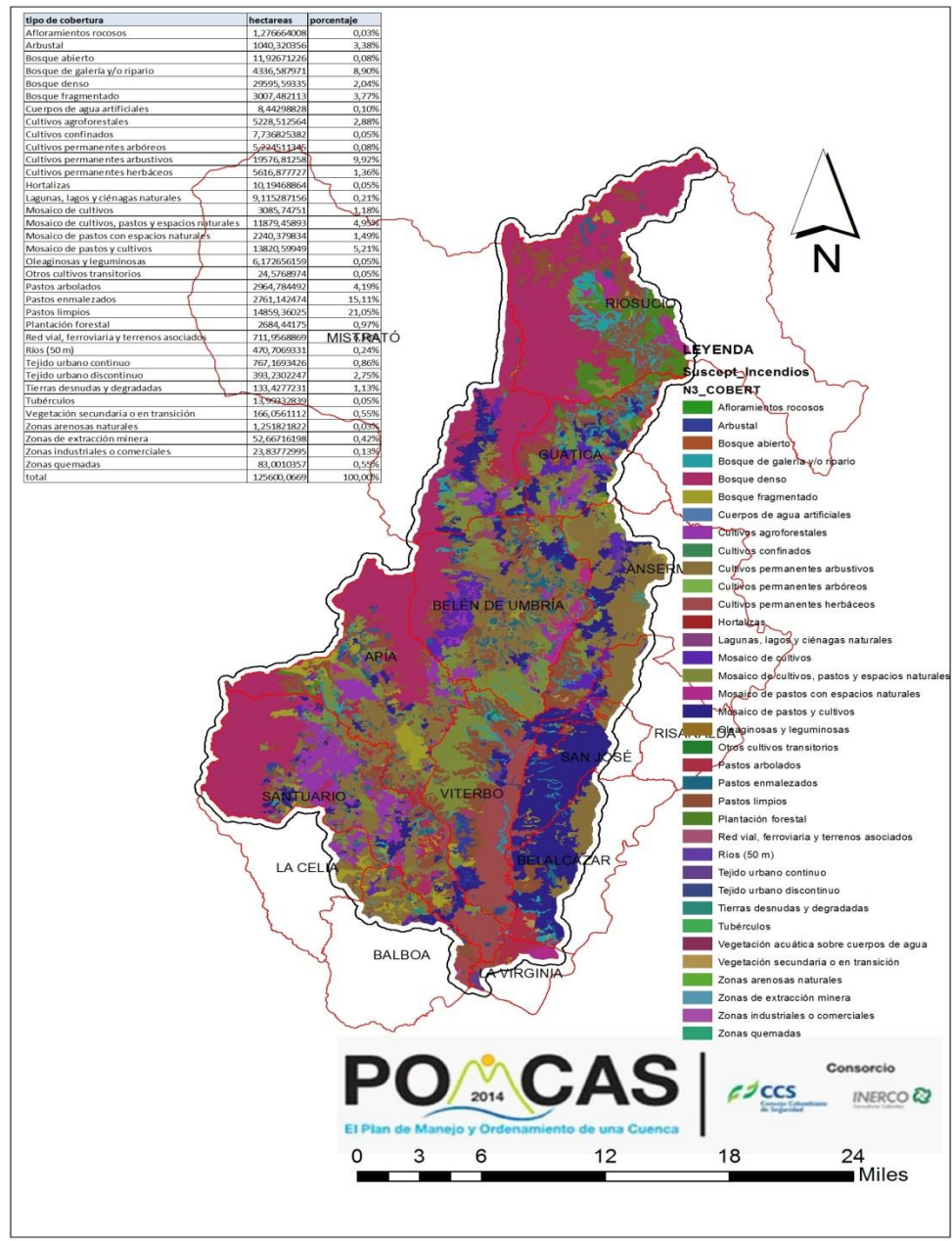


Figura 58. Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

6.3.2 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. 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, calificada 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 21. 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.

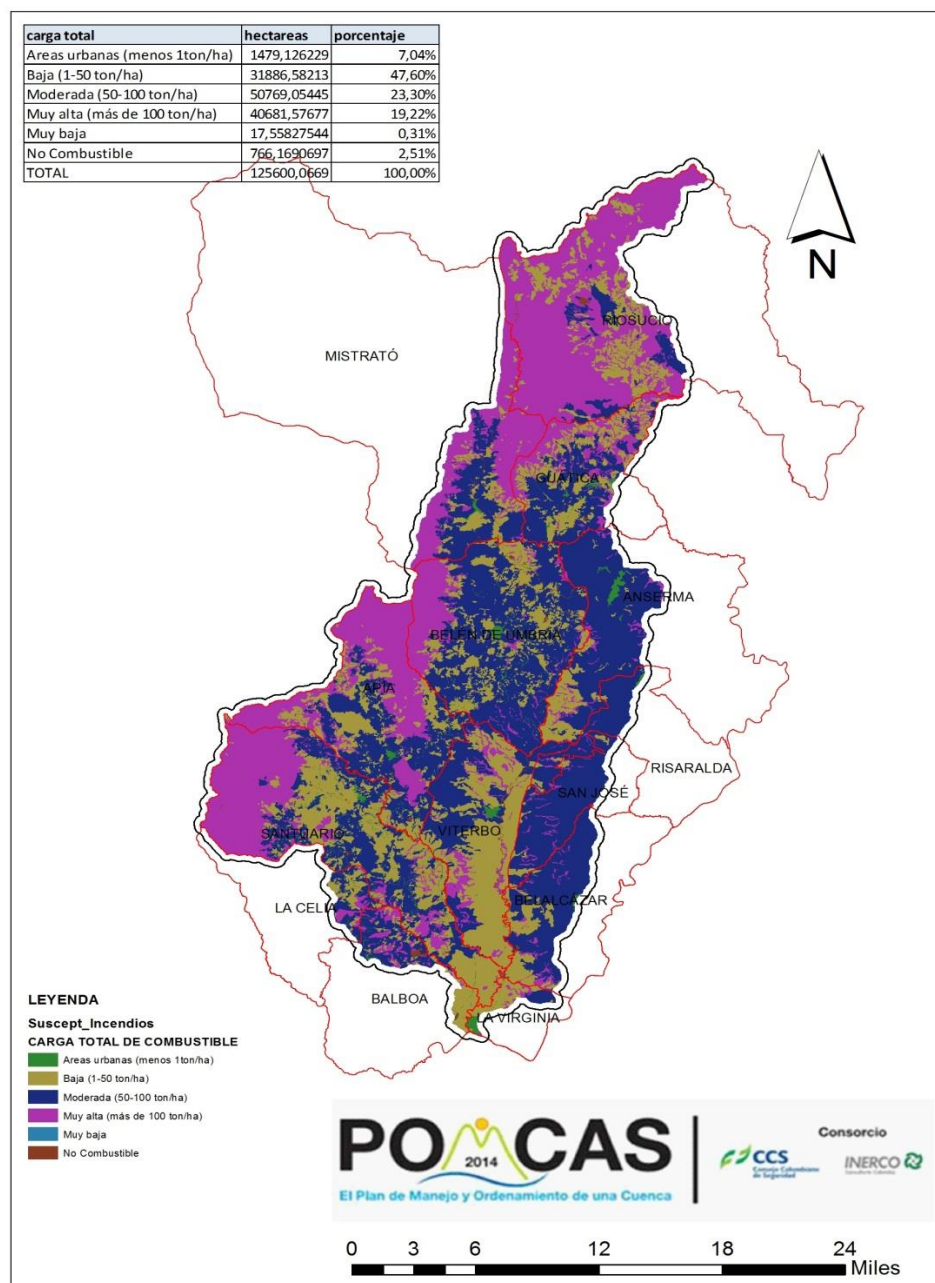


Figura 59. Carga total de combustible.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

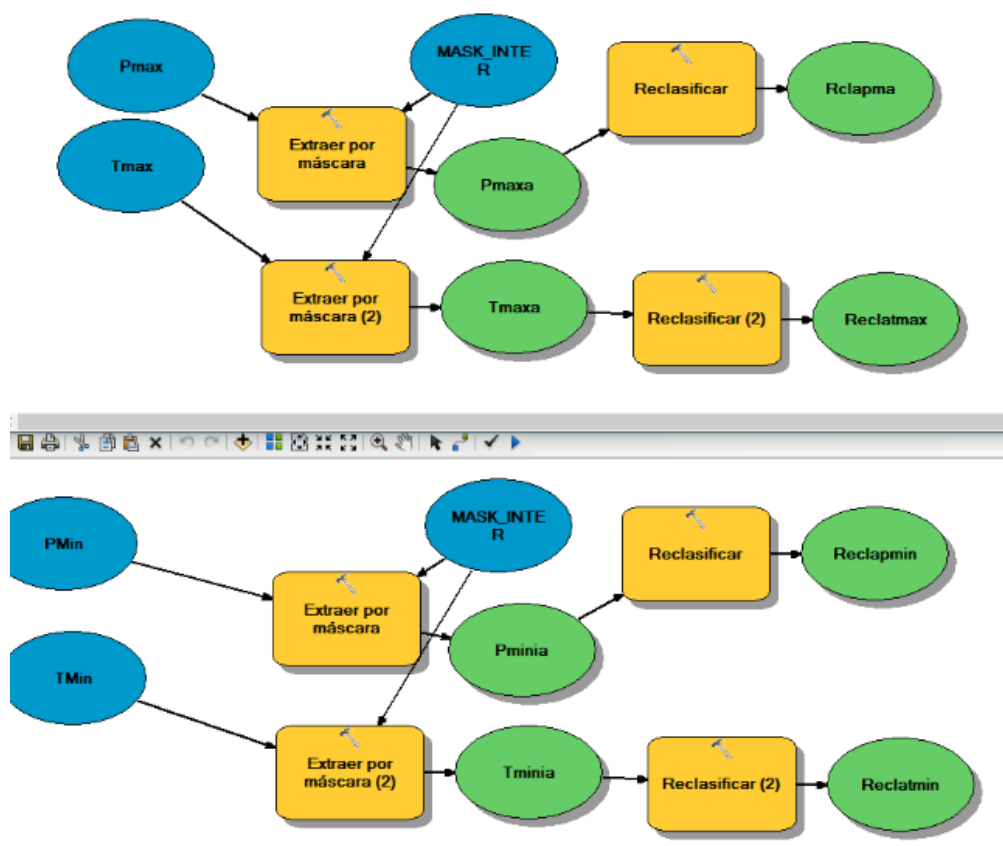


Figura 60. Figura del modelo utilizado para derivar los valores máximos y mínimos de las estaciones definidas para el POMCA.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

6.4 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 morfoetotectónicos, 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.

6.4.1 Falla Quebrada Nueva

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.

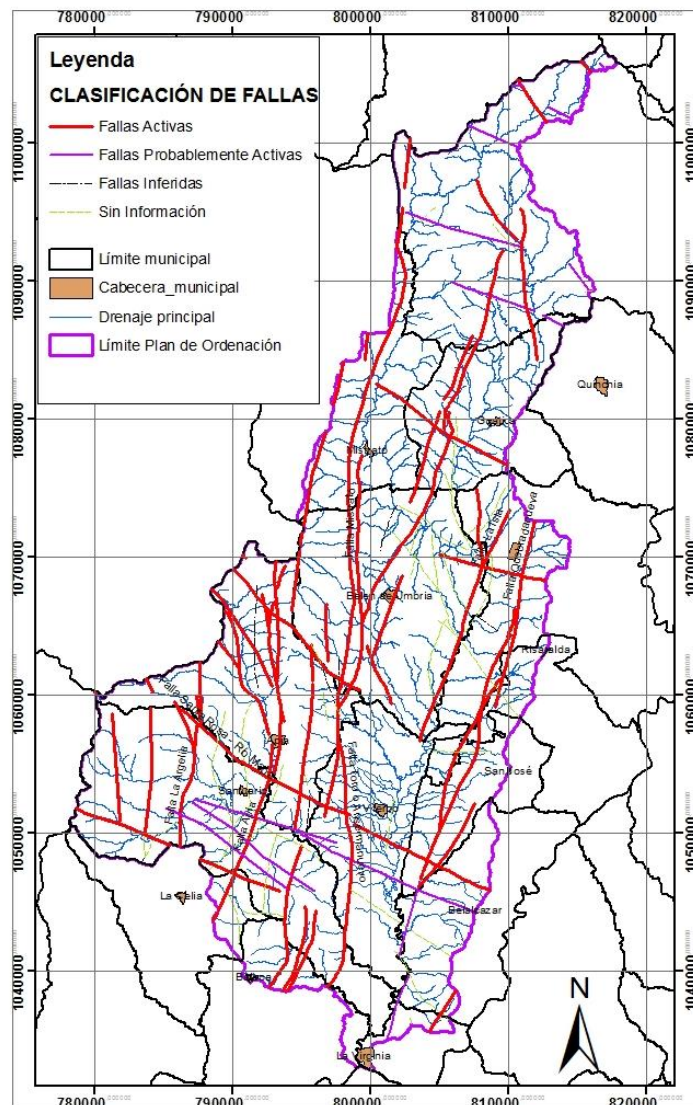


Figura 61 Mapa de fallas activas del área de la cuenca del Río Risaralda.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



6.4.2 Falla Apia.

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 morfoestructónicos 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.

7 MORFOMETRIA

7.1 Metodología

Mediante interpretación del mapa topográfico se obtuvieron los límites de la cuenca del río Risaralda, las subcuencas, microcuencas y la red hidrológica, con el uso de la cartografía base y con las redes fluviales se generó el cierre de las respectivas unidades de análisis.

La obtención de ciertos parámetros fue realizada en forma totalmente automatizada por medio de software ArcGIS, mientras que los datos necesarios para los índices fueron extraídos de tablas generados a partir de los mapas rasterizados de topografía (del modelo digital del terreno o MDT) y posteriormente tratados en una hoja de cálculo de Excel.

8 PENDIENTES

8.1 Consolidación del Modelo de Elevación Digital (MED)

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.

8.2 Derivación de pendientes

Mediante la utilización de la herramienta de análisis espacial del Arc Gis 10X se ejecutó la derivación de pendientes obteniendo la información de inclinación para cada uno de los pixeles determinados.

8.3 Reclasificación de pendientes

El proceso de reclasificación fue realizado mediante las clases definidas en la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas Anexo A Diagnóstico (Tabla 22).

Tabla 22. 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 23 y Tabla 24).

Tabla 23. 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 24. Rangos de Pendientes en grados

GRADIENTE EN GRADOS	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	ÁREA HA	% DEL ÁREA
0 – 1,72	Plano	a	1460,1915 57	1,16%
1,72 – 4,00	Ligeramente inclinado	b	5987,7437 24	4,77%
4,00 – 6,84	Moderadamente inclinado	c	8532,5506 14	6,79%
6,84 – 14,04	Fuertemente inclinado	d	26606,266 11	21,18%
14,04 – 26,57	Ligeramente escarpado	e	52077,884 02	41,46%
26,57 – 36,87	Moderadamente escarpado	f	23696,275 45	18,87%
> 36,87	Fuertemente escarpado	g	7239,1581 52	5,76%
TOTAL			125600	100,0%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

8.4 Construcción de la salida cartográfica

El último paso metodológico consistió en la elaboración de la salida cartográfica con su respectiva leyenda. En la Figura 62 se presenta la salida cartográfica de las pendientes en porcentaje de la zona de estudio y en la se presenta la salida cartográfica de las pendientes en grados.

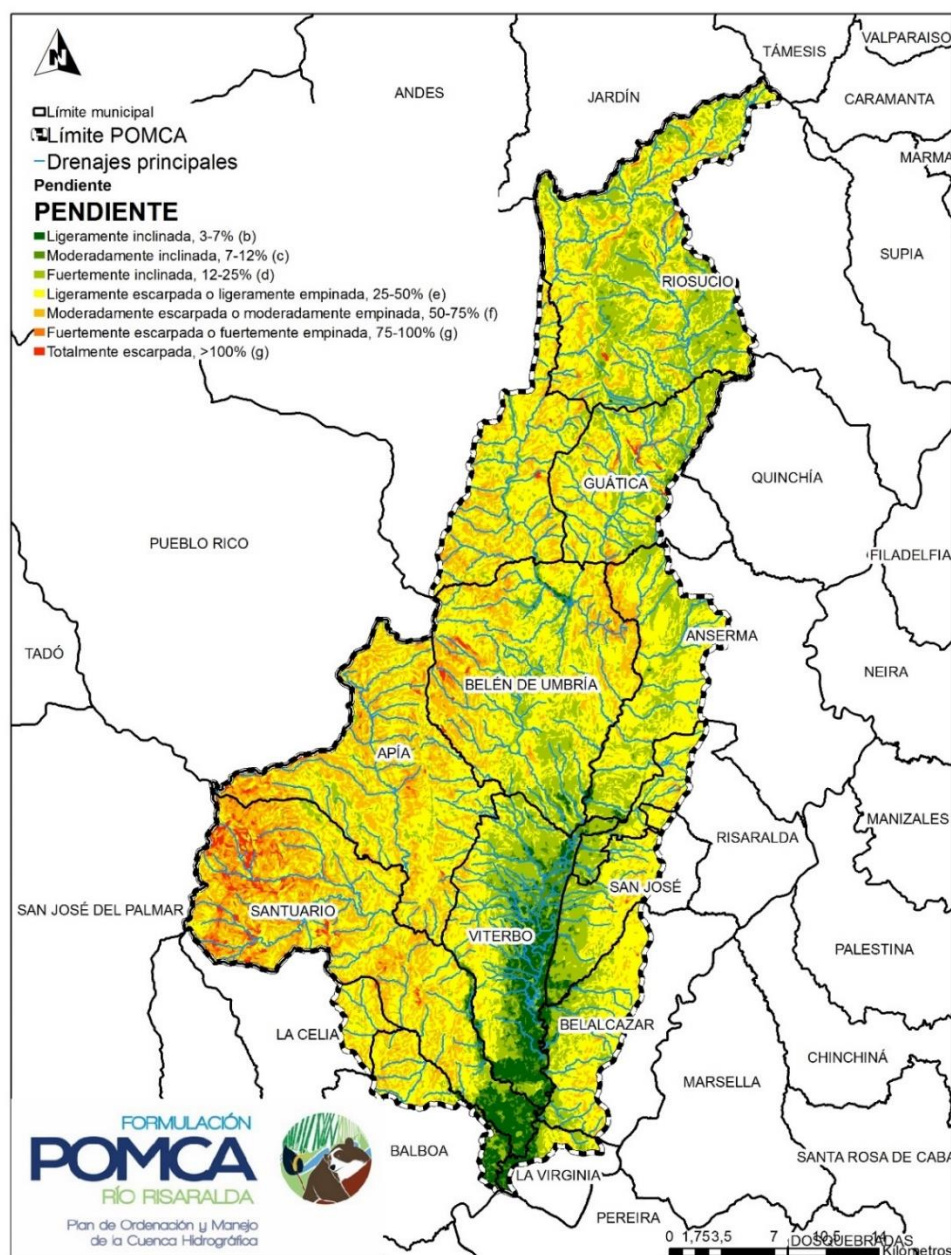


Figura 62. Pendientes en porcentaje Cuenca del Río Risaralda.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

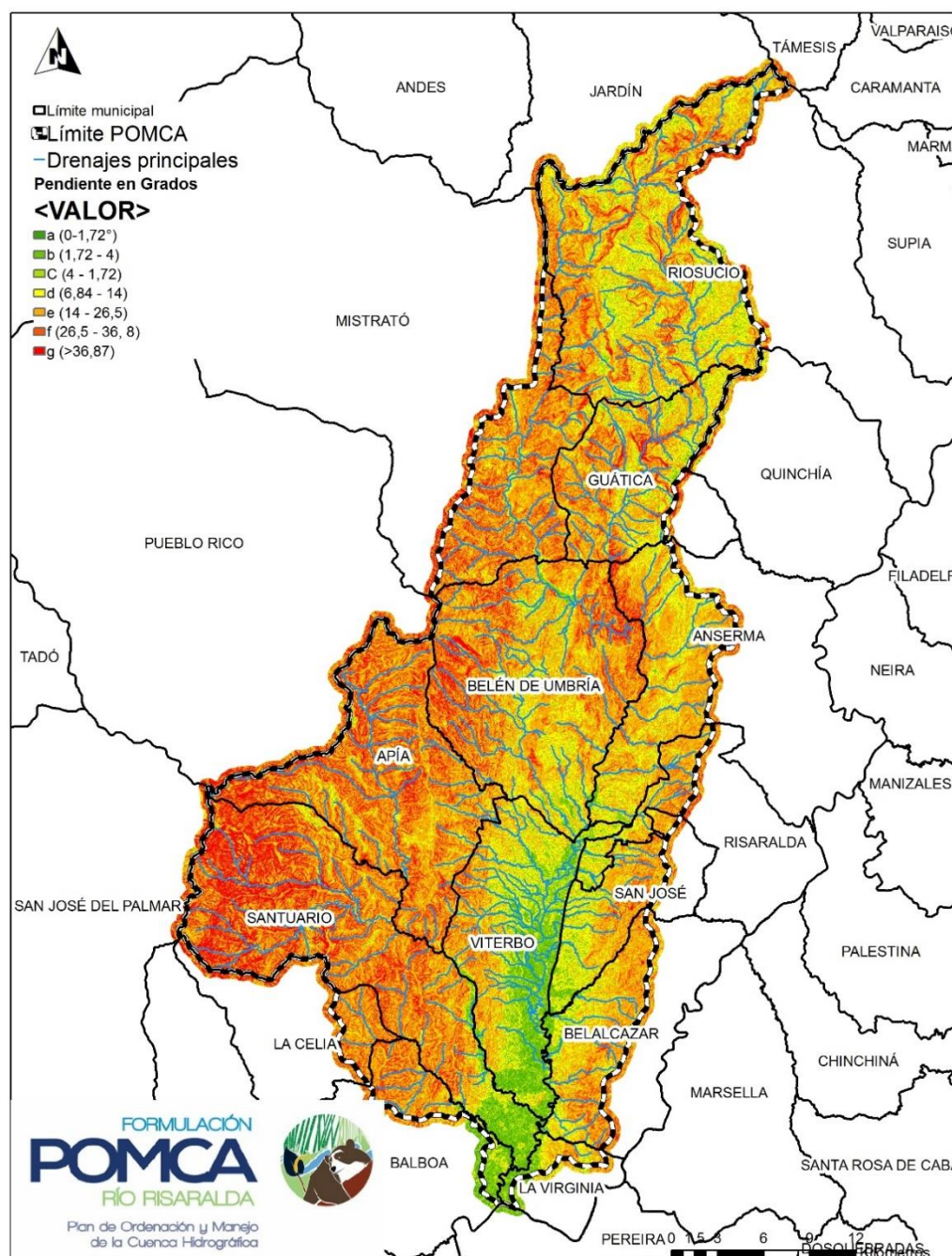


Figura 63 Mapa de Pendientes en grados Cuenca del Río Risaralda.

Fuente: Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

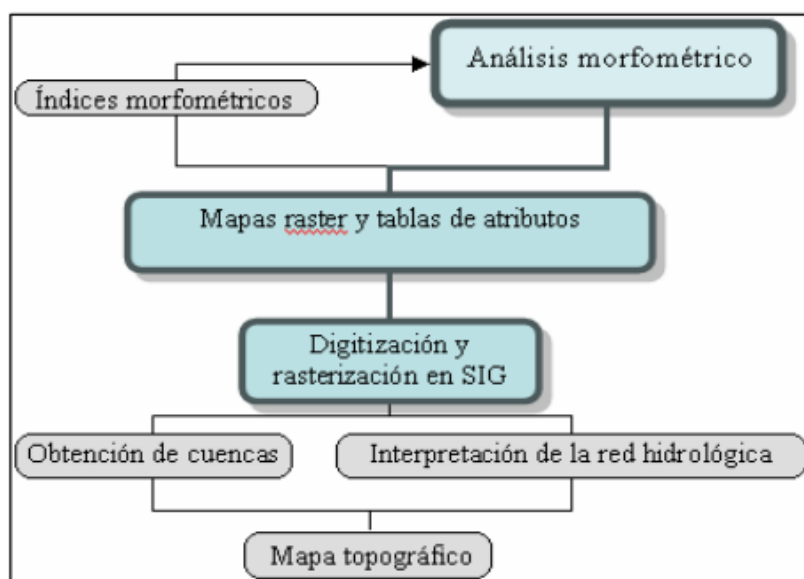


Figura 64 Diagrama metodológico de estudio

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

8.5 Cálculo y clasificación de los índices y parámetros

8.5.1 Área

Es el tamaño de la superficie de cada cuenca en km². Se obtuvo automáticamente a partir de la digitalización y poligonización de las cuencas en el SIG.

El área de una Cuenca, se encuentra relacionada con los procesos que en ella ocurren. También se ha comprobado que la relación del área con la longitud de la misma, ésta es proporcional y también es inversamente relacionada a aspectos como la densidad de drenaje y el relieve relativo.

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2,500	Intermedia-grande
2,500 a 5,000	grande
>5,000	Muy grande

Figura 65. Rangos de clasificación de las cuencas según el área

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

8.5.2 Perímetro

Se considera como la línea formada por la divisoria de aguas de la cuenca de estudio; este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en m o km.

8.5.3 Longitud de la cuenca

La longitud (L) de la cuenca, viene definida por la distancia de su cauce principal, siendo la distancia equivalente, desde el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia, aguas arriba de la desembocadura.

Generalmente, los caudales medios, máximos y mínimos, crecen con la longitud de los cauces. Esto se debe a la normal relación que existe entre las longitudes de los cauces y las áreas de las cuencas hidrográficas correspondientes. De tal manera, el área crece con la longitud, y proporcional crece el caudal.

Los tiempos promedios para el aumento acumulado de caudal y las duraciones promedias totales de las avenidas torrenciales tendrán siempre una evidente relación con la longitud de los cauces. Una longitud mayor supone mayores tiempos de desplazamiento y las duraciones totales de estas serán evidentemente mayores.

8.5.3.1 Ancho de la cuenca

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L);

Se designa por la letra W de forma que:

$$W = A/L$$

A: superficie de la cuenca

L: longitud de la cuenca.

8.5.3.2 Factor de forma

Este índice, propuesto por Gravelius, se estima a partir de la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca, longitud que se mide desde la salida hasta el punto más alejado a ésta. El factor de forma, viene dado por:

Dónde:

$$Kf = \bar{L}/L$$

\bar{L} : Ancho promedio del área de captación

L: Longitud de la cuenca

A: Área de captación

El ancho promedio \bar{L} , se estima como:

$$\bar{L} = A/L$$

Luego:

$$Kf = \frac{\bar{L}}{L} = (A/L)/L$$

$$Kf = A/L^2$$

Este factor relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un $Kf = 1$; para regiones con esta forma. Un valor de Kf superior a la unidad, proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o el de un río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. En la Figura. 4, se referencian la forma de la cuenca de acuerdo al valor obtenido.

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
> 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.300	Alargada
0.300 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.450	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy Ensanchada
> 1.200	Rodeando el Desagüe

Figura 66. Rangos de clasificación de las cuencas según el factor de forma

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

8.5.3.3 Coeficiente de compacidad

Designado por K_c e igualmente propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio.

K_c se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud de la divisoria de aguas y el perímetro de la circunferencia.

La ecuación que nos permite el cálculo de este coeficiente corresponde a:

$$K_c = 0.28 P / \sqrt{A}$$

Dón
de:

K_c : coeficiente de compacidad

P: perímetro de la
cuenca

A: área de la
cuenca

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 cuya forma es exactamente circular. Los valores de K_c nunca serán inferiores a 1.

El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c , mayor será la concentración de agua.

Existen tres categorías para la clasificación según el valor de este parámetro y se muestran en la Tabla 25 tabla.

Tabla 25 Rangos de clasificación de las cuencas según el coeficiente de compacidad

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1 a 1,25	Forma casi redonda a oval - redonda
Kc2	1,25 a 1,5	Forma oval – redonda a oval – alargada
Kc3	1,5 a 1,75	Forma oval – alargada a alargada

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

8.5.3.4 Índice de alargamiento (Ia)

Este índice propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido del río principal y el ancho máximo de ella medido perpendicularmente; se lo calcula de acuerdo a la fórmula siguiente.

$$Ia = \frac{Lm}{l}$$

Dónde:

Ia: Índice de Alargamiento

Lm: longitud máxima de la cuenca

l: Ancho de la cuenca

Cuando el índice toma valores mayores a la unidad, se trata seguramente de cuencas alargadas, mientras que para valores cercanos a 1, se trata de una cuenca cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede tenerse un río principal corto.

Tabla 26. Rangos de clasificación de las cuencas según el índice de alargamiento

Valores	Descripción
0,0-1,4	Poco alargada
1,5-2,8	Moderadamente alargada
2,9-4,2	Muy alargada

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016

8.5.3.5 Índice de asimetría

Es la relación del área de las vertientes, mayor y menor las cuales son separadas por el cauce principal, este índice evalúa la homogeneidad en la distribución en la red de drenaje.

8.5.3.6 Longitud del cauce principal.

Es la medida del escurrimiento principal de la cuenca, desde la parte más alta hasta la salida. Este parámetro influye en el tiempo de concentración y en la mayoría de los índices morfométricos. Se obtiene a partir del mapa digitalizado de la red de drenaje.

8.5.3.7 Curva hipsométrica.

La curva hipsométrica (Strahler, 1952) permite conocer la distribución de masa en la cuenca de arriba hacia abajo. Se obtiene graficando en las ordenadas los valores correspondientes a las diferentes alturas de la cuenca referidos a la máxima y en las abscisas, los valores de área que se encuentran por encima de las alturas correspondientes referidos al área total de la cuenca (Racca, 2007).

De esta forma, se emplean valores relativos (porcentuales), lo que hace posible comparar curvas de diferentes cuencas, prescindiendo de las dimensiones absolutas. El grado de sinuosidad es muy variable, lo mismo que la pendiente en el punto de inflexión. (Racca J.M.G., 2007).

El valor del área relativa que yace bajo la curva (integral hipsométrica) es indicativo del estado de desarrollo de la cuenca; valores superiores al 60% indican desequilibrio manifiesto en el funcionamiento de la cuenca (juventud), valores alrededor del 47 % representan equilibrio (madurez), e inferiores a 30% implican fase de “monadnock” (senectud) (Racca, 2007).

8.5.3.8 Elevación media de la cuenca

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes.

$$Em = \sum_{i=1}^n \frac{Ai * ei}{At}$$

Dónde:

Em: Elevación media de la cuenca en metros

A_i: Área de cada franja en (Km² o m²) de acuerdo al tamaño de la cuenca

e_i: Promedio de las curvas de nivel que delimita cada franja.

A_t : Área total de la cuenca en (Km^2 o m^2)

8.5.3.9 Pendiente del cauce principal.

La pendiente del cauce se la puede estimar por diferentes métodos, uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel H entre los puntos más elevado y más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce L , lo que significa:

$$S = \frac{H}{L}$$

Dónde:

S : Pendiente media del cauce

H : Desnivel entre los puntos más alto, para el caso de 100m

L : Longitud del cauce

8.5.3.10 Tiempo de concentración (T_c):

Se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores.

Algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este tiempo son las siguientes:

1. Fórmula de Kirpich (Kirpich 1940)

Calcula el tiempo de concentración T_c , en minutos, según la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{0,01947 \times L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (m)

S: Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca H (m), dividida por la longitud del cauce principal de la cuenca L (m) (m/m).

2. Fórmula de Kirpich Californiana (U.S Bureau of Reclamation, 1973) La fórmula de Kirpich Californiana se describe en la siguiente ecuación:

$$Tc = \left| \frac{0,870 \times L^3}{H} \right|^{0,385}$$

Dónde:

T: Tiempo de concentración (hora)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (Km)

H: La diferencia entre las dos altitudes o elevaciones extremas del cauce principal de la cuenca (m)

3. Fórmula de Guaire

La fórmula de Guaire para calcular el tiempo de concentración se expresa de la siguiente manera:

$$Tc = 0,355 \left[\frac{A}{\sqrt{S}} \right]^{0,595} = 0,355 A^{0,595} / S^{0,298}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración

(hora) A: Área de la cuenca (Km²)

S: Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca H(m), dividida por la longitud del cauce principal de la cuenca L (Km) (m/Km).

4. Formula de Bureau of Reclamation (U.S Bureau of Reclamation, 1973)

Es la expresión utilizada para el tiempo de concentración en el cálculo de hidrograma triangular del *U.S Bureau of Reclamation*. Se obtiene el tiempo de concentración de la cuenca según la siguiente ecuación:

$$Tc = 0,066x \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0,77}$$

Dónde:

T_c: Tiempo de concentración (hora)
 L: longitud cauce principal de la cuenca (Km o m)
 S: Pendiente media del cauce (m/m).

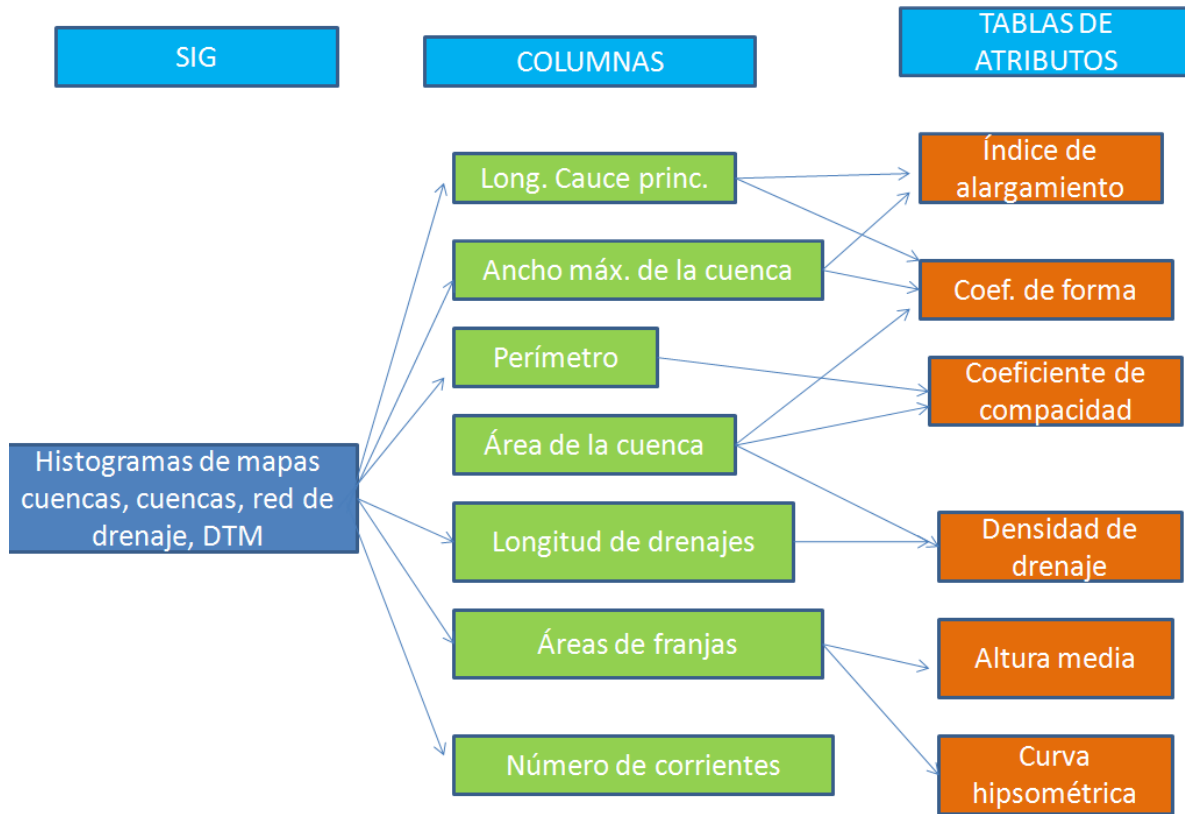


Figura 67 Obtención de parámetros morfométricos en SIG.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

9 GEOMORFOLOGÍA

9.1 Relieves o modelos similares (sensores remotos):

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.

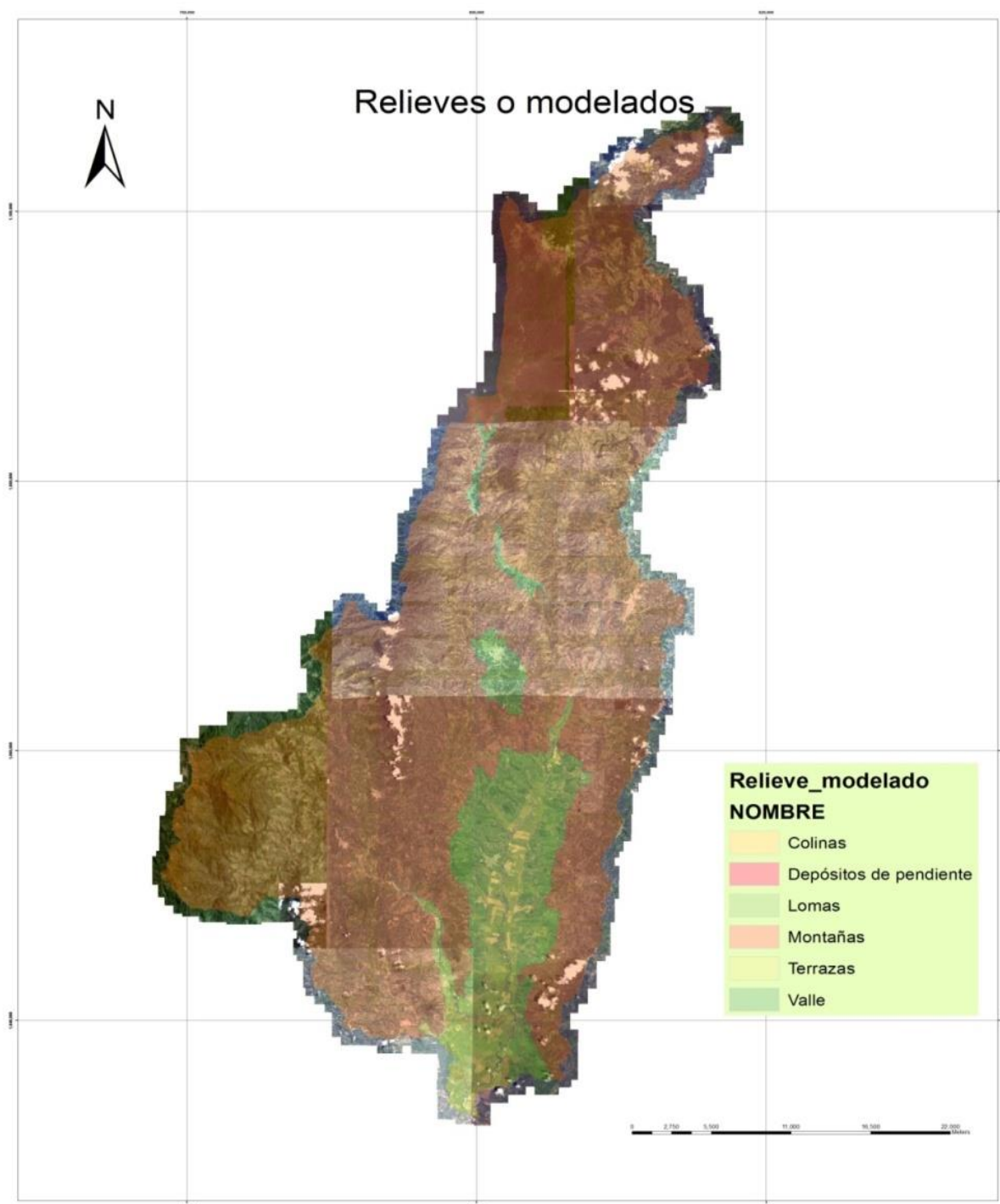


Figura 68. Relieves o modelados similares según fotointerpretación
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

9.2 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 morfo dinámicos y las Unidades del terreno (Zinck 2012) según el tipo de relieve o modelado

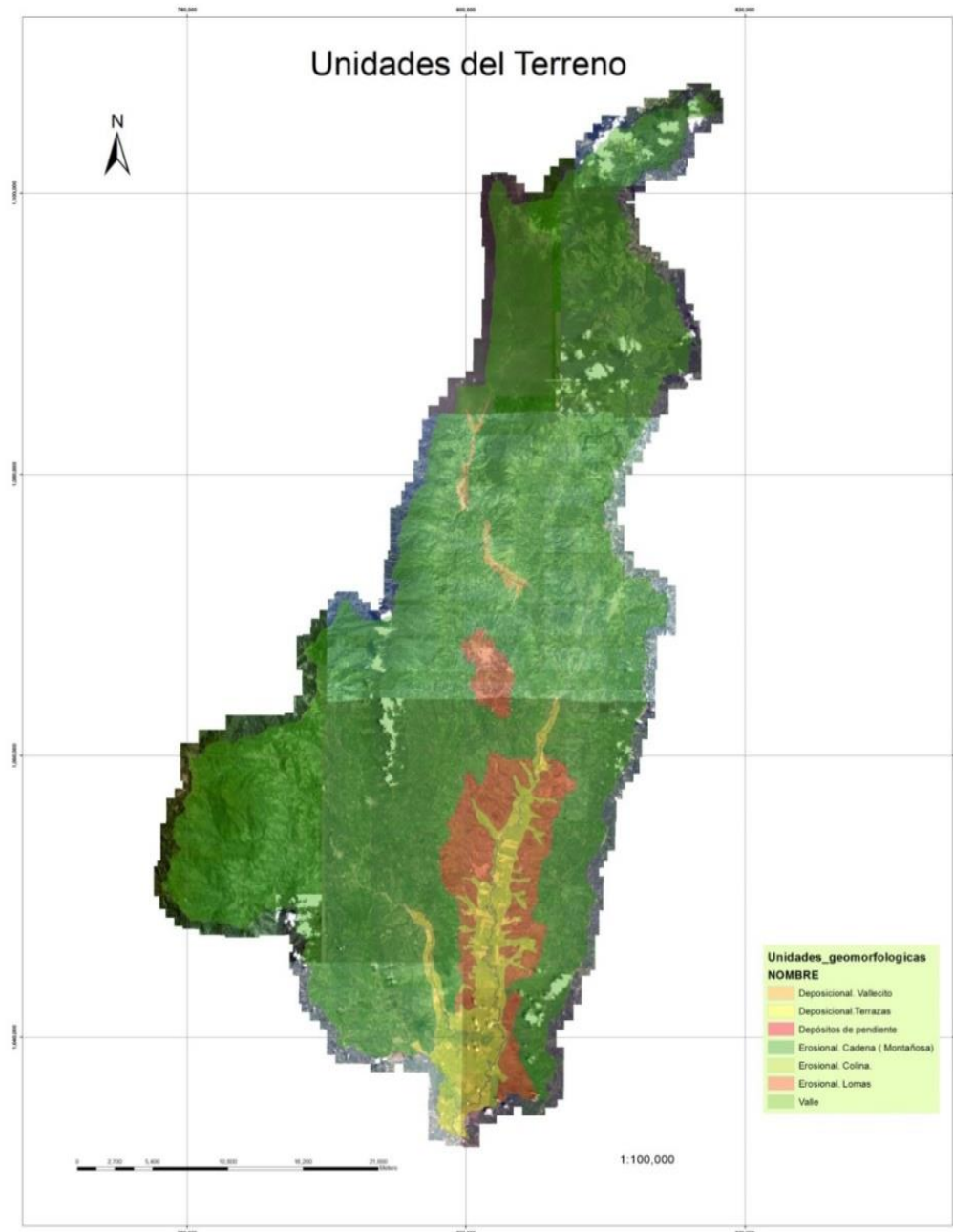


Figura 69. Unidades del terreno (Tipos de relieve). (Zinck 2012)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

9.3 Control de campo

Con los datos obtenidos en las fases anteriores se procedió a efectuar el control de campo para los procesos morfo dinámicos 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 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)”.

10 GESTIÓN DEL RIESGO

La gestión del riesgo pretende de manera la ordenación y manejo de la cuenca mediante una zonificación ambiental 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 (Minambiente, Minahacienda, 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.

10.1 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 – 30 años (1985 - 2000)
- > 30 años (1915 – 1985)

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 poligonizado para su edición final.

10.2 Susceptibilidad a movimientos en masa (mm):

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.

10.3 Factores de propensividad ante movimientos en masa:

A partir del inventario de eventos adelantado en la etapa de campo como también en la información secundaria y teniendo en cuenta que según la escala de trabajo la mayoría de procesos identificados no serían cartografiables, se procedió a identificar las zonas inestables mediante la delimitación de áreas según la densidad de procesos existentes en cada sub unidad geomorfológica, detallando de esta manera áreas con una cobertura mayor como zonas inestables. Los insumos utilizados para la generación del mapa de zonas inestables haciendo uso del SIG se relacionan a continuación:

- **CATÁLOGO DE EVENTOS:** Eventos antiguos de la información bibliográfica.
- **INVENTARIO DE EVENTOS:** Eventos recientes evaluados como proceso activos.

10.4 Distancia a cauces:

Corresponde a la distancia a las corrientes superficiales o drenajes en un punto específico. Para el área de trabajo se tuvieron en cuenta los lineamientos definidos en la resolución 061 emitida por la CARDER por medio de la cual se fijan los lineamientos para demarcar las áreas forestales protectoras de los nacimientos y corrientes de agua ubicados en suelos rurales y suburbanos de

stinados a usos agrícolas, pecuarios, forestales y de acuicultura”, donde se establecen retiros desde los 6m hasta los 30m.

El cálculo se realiza a partir de la función distancia “Euclidiana” determinando los siguientes rangos y calificación según el retiro presente y teniendo en cuenta que a mayor cercanía del cuerpo de agua se presentaran mayores infiltraciones, procesos erosivos asociados al cauce principal, variaciones del nivel freático entre otros que pueden ser contribuyentes a la generación de potenciales movimientos en masa. Los dos primeros rangos establecidos en la mencionada resolución fueron agrupados en unos solo para el presente análisis como área con mayor peso o importancia en el análisis, disminuyendo en importancia cuando tenemos un retiro superior:

Tabla 27 Calificación Distancia a drenajes

DISTANCIA A DRENAJES (m)	PESO
0-12	5
12-30	4
30-50	3
50-75	2
>75	1

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

10.5 Análisis estadístico y sig.:

El análisis discriminante trabaja bien cuando las dos poblaciones (celdas estables e inestables) tienen un tamaño similar en la muestra extraída (Baeza, 1994) de forma que ninguna de las dos poblaciones tenga una mayor influencia en los resultados finales. Por lo tanto se debe obtener una muestra aleatoria de las celdas clasificadas como estables y que el número de esta muestra debe ser muy similar al de celdas con fallas o inestables. (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 proceso adelantado se determina a continuación:

Una vez calculada el tamaño total de pixeles de la población se extrajo un porcentaje de la población total o muestra 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:

$$n = \frac{k^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{(e^2 \cdot (N-1)) + k^2 \cdot p \cdot q}$$

N: es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).

K: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%.

Los valores k más utilizados y sus niveles de confianza son:

K	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95,5%	99%

E: es el error muestra deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.

p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p=q=0.5$ que es la opción más segura.

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.

n: es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).

Mediante la herramienta SIG se convirtieron los pixeles en puntos que tienen un identificador único, de esta forma se tienen poblaciones con individuos completamente independientes; posteriormente se dividió de manera aleatoria la población en dos grupos, la muestra y el residuo aplicando un porcentaje de extracción., con el uso de herramientas estadísticas en el software SIG utilizado dando como los siguientes resultados:

Tabla 28 Datos estadísticos del tamaño de la muestra y del total de individuos muestreados en el proyecto.

Tamaño de la muestra (Individuos o pixeles)	Tamaño de los análisis efectuados en el proyecto.
331.787	1.327.151

Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

10.6 Comprobación del ajuste a una distribución normal de todas las variables Test de Kolmogorov-Smirnov:

Se realizó la revisión de la distribución normal de cada una de las variables mediante la elaboración de los histogramas efectuando el Test de Kolmogorov-Smirnov, con los siguientes resultados:

Sesgo Negativo: densidad de fracturamiento, origen.

Sesgo Positivo: densidad de drenaje, distancia a drenajes, distancia a vías, longitud máxima, pendientes, roca.

Distribución normal: Insolación, cuenca acumulada, vegetación, grosor, orientación.

Posterior al análisis las variables que no presentaron una distribución normal son transformadas a distribuciones lognormales, detallando que las que presentan sesgo positivo presentan un adecuado ajuste, mientras que las de sesgo negativo manifiestan una leve variación en su distribución.

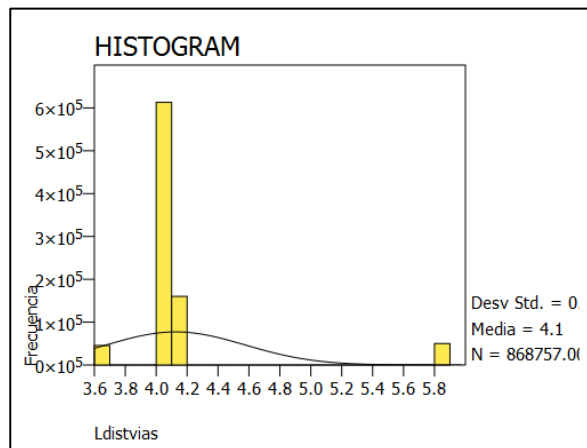
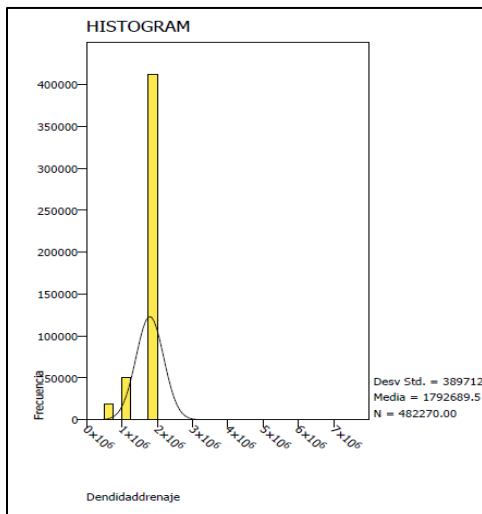
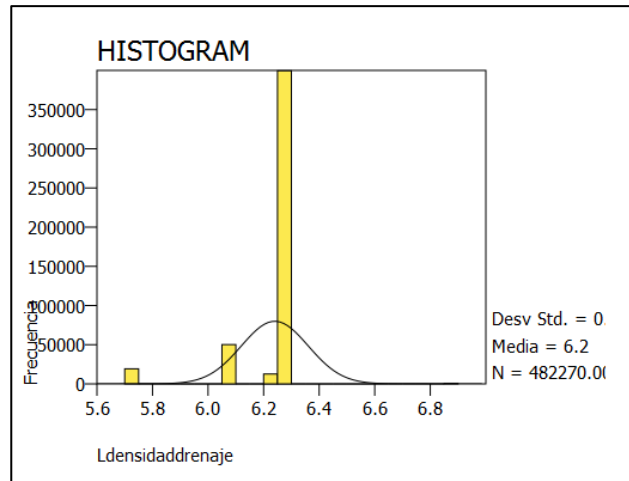
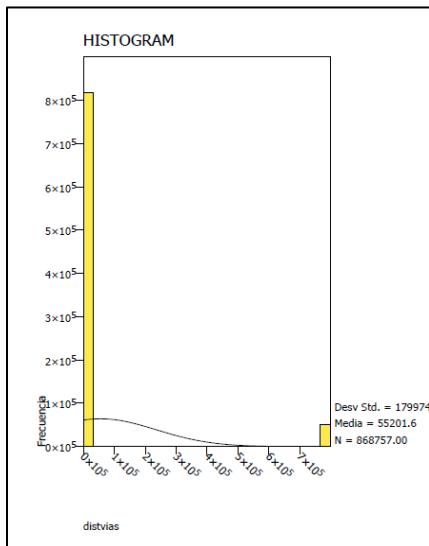


Figura 70 Histogramas de frecuencias con curva normal de algunas variables sin ajuste (izquierda) y con ajuste (derecha)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Prueba Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Vegetacion	densidfract2	origen2	Lroca	Lpend	Llongmaxima	Ldistvias	Ldensidaddrenaje	acumulada	Insolacion	Orientacion	Longmaxima	Grosor
<i>N</i>		868757.00	482270.00	482270.00	449654.00	482270.00	450434.00	868757.00	482270.00	854192.00	854192.00	854192.00	450434.00	642413.00
<i>Parámetros</i>	<i>Media</i>	1.00	482135.12	743575.72	.00	.00	.00	.00	.00	.54	.11	.65	1.23	1.35
<i>Normal</i>	<i>Desviación Estándar</i>	500.88	234718158.16	459968728.29	.01	.02	.01	.01	.02	233.49	40.13	222.61	590.50	623.84
<i>Diferencias</i>	<i>Absoluto</i>	1.00	1.00	.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.92
<i>Más</i>														
<i>Extremas</i>	<i>Positivo</i>													
	<i>Negativo</i>	-1.00	-1.00	-.87	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-.92
<i>Z de Kolmogorov-Smirnov</i>		931.23	694.46	604.10	670.56	694.46	671.14	932.07	694.46	924.20	924.23	924.23	671.14	738.94
<i>Sig. Asint. (2-colas)</i>		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

Figura 71 Tabla de resultados del Test de normalidad (K-S Z) de las variables.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

10.7 Aplicación del análisis factorial:

Una vez se comprobó la anormalidad de las variables, se procedió a la verificación de la independencia de las variables entre ellas mediante el análisis factorial de componentes principales, donde se resalta la totalidad de las variables están adecuadamente representadas por el alto porcentaje de la varianza.

Comunidades			
	brasil		
Vegetacion	1200855283.20		
Grosor	2080207758.49		
Longmaxima	9809302332.51		
Orientacion	218435070.72		
Insolacion	200225.60		
acumulada	4722456.62		
Ldensidaddrenaje	.00		
Ldistvias	.00		
Llongmaxima	.00		
Lpend	.02		
Lroca	1.11		
origen2	100001044187200848304.00		
densidfract2	770387729375513568128.00		
Varianza Total Explicada			
Componente	Total	% de Varianza	% Acumulado
1	3080095417192125845120.00	100.00	100.00
2	7969462.00	.00	100.00
3	5.92	.00	100.00
4	-5.92	.00	100.00
5	.00	.00	100.00
6	.00	.00	100.00
7	.00	.00	100.00
8	.00	.00	100.00
9	.00	.00	100.00
10	.00	.00	100.00
11	.00	.00	100.00
12	.00	.00	100.00
13	.00	.00	100.00

Ventanas	Ayuda
6	.00
7	.00
8	.00
9	.00
10	.00
11	.00
12	.00
13	.00

Matriz de Componentes

	Componente		
	1	2	3
Vegetacion	109970.98	.00	2.21
Grosor	58292.22	136.73	1.59
Longmaxima	-83482.84	.02	.74
Orientacion	14778.45	.00	.05
Insolacion	478.78	.00	.00
acumulada	2175.42	.00	.06
Ldensidaddrenaje	.06	.00	.00
Ldistvias	-.59	.00	.00
Llongmaxima	-.17	.00	.00
Lpend	.15	.00	.00
Lroca	-1.05	.00	.00
origen2	100152965218.07	131.77	-.12
densidfract2	27754958645.21	-475.48	.43

Matriz Rotada de Componentes

	Componente		
	1	2	3
Vegetacion	109970.98	.00	2.21
Grosor	58292.22	-136.73	1.59
Longmaxima	-83482.84	-.02	.74
Orientacion	14778.45	.00	.05
Insolacion	478.78	.00	.00
acumulada	2175.42	.00	.06
Ldensidaddrenaje	.06	.00	.00
Ldistvias	-.59	.00	.00
Llongmaxima	-.17	.00	.00
Lpend	.15	.00	.00
Lroca	-1.05	.00	.00
origen2	100152965218.07	-131.77	-.12
densidfract2	27754958645.21	475.48	.43

Figura 72 Comunidades (arriba) y matriz de componentes rotados.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

10.8 Selección de las variables independientes aplicación del análisis y selección de la función discriminante final:

Luego de las evaluaciones anteriores realizadas y analizando los resultados obtenidos, se establece que algunas variables no determinan una correcta correlación de los datos y no representan las realidades de lo visualizado en la etapa de campo, por lo tanto, se determinaron las variables que harán parte de la función y las variables excluidas teniendo en cuenta el criterio de experto para la definición de los coeficientes de cada variable como se define a continuación.

Variables a utilizar en la función discriminante:

- PENDIENTES (Pend)
- DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO (Df).
- VARIABLE ORIGEN TIPO DE DEPOSITO (Or)
- VEGETACIÓN (Veg)
- INSOLACIÓN (In)
- DISTANCIA A VÍAS (Dv)
- ÁREA DE CUENCA ACUMULADA (Aacum)
- ZONAS INESTABLES (Zi)

Variables excluidas de la función discriminante:

- FORMACIÓN SUPERFICIAL GROSOR (Gr)
- DISTANCIA A DRENAJES (DisDre)
- ROC SUE Presencia o ausencia de depósito o suelo (Roc)
- DENSIDAD DE DRAÑAJE (Densdren)
- LONGITUD MÁXIMA ACUMULADA (LongMax)
- ORIENTACIÓN LADERAS (Orient)

La función discriminante a utilizar se determina a continuación:

$$S = (Pend * 0.18) + (Df * 0.11) + (Veg * 0.07) + (Ori * 0.14) + (In * 0.11) + (Dv * 0.07) + (Acu * 0.14) + (Zi * 0.18)$$

10.9 Susceptibilidad ante movimientos en masa:

Para la elaboración del mapa final de susceptibilidad se ha optado por dividir la serie en intervalos iguales según la distribución del histograma de frecuencias de los datos, de manera que cada uno de los rangos contenga igual cantidad de datos. Adicionalmente se realizó el ajuste de contornos según los resultados obtenidos y así se definieron las zonas con mayor o menor susceptibilidad a movimientos en masa.

Para establecer los niveles o categorías de susceptibilidad se dividen los valores de la malla regular discriminante en rangos iguales, en este caso tres 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) así:

- SUSCEPTIBILIDAD ALTA
- SUSCEPTIBILIDAD MEDIA
- SUSCEPTIBILIDAD BAJA

Se realizó el análisis haciendo uso de la función SUMA PONDERADA en ARGIS, donde se incluyen las diferentes variables reseñadas anteriormente, dando como resultado amplias zonas de susceptibilidad ALTA Y MEDIA colores (naranja y rojos) que en general coinciden con las zonas con procesos de inestabilidad identificados.

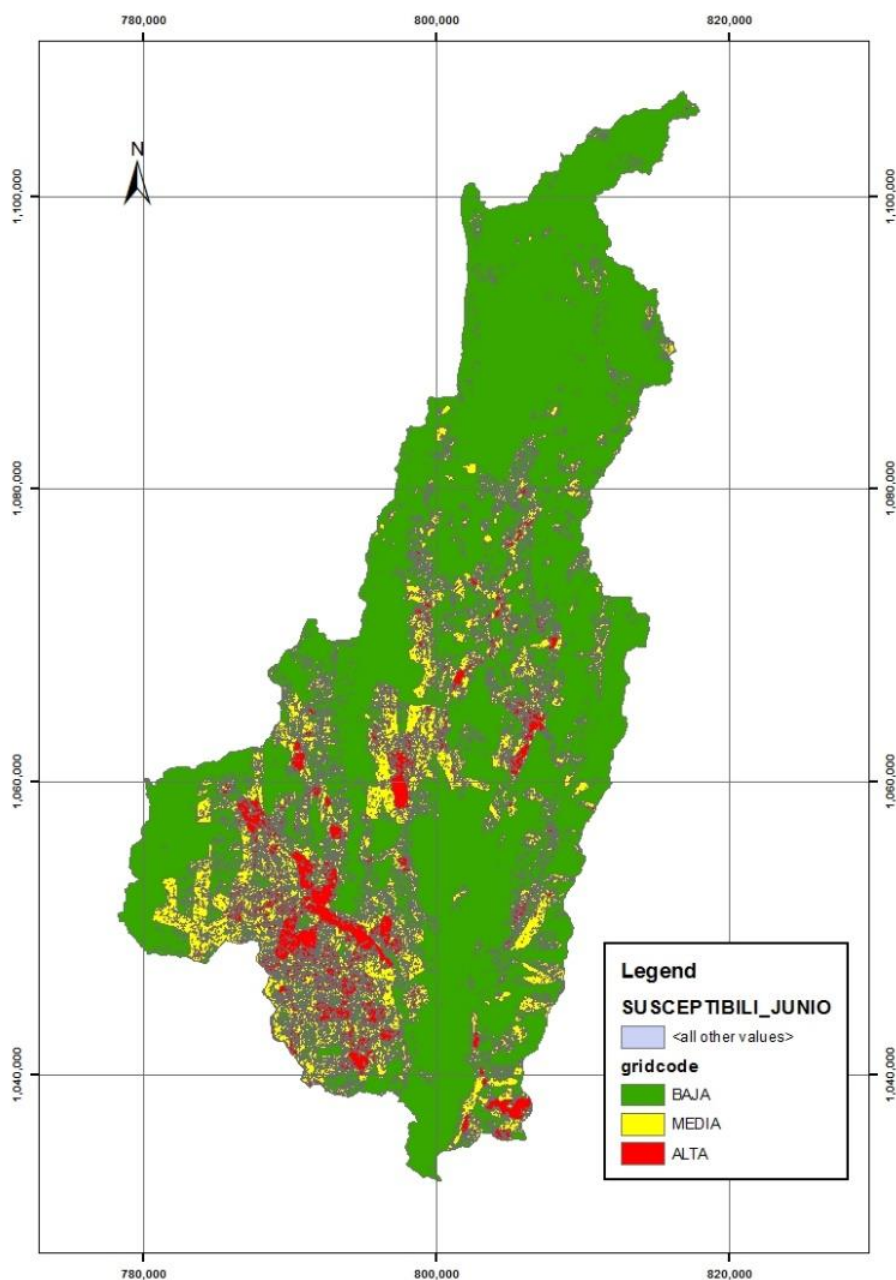


Figura 73 Mapa de susceptibilidad generado con la metodología propuesta.
 Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la siguiente tabla se relacionan los porcentajes de áreas de diversos niveles de susceptibilidad generados.

Tabla 29 rangos de susceptibilidad evaluados en la cuenca

NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA	PORCENTAJE
alto	22136,35	58,75
medio	11670,42	30,97
bajo	3870,31	10,27
	37677,08	100

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

gráfico de rangos de susceptibilidad

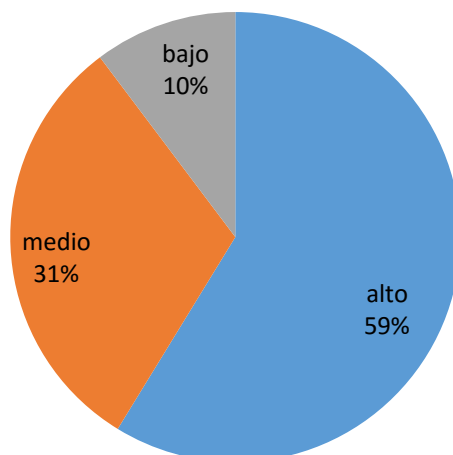


Figura 74 Porcentaje de áreas de susceptibilidad en la cuenca

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

10.10 Evaluación y zonificación de la susceptibilidad:

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 de la figura 60 indica el proceso de identificación de la susceptibilidad.



Figura 75 Diagrama para la definición de zonas críticas para evaluación de amenaza
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

10.11 Análisis histórico de eventos de inundación:

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, (Figura 61), datos que se sistematizarán y alimentarán la base de datos de la cuenca.
2. Se realiza la espacialización 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.

10.12 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.

10.13 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.

10.14 Susceptibilidad por incendios forestales:

Es entendida como aquellas 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.

A continuación se hace una estimación de cada uno de los componentes que intervienen en la susceptibilidad de la vegetación frente a los incendios de la cobertura vegetal, para luego y por medio de estos componentes estimar la susceptibilidad.

- **Duración del Tipo de Combustible Dominante:** Es entendida como la duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1 hr, 10 hr, 100 hr).

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 hora, la cual ocupa 53761,8ha y que representan el 42,8% del territorio de la cuenca. De otro lado, los valores más bajos están representados por las áreas urbanas, que ocupan 1105,18ha que representan el 0,88% del territorio.

Tabla 30. Duración del tipo de combustible dominante.

DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE	ÁREA	
	Ha	%
1 Hora	53761,8	42,80%
10 Horas	29540,92	23,52%
100 Horas	39641,25	31,56%
Áreas Urbanas	1105,18	0,88%
No Combustible	1550,89	1,23%
TOTAL GENERAL	125600,06	100,00%

Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

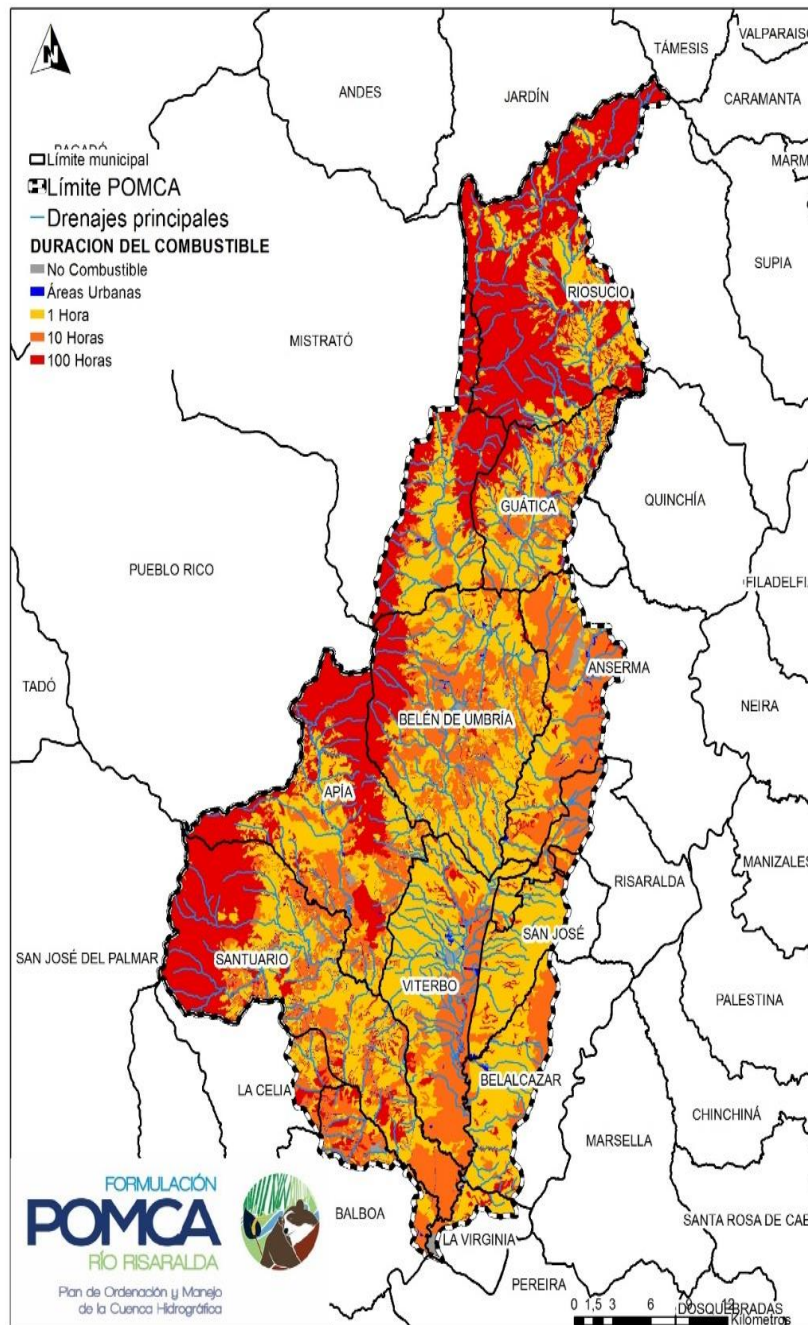


Figura 76. Duración del tipo de combustible dominante.
Fuente Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

10.15 Amenaza y zonificación de la amenaza geotécnica:

A partir del análisis de campo, y de lo evidenciado en campo, se hace un análisis geotécnico de cada una de las formaciones representativas dentro de la cuenca, con la elaboración de unas trincheras, en donde se pretende evidenciar cada una de la formaciones superficiales, sus principales condiciones geomecánicas, y así poder hacer un análisis completo del terreno.

Estas fueron tomadas de cada una de las unidades geológicas superficiales (UGS), y le fueron realizados estudios de corte directo, granulometría, humedad, presión confinada, límites de plasticidad, y a partir de estos, se realiza un análisis cuantitativo de otras variables donde se puede a partir de un raster, evidenciar en una salida cartográfica, mostrando los niveles de amenaza.

La escala cartográfica 1:25.000, alrededor de la cuenca representa niveles y escenario muy variantes de acuerdo a las condiciones que se den en el terreno, este fue analizado a partir del escenario dos, que representa las condiciones actuales (sin sismo y sin saturación de agua) lo que evidencia una amenaza alta a media en la parte media a alta de cuenca.

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, por lo tanto a continuación se realiza la zonificación para cada evento objeto de análisis en el presente proyecto.

10.16 Evaluación de la amenaza por movimientos en masa (mm):

Se realizó el análisis de la amenaza en zonas críticas (susceptibilidad media y alta) haciendo uso de métodos determinísticos para con base en el Factor de seguridad.

La evaluación de la amenaza por movimientos en masa se desarrolla a través de los siguientes pasos según lo expuesto 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):

- 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).

- Validación y calibración de la amenaza con las áreas dinámicas por procesos naturales y antrópicos existentes (F).
- Determinación de incertidumbres en la producción del mapa de amenaza

La cuantificación del factor de seguridad tiene en cuenta las fuerzas resistentes al corte y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla. Entre menor sea el factor de seguridad mayor será el potencial de inestabilidad del talud analizado (Álzate, 2012). Un análisis de estabilidad implica básicamente hacer un estimativo del modelo de falla y de la resistencia al corte; el modelo de falla requiere la predicción de las cargas que serán resistidas y el efecto del agua (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).

Se utilizó como herramienta de análisis el método el de talud infinito para las áreas de evaluación de amenazas, ya que de acuerdo con 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) y diferentes autores genera un adecuado acercamiento a la realidad del territorio en estudio para los diferentes tipos de falla probable y los proceso a generarse y asumiendo la interfaz depósito de ladera - roca como plano de falla.

Es preciso destacar que según lo evaluado en las caracterizaciones efectuadas en las zonas de susceptibilidad media y alta y para la definición de las unidades UGS, los perfiles de suelo visualizados constan de diversos niveles tales como limo vegetal, cenizas volcánicas, suelo residual y/o transportado, roca parcialmente alterada y hacia la base la roca fresca; esto determina que algunas zonas se encuentran cubiertas por cenizas volcánicas las cuales suprayacen suelos residuales y saprolitos de roca.

Lo anterior determina que en el análisis a realizar el contacto de las cenizas con el nivel infrayacente, no corresponde con el contacto con la roca y según la metodología planteada solo se puede incluir el nivel superior como UGS superficial; de acuerdo con lo anterior se asumirá el contacto formación superficial con el nivel infrayacente como potencial superficie de falla así este no corresponda con el contacto con el substrato rocoso, situación que no corresponde con lo evaluado en nuestra zona ya que tenemos un perfil de meteorización variable donde podemos tener una secuencia de diversos niveles de cenizas volcánicas, saprolito de rocas, roca parcialmente alterada y roca sana, lo que determina que podemos tener diversos tipos de análisis para cada superficie de contacto pero la metodología solo asume la primera capa presente.

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.

10.17 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 77 Mapa de Amenaza Sísmica expresado como valores de A_a 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).

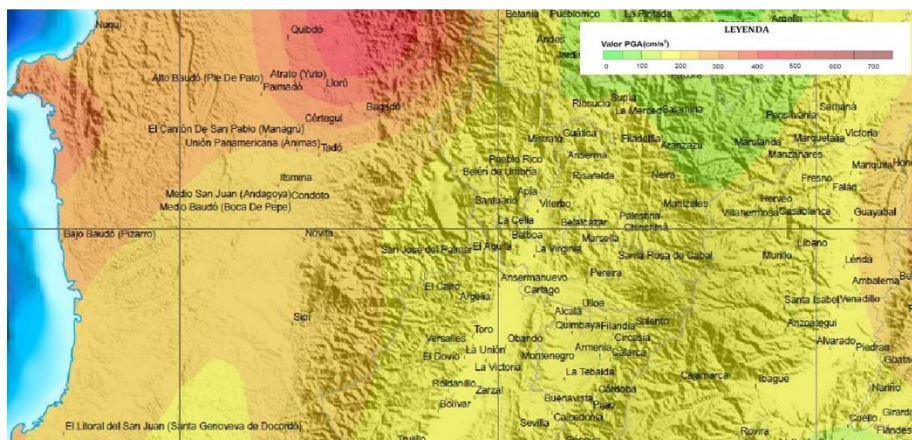


Figura 78 Mapa de Amenaza Sísmica expresado en rangos de isoaceleraciones en roca para un período de recurrencia de 475 años, incluyéndose el área de la cuenca hidrográfica del Río Risaralda, conforme a la NSR-10
Fuente:(Geoportal SGC).

10.18 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.