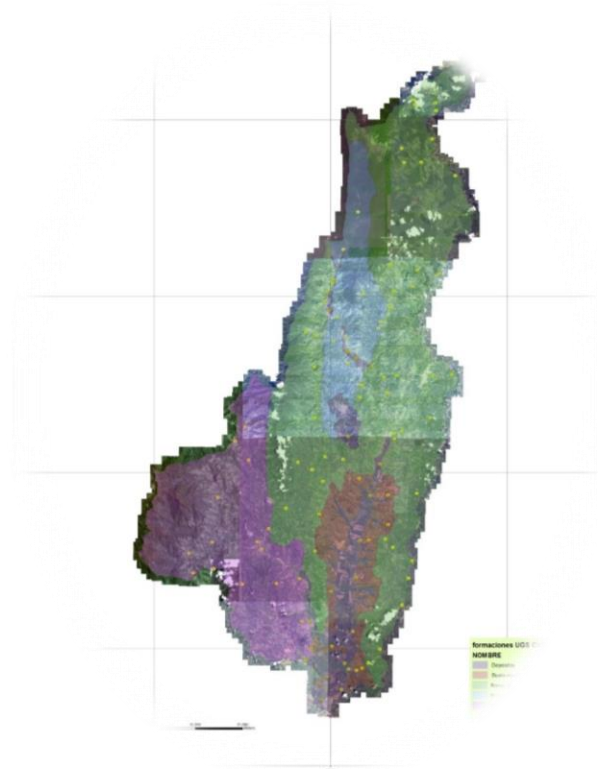


III. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO- BIÓTICO



III-2. GEOLOGÍA

ABRIL 2017

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 CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	6
1.1. RESUMEN	6
1.2. GENERALIDADES DEL ÁREA	7
2. GEOLOGÍA.....	12
2.1. GEOLOGÍA BÁSICA CON FINES DE ORDENACIÓN DE CUENCAS	12
2.1.1. <i>Introducción</i>	12
2.1.2. <i>Resumen</i>	13
2.1.3. <i>Metodología</i>	14
2.1.4. <i>Marco geológico regional</i>	24
2.1.5. <i>Litoestratigrafía</i>	26
2.1.6. <i>Unidades litoestratigráficas de la cuenca del río Risaralda</i>	30
2.1.7. <i>Conclusiones y Dominio Geológico</i>	50
2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	51
2.3. DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO DE UNIDADES LITOLÓGICAS	53
2.3.1. <i>Densidad De Fracturamiento asociado a Elementos Estructurales (Fallas y Pliegues)</i> 54	
2.4. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.....	58
2.5. MAPA GEOLOGÍA BÁSICA PARA INGENIERÍA (UGS).....	59
2.5.1. <i>Elaboración del mapa de geología para Ingeniería (UGS-Cualitativo)</i>	62
2.5.2. <i>Consolidación del Mapa preliminar de UGS y selección de sitios de muestreo para control de campo</i>	64
2.5.3. <i>Actividades de Campo</i>	67
2.5.4. <i>Análisis de laboratorio</i>	70
2.5.4.1 <i>Suelos (UGS)</i>	70
2.5.4.2 <i>Rocas (UGS)</i>	76
2.5.4.3 <i>Parámetros geomecánicos del material</i>	77
2.5.4.4 <i>Determinación de módulo de deformación de roca “Rock Mass deformación Modulus”</i>	78
2.6. MAPA DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA (UGS CUANTITATIVO).....	81
2.6.1. <i>Transportadas (st)</i>	82
2.6.2. <i>Translocados (str)</i>	84
2.6.3. <i>Residual (sr)</i>	84
2.6.3.1. <i>Análisis comparativo de UGS con base a los resultados de laboratorio</i>	87
2.6.4. <i>Rocas</i>	89
3. RECOMENDACIONES.....	94
4. CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFÍA.	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Identificación de sitios de interés prioritarios con base a la Fotogeología para geología básica	18
Figura 2 Análisis de fotografías aéreas detallando las Unidades Geológicas presentes. Obsérvese los puntos en color verde que representan los puntos de control de campo planteados.....	20
Figura 3 Punto de control Geológico. Vía Balboa.....	22
Figura 4 Esquema de las actividades desarrolladas para Geología.....	23
Figura 5 Relación de unidades litoestratigráficas en el contexto del POMCA del río Risaralda	25
Figura 6 Reconocimiento de unidades cronoestratigráficas de la cuenca del Río Risaralda (SGC).	28
Figura 7 Esquema del mapa Geología Regional de la Cuenca del Río Risaralda Escala 1:100.000 con disposiciones estructurales (Rumbo/Buzamiento)	29
Figura 8 Mapa de unidades litológicas de la cuenca del Río Risaralda, con fines de ordenamiento. Escala 1:25.000.	31
Figura 9 Afloramiento Gabros de Anserma, vía sector Puente Lázaro-Anserma. Explotación de agregados pétreos.....	33
Figura 10 Afloramiento de suelos residuales lateríticos de la Formación Barroso, vía San José-Risaralda	35
Figura 11 Afloramiento de lodolitas silíceas de la Formación Penderisco, vía La Virginia-Apía	39
Figura 12. Afloramiento de la Formación Combia hacia la parte alta de la cuenca; sector Río Oro – Rubí.....	43
Figura 13 Porcentaje de unidades geológicas en la cuenca	50
Figura 14 Grado de Actividad de Fallas.	55
Figura 15 Mapa estadístico para densidad de fracturamiento.....	57
Figura 16 <i>Diagrama del proceso para la obtención del producto mapa de geología para Ingeniería (UGS cualitativa)</i>	61
Figura 17 Mapa Cualitativo de unidades superficiales UGS. Escala 1:100.000.....	63
Figura 18 Análisis de sensores remotos y ubicación de puntos de control para UGS (puntos verdes). Escala 1:100.000.....	66
Figura 19 Exploraciones del subsuelo mediante trincheras para obtención de muestras.	71
Figura 20 Porcentaje de muestreos en suelos.	73
Figura 21 Suelo residual de rocas ígneas básicas como materiales superficiales.....	75
Figura 22 Rocas sedimentarias como unidades superficiales existentes. Sector Oeste del área ...	75
Figura 23 Medición de la resistencia de la matriz rocosa con el martillo Schmidt	77
Figura 24. Gráficos arrojados por el software RocLab.	80
Figura 25 Porcentaje de las UGS en la cuenca.....	91
Figura 26 Esquema de las actividades desarrolladas para Unidades superficiales UGS	92
Figura 27 Protocolo de transporte muestras para laboratorio	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos básicos de la cuenca del río Risaralda	9
Tabla 2 Cubrimiento y calidad de la información	16
Tabla 3 Información Cartográfica Compilada	16
Tabla 4 Unidades litológicas principales de la cuenca hidrográfica río Risaralda (SGC)	27
Tabla 5 porcentaje de unidades geológicas de la cuenca	49
Tabla 6 Datos estructurales tomados en la cuenca del río Risaralda, a partir del control litológico realizado para el levantamiento del mapa geológico del área de estudio, escala 1:25.000 ..	53
Tabla 7 Caracterizaciones en formaciones superficiales realizadas.	69
Tabla 8 Caracterizaciones en Rocas mediante resistencia usando martillo Schmidt	70
Tabla 9 Unidad Geológica Superficial, clasificación según Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo.....	72
Tabla 10 caracterizaciones de suelos	74
Tabla 11. Resistencia de la matriz rocosa.....	76
Tabla 12 Parámetros geomecánicos para rocas.	79
Tabla 13 Formaciones Superficiales UGS en la cuenca	90

ANEXOS

- Anexo 1 Mapas y salidas cartográficas
- Anexo 2 Puntos de control geológico y geomorfológico
- Anexo 3 Caracterizaciones de UGS
- Anexo 4 Ensayos de laboratorio y protocolo de transporte
- Anexo 5 Ensayos macizos rocosos
- Anexo 6 Perfiles estratigráficos
- Anexo 7 Registro fotográfico

1. INTRODUCCION.

En los procesos de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas el componente de gestión del riesgo en la planificación territorial se constituye en un insumo vital para la prevención y control de la degradación de los recursos naturales, hídricos, y condiciones económicas y sociales del área. Para una correcta evaluación de dicho componente se requiere del análisis geológico de la zona que permita definir las unidades presentes y que se convierten en el insumo para la determinación de susceptibilidad ante diversos eventos (movimientos en masa, inundaciones e incendios forestales).

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

Se incluyen los apartes de Geología, Unidades Geológicas Superficiales UGS y geología estructural.

1.1. Resumen

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

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

Se registran en la cuenca del Río Risaralda unidades litológicas que corresponden a stocks gabroides a lo largo del Sistema de Fallas Cauca-Romeral y secuencias volcanosedimentarias, cuya depositación se inicia en el Cretáceo temprano y se

prolonga hasta el Paleoceno. Adicionalmente, se encuentran rocas de composición monzonítica a tonalítica del Cenozoico temprano, además de intrusivos subvolcánicos de composición andesítica o dacítica.

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

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

1.2. Generalidades del área

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

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

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

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

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

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

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

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

En la Tabla 1 se presentan los datos básicos de las generalidades que presenta la cuenca del Río Risaralda.

Tabla 1 Datos básicos de la cuenca del río Risaralda

DATOS BÁSICOS CUENCA RÍO RISARALDA		
ASPECTOS	DESCRIPCIÓN	
Geográficos	Departamento	Risaralda y Caldas
	Municipios	Los municipios que tienen jurisdicción dentro del POMCA de Risaralda, son para el departamento de Caldas: Anserma, Belalcázar, Riosucio, Risaralda, San José y Viterbo. En el departamento de Risaralda son los municipios en cuenca son: Apía, Balboa, Belén de umbría, Guática, La Celia, La Virgen, Mistrató y Santuario.
	Área	La cuenca del río Risaralda ostenta un área total de 125.600 ha., de las cuales 51.281,32 ha. Corresponden al departamento de Caldas y el resto 74.318,32 ha. Al departamento de Risaralda.
	Ubicación espacial	La cuenca hidrográfica del río Risaralda se desarrolla en el flanco occidental de la cordillera Central, entre las coordenadas 777,000W y 817,000W, y las coordenadas 1°034,000N y 1°105,000N, en los departamentos de Caldas y Risaralda, donde el 60 % corresponde al Departamento de Risaralda y el 40 % al de Caldas; tiene un área de drenaje de 1470 km², hasta su desembocadura en el Río Cauca, y se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental.
Fisiográficos	Zona Alta	Hacia la parte alta de la cuenca, se encuentran las zonas del sector de Riosucio, que representa la menor parte del área, con condiciones altas de susceptibilidad, cabe destacar que la mayor afectación del municipio de Mistrato se encuentra en zona rural, afectando también la zona urbana, condicionadas por usos del suelo y pendientes altas, hacia el municipio de Guática, parte alta.
	Zona Media	La parte media de la cuenca, corresponde principalmente hacia el casco urbano del municipio de Santuario, y veredas aledañas como el sector de marina. Representando el municipio de tiene mayor susceptibilidad.
	Zona Baja	La parte baja de la cuenca, a pesar de tener condiciones topográficas correspondiendo a valles, espinazos y Peneplanicie, presenta condiciones altas susceptibles en su mayoría por los lineamientos y fallas que se presentan dentro de la cuenca.
Hidrográficos	Nacimiento	Arroyohondo a una altura de 3.250 m.s.n.m.
	Desembocadura	Río Cauca a los 900 m.s.n.m.
	Afluentes (Subcuencas).	R. Risaralda, R. Mapa, R. Arroyohondo, R. Guática. Q. Serna, Q. Chapatá, Guarne, Q. Samaria, R. Totuí, Q. el Águila (Q. El Guamo), Q. Apia (Alta), Peñas Blancas, R. San Rafael, R. del Oro.
Clima	Temperatura	El clima de la cuenca es cálido y húmedo, en virtud de su localización en el valle interandino de los ríos Risaralda y Mapa. Tiene una temperatura media máxima de 24°C que se encuentra en la cota 900 m en el valle del Río Risaralda, al tiempo que se registra una temperatura mínima de 6°C en el cerro de Tatamá. Como consecuencia de las variaciones de temperatura altitudinales. La variedad altimétrica de la Cuenca influye de manera directa sobre el régimen de distribución de las lluvias, la temperatura y la humedad del territorio.

		La región presenta una gran variedad de climas, desde las zonas bajas con temperaturas superiores a 22° C, en la planicie del Valle del Cauca, hasta zonas más altas, con temperaturas medias de 15° C en la zona montañosa. La parte alta de la cuenca, se presentan temperaturas medias de 14 ° posteriormente hacia la parte media de la cuenca la temperatura promedio de 22 °C y hacia la parte baja se presentan valores que oscilan entre 26 y 30 °C.
	Precipitación	La precipitación media anual para la cuenca es de 2.086 mm, con valores que oscilan entre los 2900 y 1600 mm. La cuenca se caracteriza por presentar dos periodos de relativa sequía y dos periodos húmedos. Esta distribución corresponde a un régimen de precipitación tipo ecuatorial (bimodal) con influencia mitigada de los alisios norte que penetran en la región desde Chocó por el boquerón que corta la Cordillera Occidental entre los cerros Tatamá y Caramanta, influencia ésta que se advierte porque el periodo seco de principio de año es más prolongado que el de mitad de año.
	Humedad	La humedad relativa, al igual que la precipitación crece en la medida en que asciende por las montañas que limitan la cuenca presentando valores medios que, en su mayoría, oscilan entre 70% en los meses secos (enero a marzo) hasta 85% en los periodos en que aumentan las lluvias (mediados de abril hasta mediados de noviembre).
	Evaporación	La evaporación en la cuenca del río Risaralda, hacia la parte alta se presentan valores de 950 mm, hacia la parte media valores de 1200 mm y hacia la parte baja valores de 1400 mm
	Radiación Solar	En la estación La Camelia, se registran valores medios mensuales multianuales que oscilan entre 110 horas en el mes de abril (el menor valor) y 160 horas en el mes de agosto (el mayor valor), se observa un comportamiento bimodal.
Vegetación	Usos y Cobertura del Suelo	En la cuenca del río Risaralda las coberturas de bosque ocupan el 31,66% del área total de la cuenca, mientras que los territorios destinados a desarrollo agropecuario ocupan el 65,27% del área total de la cuenca. Para el año 2000-2004, se destaca el predominio de las coberturas naturales como: Bosque denso con 22.29%, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con 16.08% y pastos limpios con 12.67%. Para el año 2005-2009 predomina las coberturas naturales de Bosque denso con 23.56%, Cultivos permanentes arbustivos con 15.82%, Mosaico de pastos y cultivos con 11.35% y Pastos limpios con 11.33% Se destaca el incremento significativo del área de cobertura natural de Cultivos permanentes arbustivos (cultivos de café), seguido de la cobertura de Mosaico de pastos y cultivos, bosque denso y los tejidos urbanos continuos discontinuos. Las coberturas que presentaron disminución de área correspondieron a destacando la pérdida de área de Bosque abierto, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Bosque fragmentado, Tierras desnudas y degradadas y Cultivos permanentes herbáceos.
Población	Dinámica Poblacional en la cuenca.	La población de la cuenca para el año 2015 está estimada en 185.500 habitantes. La Cuenca Risaralda tiene un área de 125.600 has, y su territorio es compartido por los departamentos de Caldas y Risaralda con 6 y 220 municipios respectivamente cada jurisdicción. Está conformada por 3 veredas, 120 de Caldas y 220 de Risaralda.
	Densidad Poblacional	La densidad poblacional total promedio de la cuenca es de 147,72 hab/Km² pero como ya se dijo, este valor se desvirtúa al ser un promedio entre valores tan extremos, por tanto es necesario obtener la densidad poblacional urbana

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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2. GEOLOGÍA

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

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

2.1. Geología básica con fines de ordenación de cuencas

2.1.1. Introducción

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

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

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

los protocolos establecidos por el Servicio Geológico Colombiano. No obstante, es pertinente aclarar que la información levantada y presentada recoge los insumos

técnicos y temáticos del SGC a escalas 1:100.000 y 1:200.000, además del conocimiento técnico que se tiene de la cuenca a partir de la revisión de toda la información disponible en las CAR de los departamentos de Caldas y Risaralda, los municipios localizados en la cuenca hidrográfica y el levantamiento de información y controles de campo.

2.1.2. Resumen

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

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

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

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

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

2.1.3. Metodología

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

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

Los procesos de interpretación de imágenes aéreas descritas anteriormente fueron correlacionados con el DTM de la zona que permitieron definir las geoformas para establecer una correcta evaluación geomorfológica del área como se detalla a continuación siguiendo lo establecido en el Protocolo de Riesgos

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

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

2.1.3.1. Evaluación de la información Disponible (Información secundaria)

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

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

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

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

Tabla 2 Cubrimiento y calidad de la información

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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Tabla 3 Información Cartográfica Compilada

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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

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

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

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

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

2.1.3.2. Interpretación de Sensores Remotos

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

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

En el Anexo 1 y en específico en las salidas cartográficas, DBF-06, se muestran las zonas de interés prioritario, subdividido en cinco zonas, repartidas en general sobre toda el área de la cuenca, realizado con base en la densidad de eventos morfodinámicos que se presentan sobre la misma, en combinación con las condiciones del terreno tales como topografía, pendientes y densidad de fracturamiento se definen unas zonas prioritarias para iniciar la etapa de verificación y control de campo; las zonas mencionadas anteriormente corresponden específicamente al sector de Balboa y vía Santuario con aproximadamente 2 a 3 movimientos en masa por kilómetro cuadrado, la fuerte incidencia tectónica de la zona, en donde se evidencian macizos rocosos de la Formación Penderisco fuertemente deformados y cizallados. Otra zona de vital importancia es hacia el sector de Apía, en donde también se evidencia una fuerte densidad de fracturamiento caracterizado por una alta tasa de deformación, en donde se observan pliegues homoclinales y desprendimientos tipo cuña en los taludes de la Formación Penderisco, otra zona de interés prioritario se encuentra localizada entre los municipios de Belén de Umbría y Mistrató en donde se evidencia una alta concentración de procesos morfodinámicos y erosión antrópica por actividades mineras, así mismo también se evidencia una alta actividad tectónica enmarcada por lineamientos; hacia la cuchilla donde se encuentran localizados los municipios de Belalcázar y San José se identificó otra zona de interés prioritario, escogida por la presencia de cambios en la pendiente, procesos denudacionales y el dominio litológico muy marcado que presenta la Formación Barroso hacia este sector y la última zona evaluada para iniciar las actividades de campo corresponde al sector de Riosucio, en donde se observan procesos morfodinámicos, y presencia de varias unidades geológicas entre las que se destacan La Formación Combia, la Formación Amagá y la Formación Barroso.

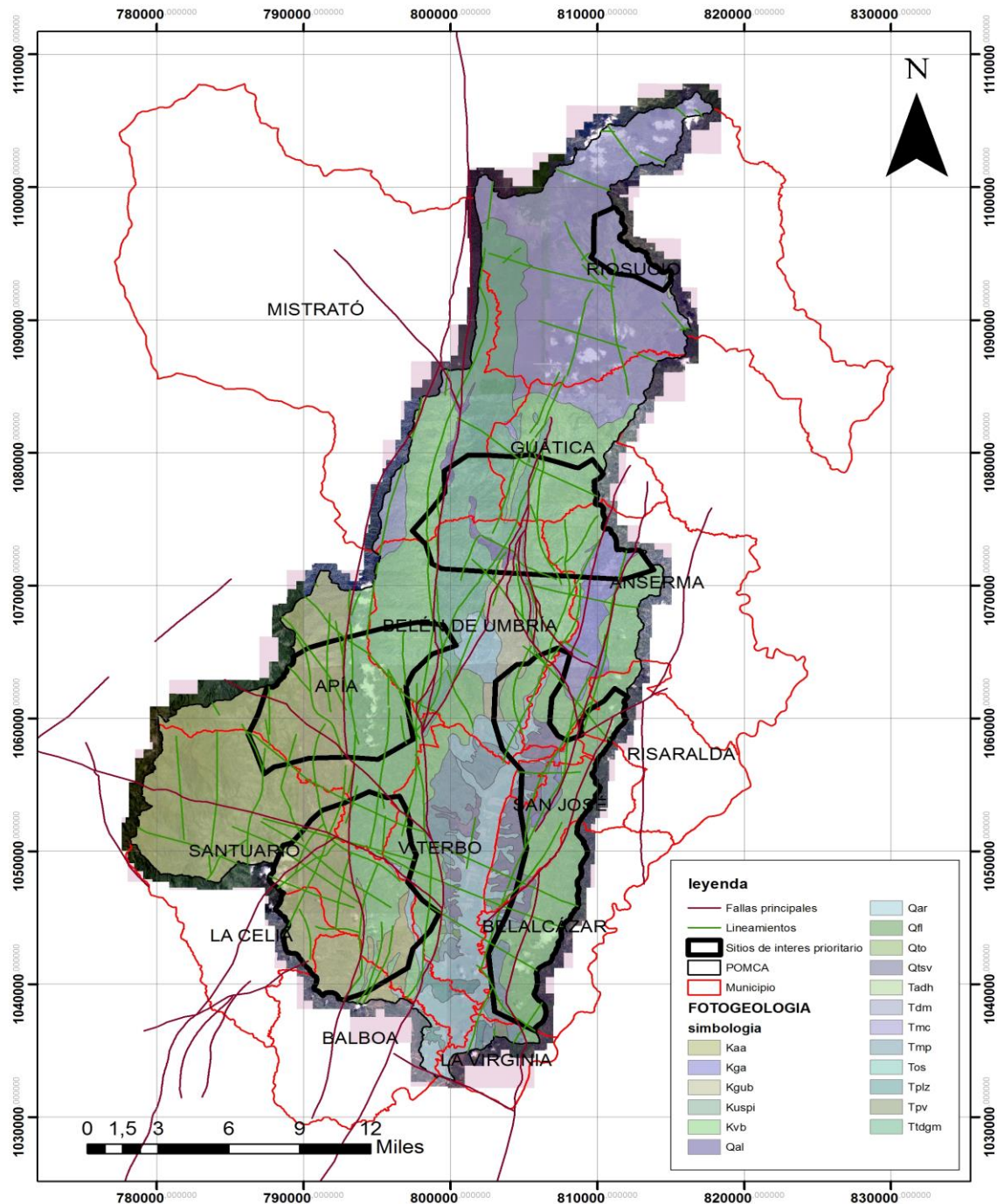


Figura 1 Identificación de sitios de interés prioritarios con base a la Fotogeología para geología básica

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

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

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

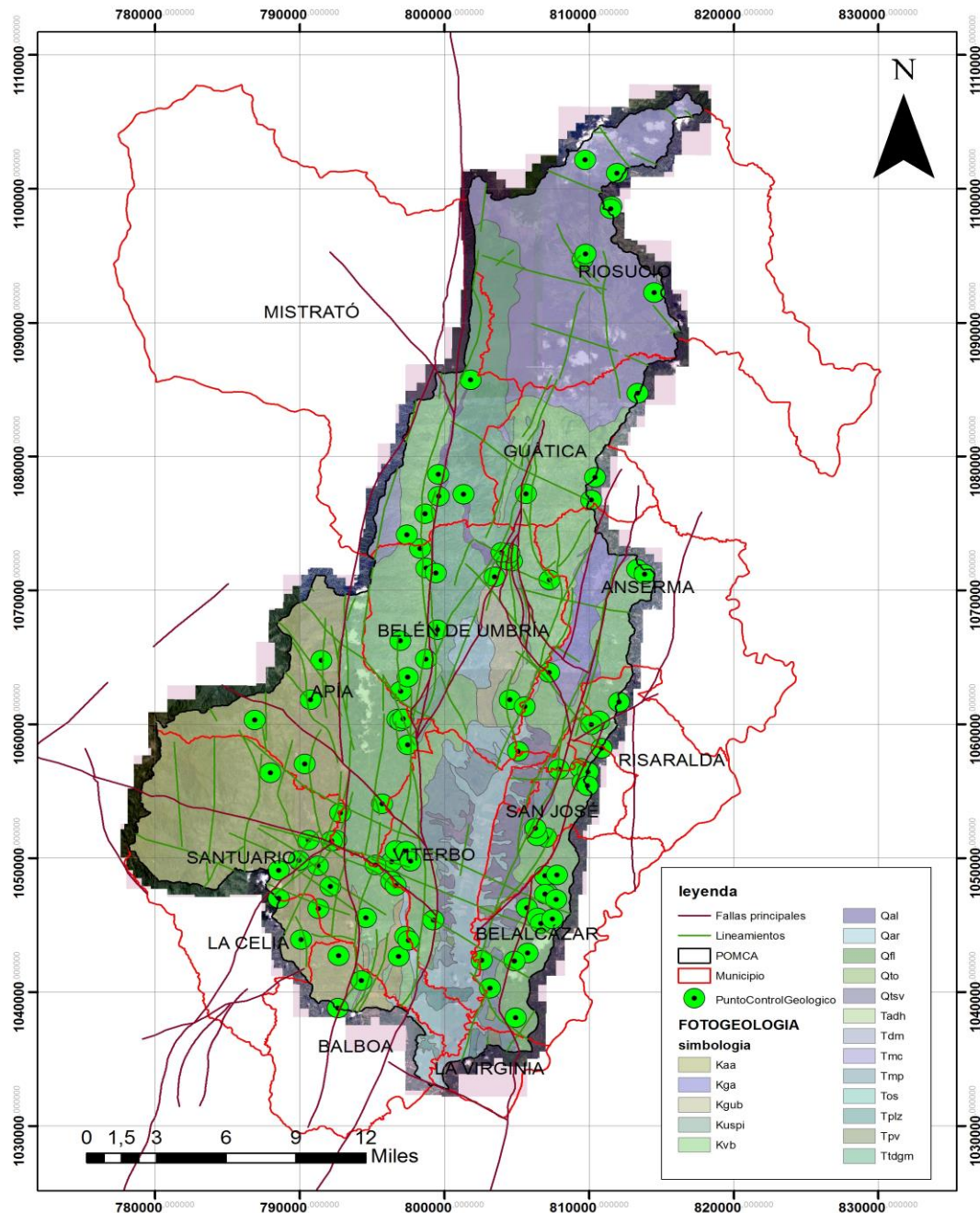


Figura 2 Análisis de fotografías aéreas detallando las Unidades Geológicas presentes. Obsérvese los puntos en color verde que representan los puntos de control de campo planteados.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda, 2016.

2.1.3.3. Control de Campo.

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

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

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

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

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

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

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

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



Figura 3 Punto de control Geológico. Vía Balboa
Fuente. Consorcio ordenamiento cuenca Risaralda, 2016

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

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

2.1.3.5. Elaboración del Informe

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

En la Figura 4 se representa el flujograma que contiene las actividades desarrolladas para el componente de Geología.

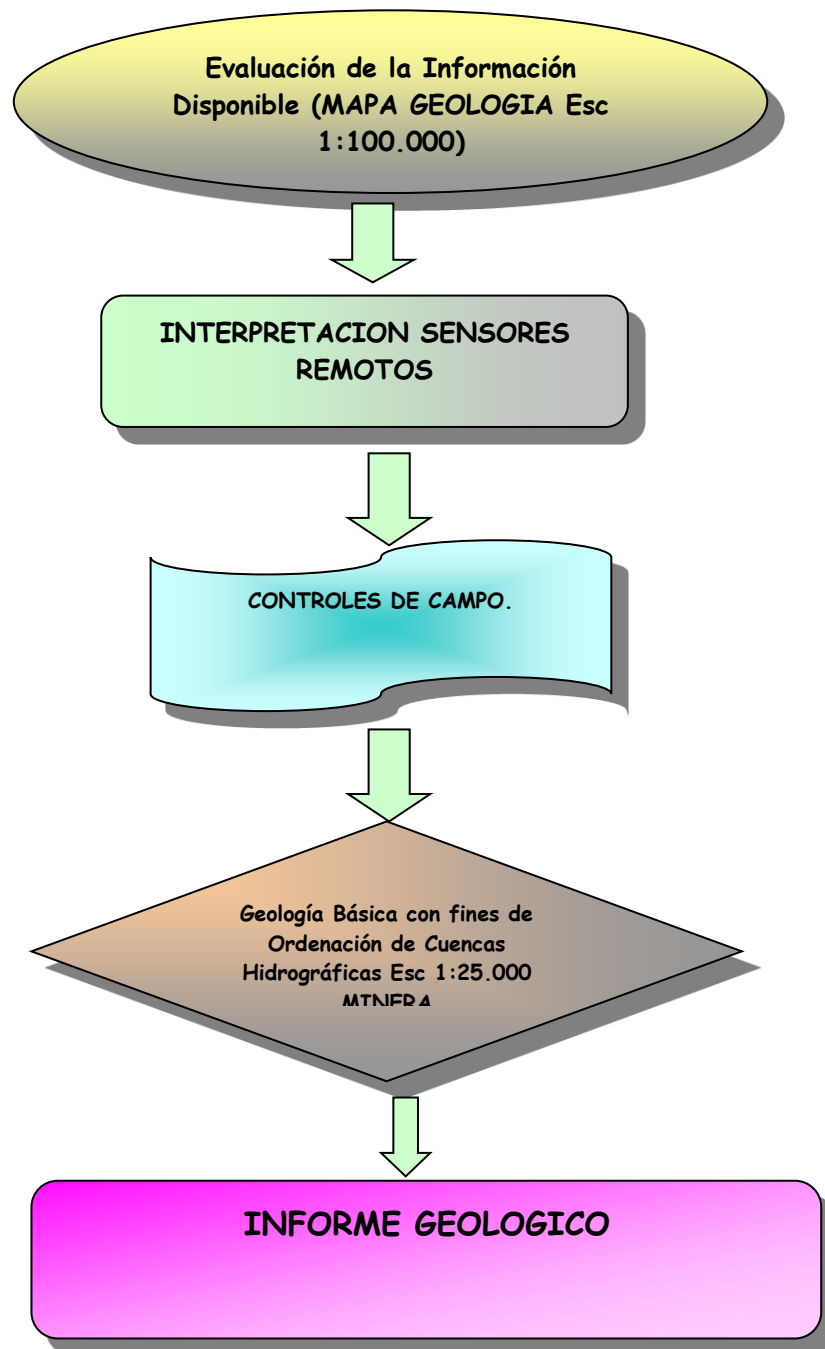


Figura 4 Esquema de las actividades desarrolladas para Geología
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.1.4. Marco geológico regional

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

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

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

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

En la Figura 5 se presenta la ubicación de la cuenca del Río Risaralda en el contexto del mapa geológico de Colombia (SGC, 2015).



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

2.1.5. Litoestratigrafía

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

- El “Atlas Geológico de Colombia” que se presenta a escala 1:100.000. Editado, compilado y simplificado con base en productos de mayor detalle cartográfico. ver Figura 5 Relación de unidades litoestratigráficas en el contexto del POMCA del río Risaralda.
- Los mapas departamentales a escala 1:200.000, para los departamentos de Caldas y Risaralda.
- Las Planchas geológicas a escala 1:100.000. Para la cuenca del Río Risaralda, se emplearon las planchas 186, 204, 205 y 224 según la denominación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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

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

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

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

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

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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Figura 6 se muestran las unidades cronoestratigráficas para la cuenca del Río Risaralda.

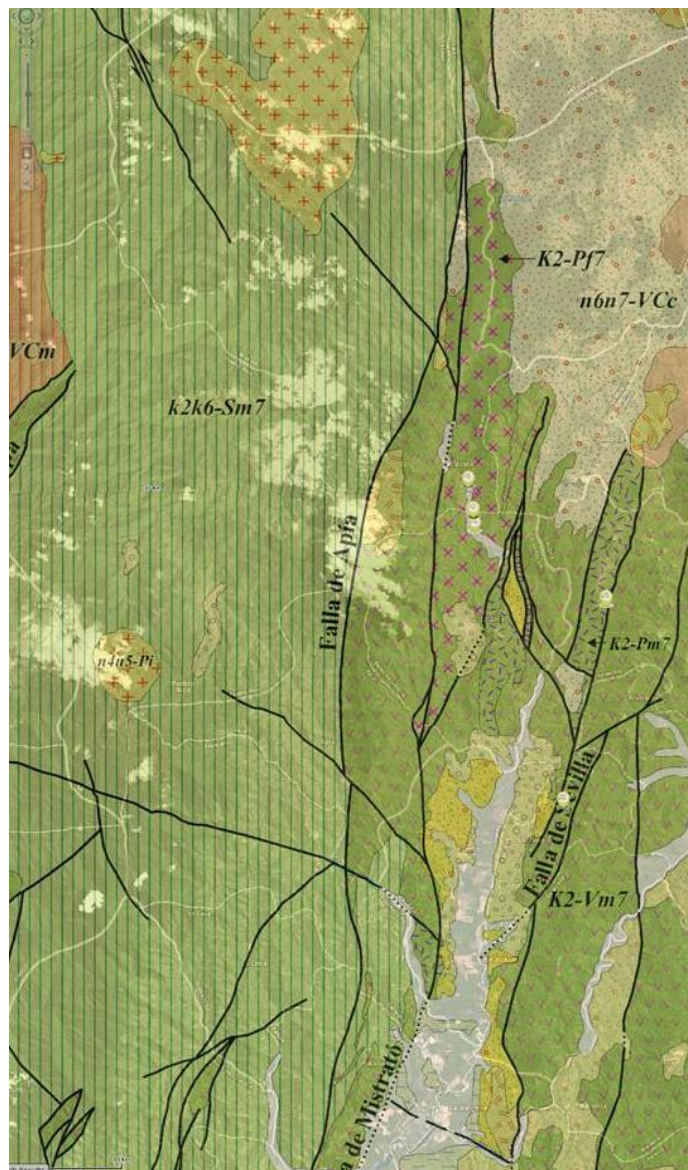


Figura 6 Reconocimiento de unidades cronoestratigráficas de la cuenca del Río Risaralda (SGC).

Fuente: Atlas Geológico de Colombia a escala 1:500.000

En la Figura 7 se presenta el esquema del mapa de Geología Regional a escala 1:100.000

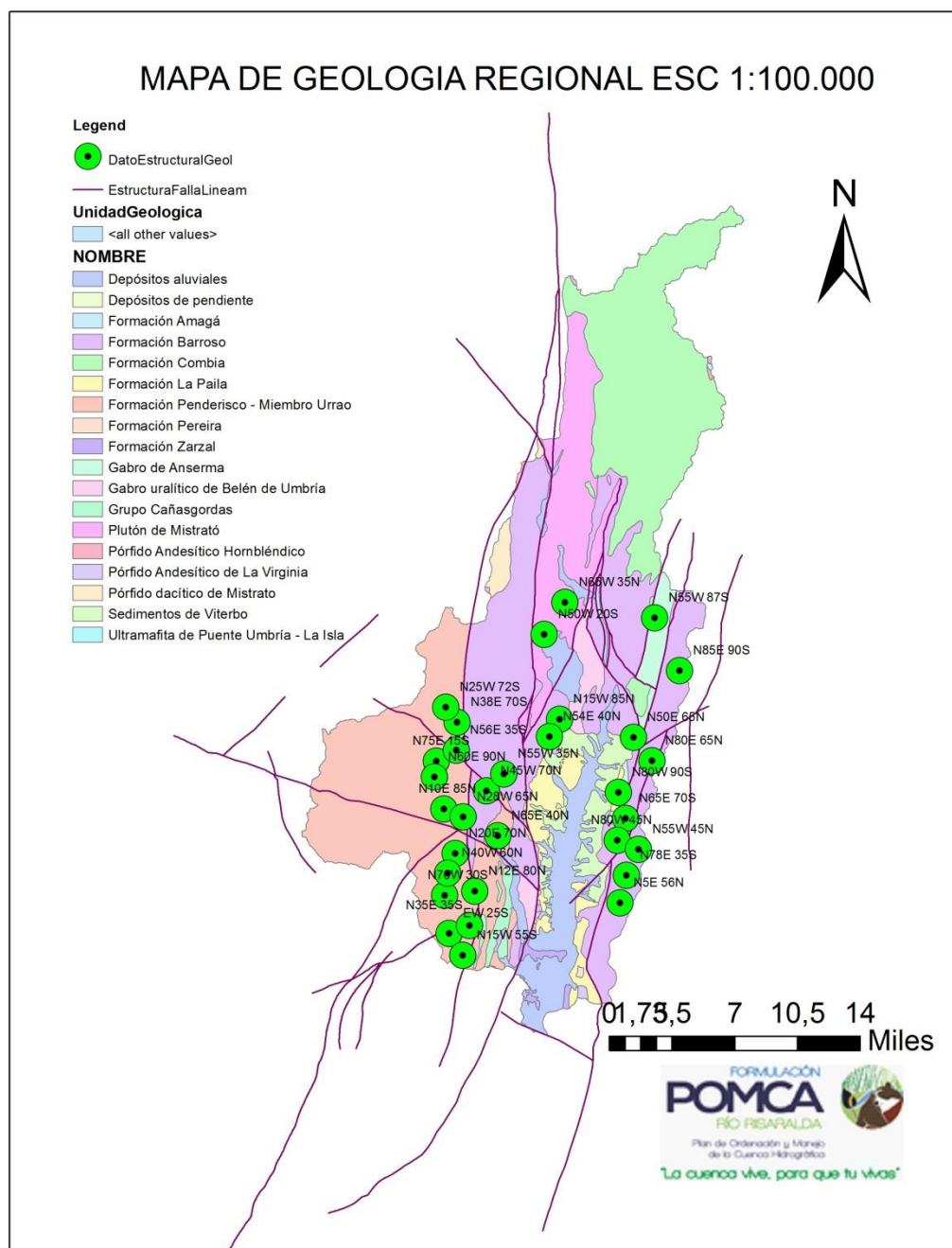


Figura 7 Esquema del mapa Geología Regional de la Cuenca del Rio Risaralda Escala 1:100.000 con disposiciones estructurales (Rumbo/Buzamiento)
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.1.6. Unidades litoestratigráficas de la cuenca del río Risaralda

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

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

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

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

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

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

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

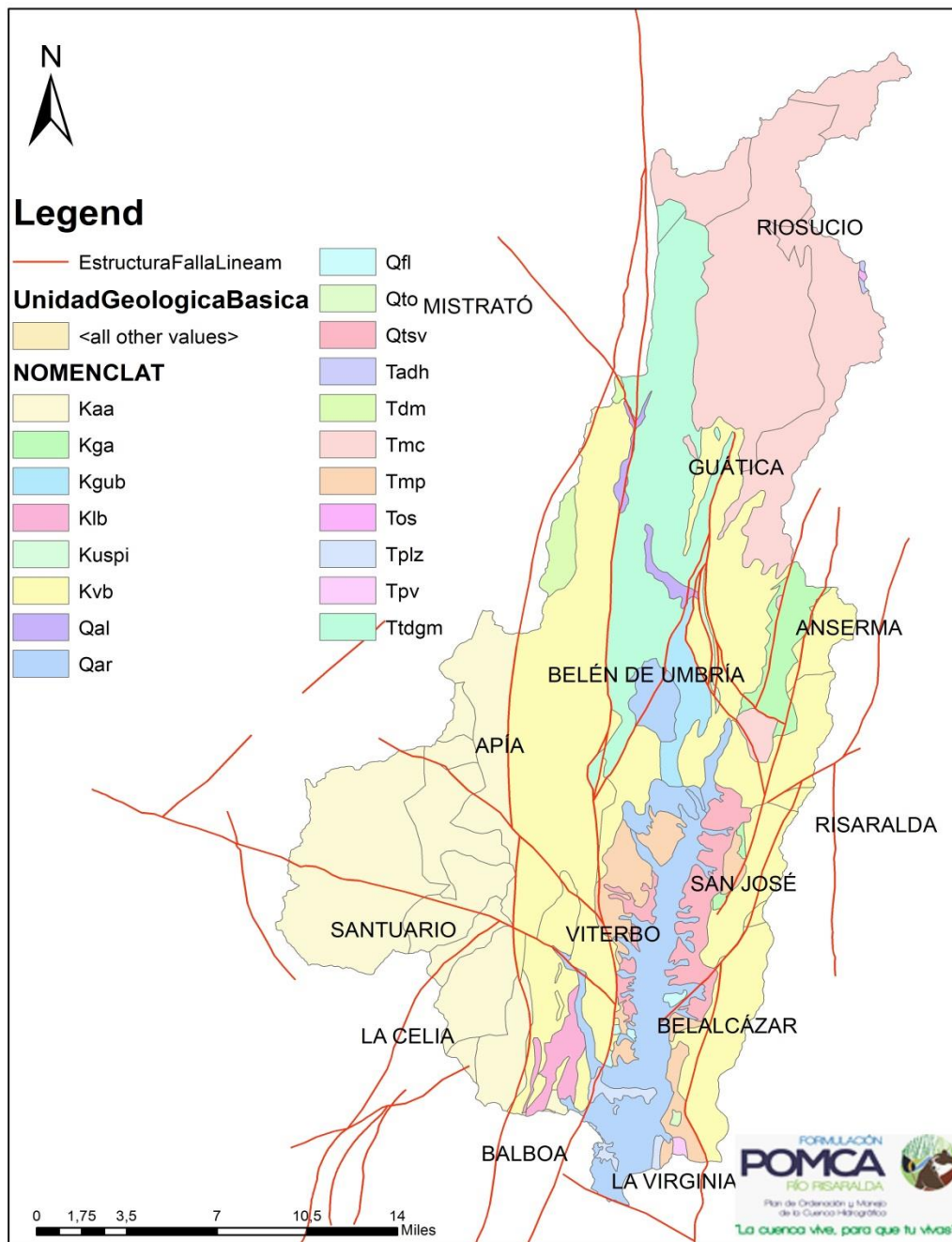


Figura 8 Mapa de unidades litológicas de la cuenca del Río Risaralda, con fines de ordenamiento. Escala 1:25.000.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.1.6.1. Rocas Ultramáficas y Máficas

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

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

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

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

- **Gabro de Anserma (Kga)**

Este cuerpo tabular de gabro que aflora cerca a las poblaciones de Anserma, Viterbo y Asia (Ver Figura 9), se encuentra asociado con peridotitas serpentinizadas, conformando una roca verde oscuro o gris oscuro a negro, de carácter masivo y grano medio a fino, cuya composición varía entre lherzolita, troctolita, gabronorita olivínica y gabro, con mineralogía consistente de plagioclasa cálcica, clinopiroxeno, olivino, ortopiroxeno y anfíbol derivado de la uralitización de piroxenos.

Dataciones K/Ar en roca total han arrojado una edad de $71 \pm 2,7$ Ma, correspondiente al intervalo Campaniano-Maastrichtiano (González & Londoño, 1998), aunque no se tiene claridad si corresponde a un evento térmico o a la edad de cristalización del cuerpo.

Vallejo Hincapié et al (2011) denomina cuerpo intrusivo básico, a la unidad básica que presenta variaciones en tamaño y composición desde microgabros, gabros y cuarzo-gabros, aflorante principalmente hacia las poblaciones de Anserma y al norte de Puente Umbría, con un área aproximada de 49 km^2 , de color gris-verdoso y tamaño de grano medio-fino; el cuerpo se encuentra en contacto intrusivo con

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

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



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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

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

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

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

2.1.6.2. Rocas Volcánicas, Plutónicas e Hipoabisales

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

- **Formación Barroso (Kvb)**

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

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

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

Esta unidad presenta un perfil de meteorización de color rojizo, la textura es generalmente limo arenosa, presenta alta densidad y consistencia firme, además desarrolla horizontes de suelo residual con espesores que varían entre 2 m a 5 m. (Ver Figura 10)



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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

- **Plutón de Mistrató (Ttdgm)**

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

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

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

éste fenómeno es muy común en el cuerpo, impidiendo obtener muestras representativas.

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

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

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

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

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

opaco finogranular en polvo asociado, mientras que la plagioclasa presenta argilización y sericitización.

- **Pórfido Andesítico Hornblendico (Tadh)**

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

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

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

2.1.6.3. Rocas Sedimentarias

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En la Figura 11 se observa un afloramiento representativo de la Formación Penderisco.

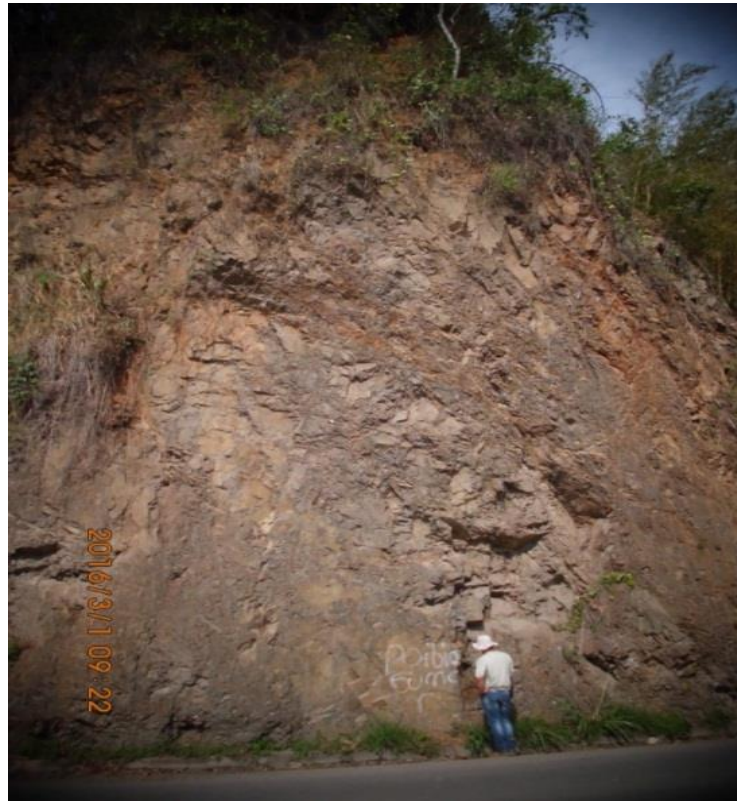


Figura 11 Afloramiento de lodolitas silíceas de la Formación Penderisco, vía La Virginia-Apía
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

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

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

- **Formación La Paila (Tnp)**

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

La consolidación de la secuencia es moderada y se presenta un deficiente sorteamiento en tamaño y forma de los fragmentos. Según información

palinológica (Van der Hammen, 1958) se le ha asignado una edad miocénica para la unidad.

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

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

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

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

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

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

También aflora en la cuenca el miembro superior de esta formación hacia el occidente y zona central del municipio de Riosucio. El miembro superior se caracteriza por la carencia completa de conglomerados y el gran predominio de areniscas que presenta una estratificación muy gruesa, son de color gris

azulado a gris verdoso cuando están frescas, a gris amarillento cuando están meteorizadas, el tamaño de grano varía de fino a medio y de poca dureza. Localmente pueden ser conglomeráticas y presentar interdigitaciones de lentes de diferente granulometría.

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

- **Formación Combia (Tmc)**

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

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

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

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

Aunque en la bibliografía disponible (González, 1980; Calle & González, 1982), para la zona de la cuenca del Río Risaralda, sólo afloraría el miembro sedimentario, conformado por conglomerados, brechas sedimentarias,

areniscas de grano medio a fino y arcillolitas intercaladas con material piroclástico, es evidente en ciertos sectores la presencia de basaltos que se pueden asociar a la unidad, tal como los aflorantes en el Río del Oro.

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

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

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

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

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

Esta unidad desarrolla un perfil de meteorización caracterizado por presentar colores pardo a amarillo, textura arcillo limosa, consistencia media, densa, fragmentos de clastos angulares de composición volcánica y espesores entre 1 a 4,5 m. (Ver Figura 12).



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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

- **Formación Zarzal (Tplz)**

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

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

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

- **Sedimentos de Viterbo (Qtsv)**

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

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

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

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

- **Formación Pereira (Qto)**

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

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

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

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

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

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

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

La unidad, se interdigita con la Formación Zarzal, y con las unidades infrayacentes del basamento de la Formaciones Barroso, Formación Cinta de Piedra, Complejo Arquía y algunos cuerpos volcánicos básicos e intermedios,

con contactos discordantes. De igual forma, la secuencia es suprayacida en discordancia por depósito de caída piroclástica (Cardona y Ortiz, 1993).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 5 porcentaje de unidades geológicas de la cuenca

EON	ERA	PERIODO	EPOCA	NOMBRE	NOMENCLATURA	HECTAREAS	PORCENTAJE
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	Cenizas y flujos de escombros	Qfl	11293,48	18,97%
				Depósitos aluviales	Qar	9166,61	5,17%
					Qal	721,92	3,45%
				Formacion Pereira	Qto	51,65	1,72%
				Formacion Zarzal	Tplz	602,99	5,17%
		Sedimentos de Viterbo	Qtsv	4068,81	8,62%		
		Neógeno-N	Mioceno-N	Formacion Amagá - Miembro Superior	Tos	24,26	1,72%
				Formacion Combia	Tmc	10913,14	10,34%
				Formacion La Paila	Tmp	3885,35	13,79%
				Plutón de Mistrató	Ttdgm	12546,14	5,17%
				Pórfido andesítico de la Virgen	Tpv	92,95	1,72%
				Pórfido Andesítico Hornbléndico	Tadh	48,63	3,45%
				Pórfido dacítico de Mistrató	Tdm	1059,95	3,45%
	Mesozoico	Cretácico-K	Superior Tardío K2	Formacion Barroso	Kvb	40752,13	1,72%
				Formacion Penderisco - Miembro Urrao	Kaa	24280,09	3,45%
				Gabro de Anserma	Kga	2393,03	5,17%
				Gabro Uralítico de Belén de Umbría	Kgub	2403,95	1,72%
				Grupo Cañasgordas	Klb	1048,84	3,45%
				Ultramafita de Puente Umbría La Isla	Kuspi	246,90	1,72%
TOTAL						125600,83	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

En la Figura 13 se observa el porcentaje de unidades geológicas presentes en la cuenca basado en el periodo del tiempo geológico.

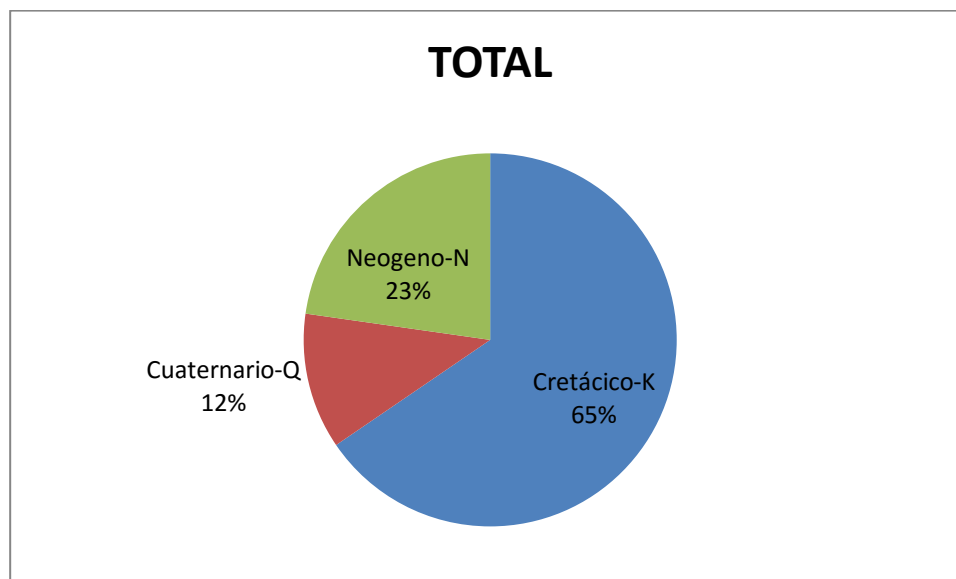


Figura 13 Porcentaje de unidades geológicas en la cuenca
Fuente: consorcio ordenamiento cuenca Risaralda 2016

2.1.7. Conclusiones y Dominio Geológico

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

Las Unidades Geológicas Superficiales UGS identificadas en la cuenca presentan un dominio de suelo residual ígneo volcánico de la Formación Barroso con el 21.33 % (29950,95 Ha) en el flanco oriental de la cuenca hacia los municipios del departamento de Caldas, seguido de suelo residual sedimentario con 10.67% (17983,44 Ha) sobre el flanco occidental de la cuenca y en específico sobre los municipios Santuario, Apía,

Balboa y La Celia y en tercer lugar por suelo residual ígneo intrusivo del Plutón de Mistrató con 12.0% (12247,21 Ha) sobre el municipio de Mistrató Risaralda; lo que establece el favorecimiento de actividades antrópicas por cambio de usos del suelo a cultivos, favorecido por el aporte de minerales al suelo por parte de dichas unidades y también por su facilidad de intervención antrópica para modificación topográfica, lo que generaría cambios notables en las condiciones actuales del sitio y por consiguiente podría presentarse adicionales factores contribuyentes a la generación de áreas inestables en el territorio. Las anteriores consideraciones permiten establecer la heterogeneidad de las características geomecánicas de los materiales existentes, denotando el carácter fino del material con índices de plasticidad muy cambiantes para cada una de las determinadas zonas.

2.2. Geología estructural

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

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

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

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

- **Falla de Mistrató**

La Falla de Mistrató cuya continuidad norte sur involucra cerca de 60 km hacia el norte del área, cruzando la mayor parte de la cuenca del Río Risaralda, sobre el flanco oriental de la Cordillera Occidental, asociándose una notable zona de

cizalla entre las poblaciones de Belén de Umbría y Mistrató, al igual que evidencias de actividad neotectónicas, como son lomos de obturación y alineamiento de cauces, valles lineares, silletas y hombreras de falla.

Hacia el sur de la población de Viterbo se atenúa, probablemente empalmándose con la Falla Toro (Caballero, H. et al., 1984; Guzmán, J. et al 1997). La Falla Mistrató establece contactos entre el Plutón de Mistrató y la Formación Barroso, generando amplias zonas de cizalla, brechamiento, milonitización y foliación

- **Falla Apía**

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

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

- **Falla Quebrada Nueva**

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

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

- **Falla Toro-La Isla**

En el sector medio de la cuenca se evidencia un contacto fallado entre el Gabro Anserma con la Formación Barroso, con una dirección NNE, y donde localmente se asocian algunos reducidos cuerpos plutónicos máficos y ultramáficos. Esta

Falla Toro-La Isla, se interpreta como la continuidad norte de la Falla Toro, que al parecer es enmascarada bajo los sedimentos del Valle del Río Risaralda entre Ansermanuevo y el sector de La Isla.

- **Falla Puente Umbría**

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

2.3. Densidad de fracturamiento de unidades litológicas

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

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

TIPO	DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES	COORDENADAS	
		N	O
diaclasa	280/vertical 265/82	5°2'3,8"N	75°48'37.9"O
diaclasa	330/85 340/55	5° 0'16.2"N	75°40'40.7"O
diaclasa	255/55 140/90 70/51 150/80	5°7'12.4"	75°46'59.2
diaclasa	215/87 280/46	4°58'34.1"	75°50'13.4"
diaclasa	EW/90 175/90	5°0'5.5"	75°49'14.3"
diaclasa	320/65 200/90	5°10'16.2"	75°48'57.2"
diaclasa	350/85 45/30	5°4'53.8"	75°49'27.2"
diaclasa	155/70	5°3'39.1"	75°49'22.8"
diaclasa	10/45 290/70 220/32	5°3'35.1"	75°49'2.9"
diaclasa	50/70	5°18'10.3"	75°47'15.4"
estratificación	115/75	4°57'10.5"	75°57'37"
estratificación	45/35	4°58'17.8"	75°58'22"
estratificación	E-W/25	5°00'37.5"	75°59'45.8"
estratificación	35/56	5°1'5.3"	75°59'2.5"

TIPO	DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES	COORDENADAS	
		N	O
estratificación y diaclasa	40/35 (estratificación) 96/90 (diaclasa)	5°2'13.6"	75°59'2.4"
estratificación	190/20	5°3'27.7"	75°57'4.1"
estratificación	40/35	4°57'21.7"	75°54'04"
estratificación	310/40	5°00'47.2"	75°54'22"
estratificación	10°/85°	5°2'27.1"	75°55'25.3"
estratificación	175/35	5°4'37.1"	75°57'16.6"
diaclasa	80/65	5°5'48.4"	75°55'37.8"
estratificación	110/70	5°29'11.6"	75°46'40.4"
diaclasa	210/75 130/21 100/70	5°31'2.3"	75°47'39.9"

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

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

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

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

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

Si bien el patrón estructural revela únicamente la expresión superficial de las zonas de falla, esta expresión es suficientemente representativa de la zona en profundidad afectada por los movimientos en masa. Así mismo, la orientación de las zonas de falla

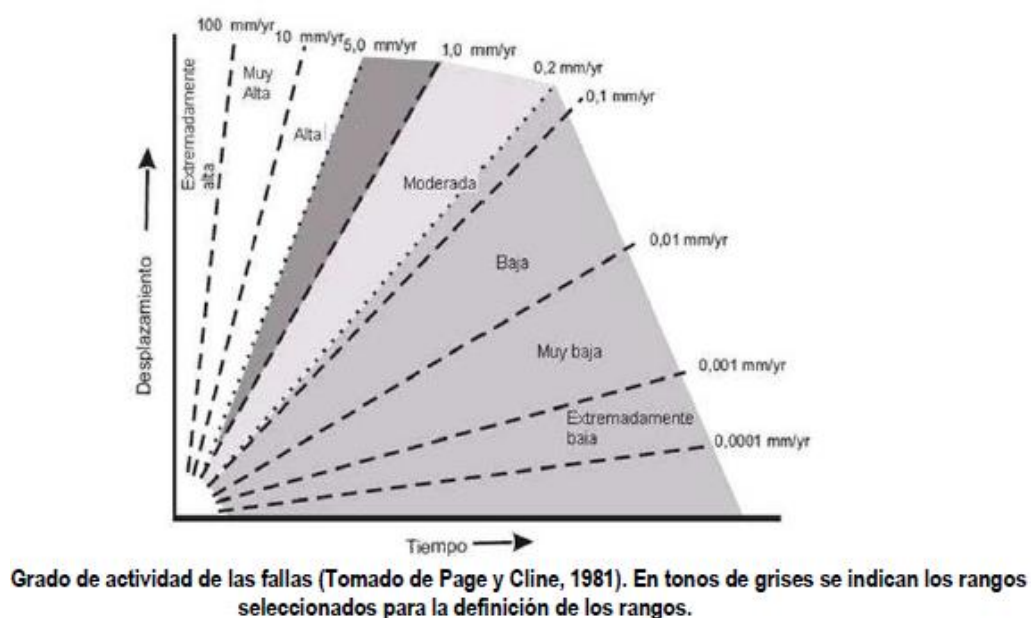
guarda una cierta relación con la orientación de los sistemas de fracturas en el nivel regional. (Metodología para la zonificación de susceptibilidad General del terreno a los movimientos en masa IDEAM 2102)

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

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

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

La Figura 14 representa el grado de actividad de las fallas a partir de la relación tiempo - desplazamiento (Page y Cline, 1981 en IDEAM 2012), la cual también es utilizada



para inferir el grado de fracturamiento.

Figura 14 Grado de Actividad de Fallas.
Fuente: IDEAM 2012.

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

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

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

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

Se efectuó un análisis estadístico para las fallas existentes denotando la mayor concentración de fallas en sitios específicos de los municipios de Santuario (sector central), Límites entre municipio de Apía y Belén de Umbría, sector Este de Belén de Umbría, hacia el Sur Oeste de Guática y al Nor Este de Risaralda como se visualiza en la Figura 15.

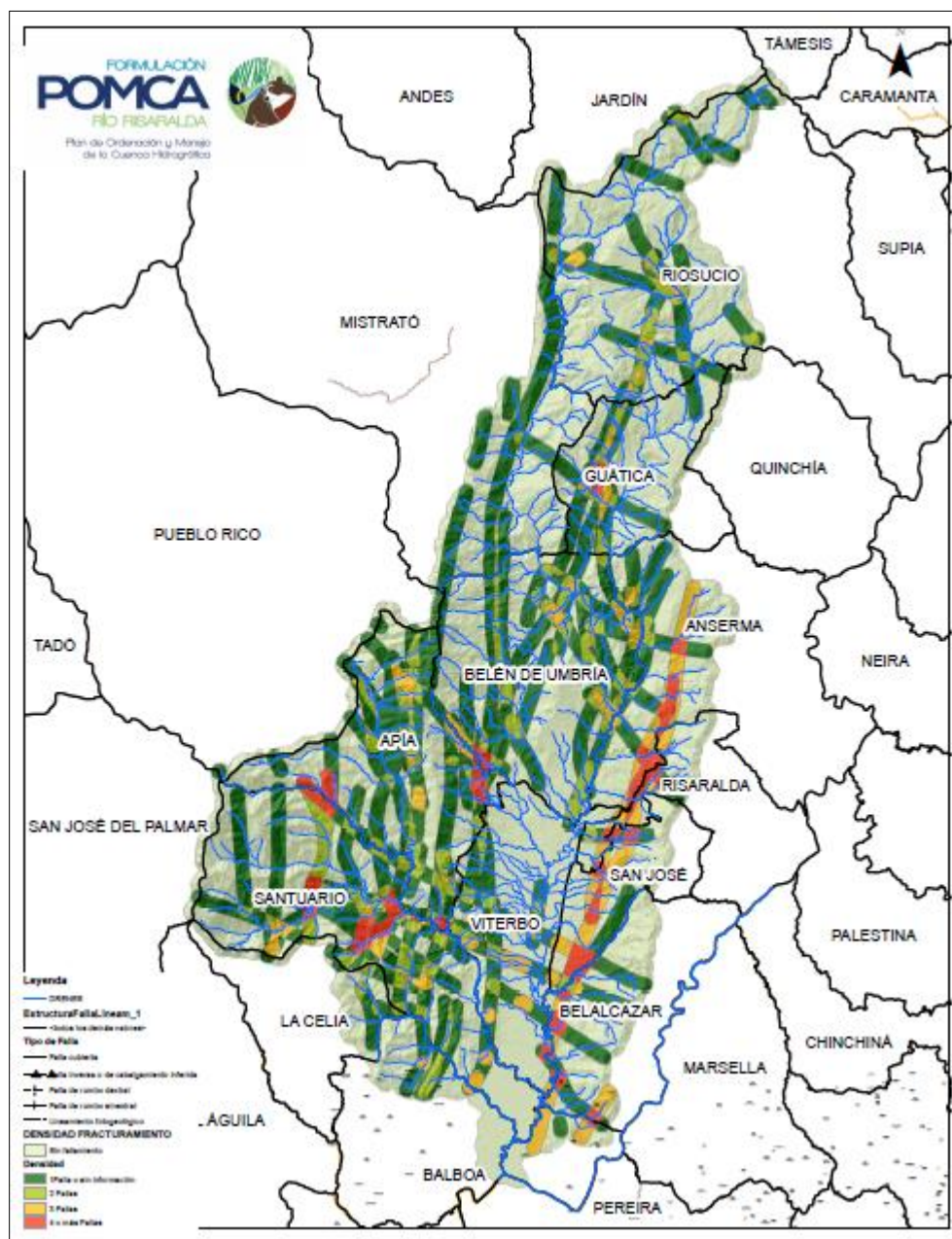


Figura 15 Mapa estadístico para densidad de fracturamiento.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.4. Evolución geológica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.5. Mapa geología básica para ingeniería (UGS)

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

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

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

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

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

y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el Anexo 2.

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

En la Figura 16 se ilustra el flujograma con la metodología empleada para la obtención del mapa de Geología para Ingeniería o UGS.

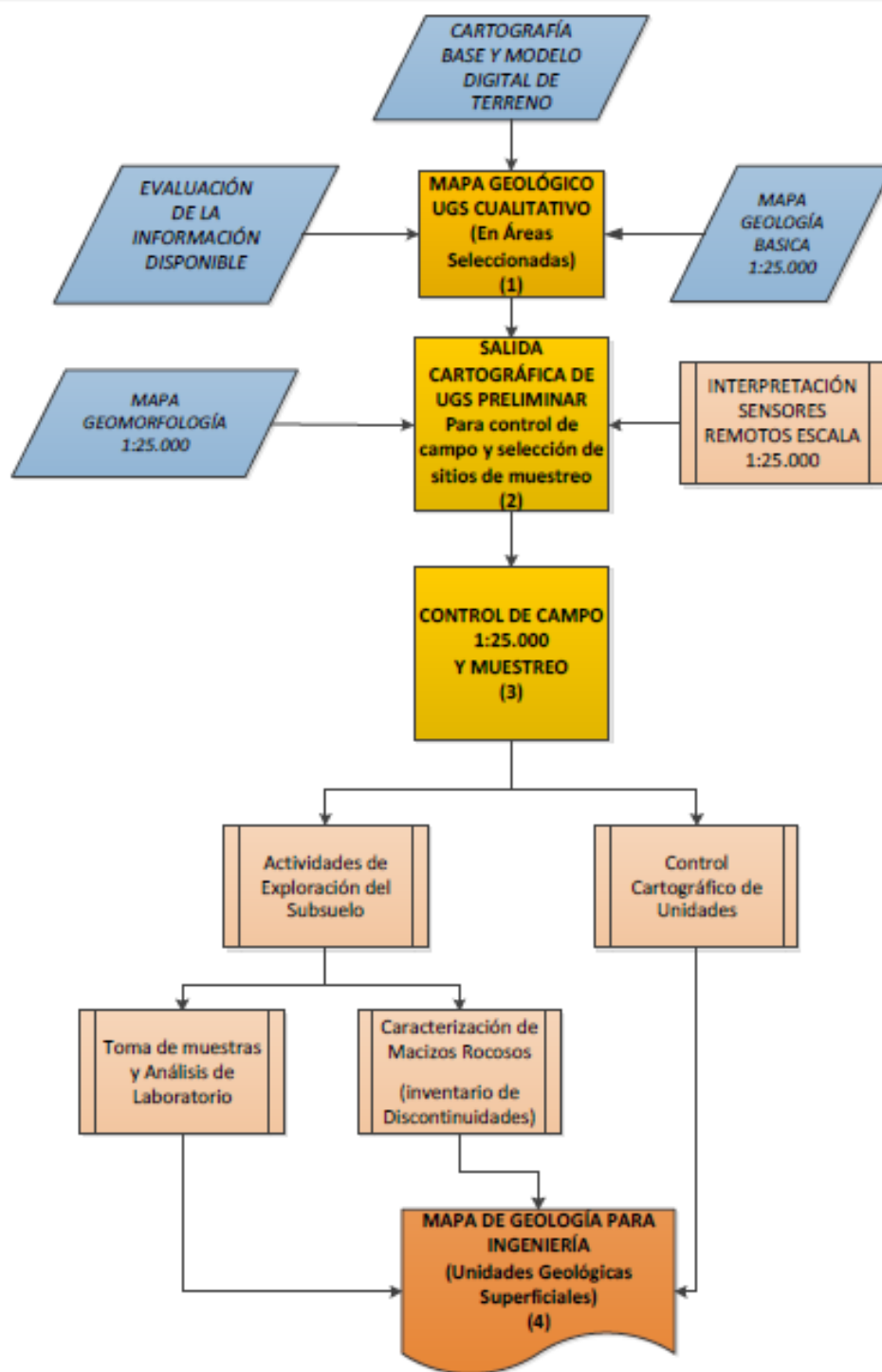


Figura 16 Diagrama del proceso para la obtención del producto mapa de geología para Ingeniería (UGS cualitativa)
Fuente Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, 2014

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

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

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

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

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

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

El resultado de esta actividad corresponde a un producto intermedio donde se resalta la existencia de rocas ígneas básicas (Formación Barroso), rocas ígneas intrusivas (Plutón de Mistrató), Rocas sedimentarias (Formación Amaga, Penderisco entre otros), suelos residuales de rocas sedimentarias e ígneas y depósitos aluviales. En la Figura 17 se remite el mapa cualitativo de USG de las unidades superficiales definidas preliminarmente.

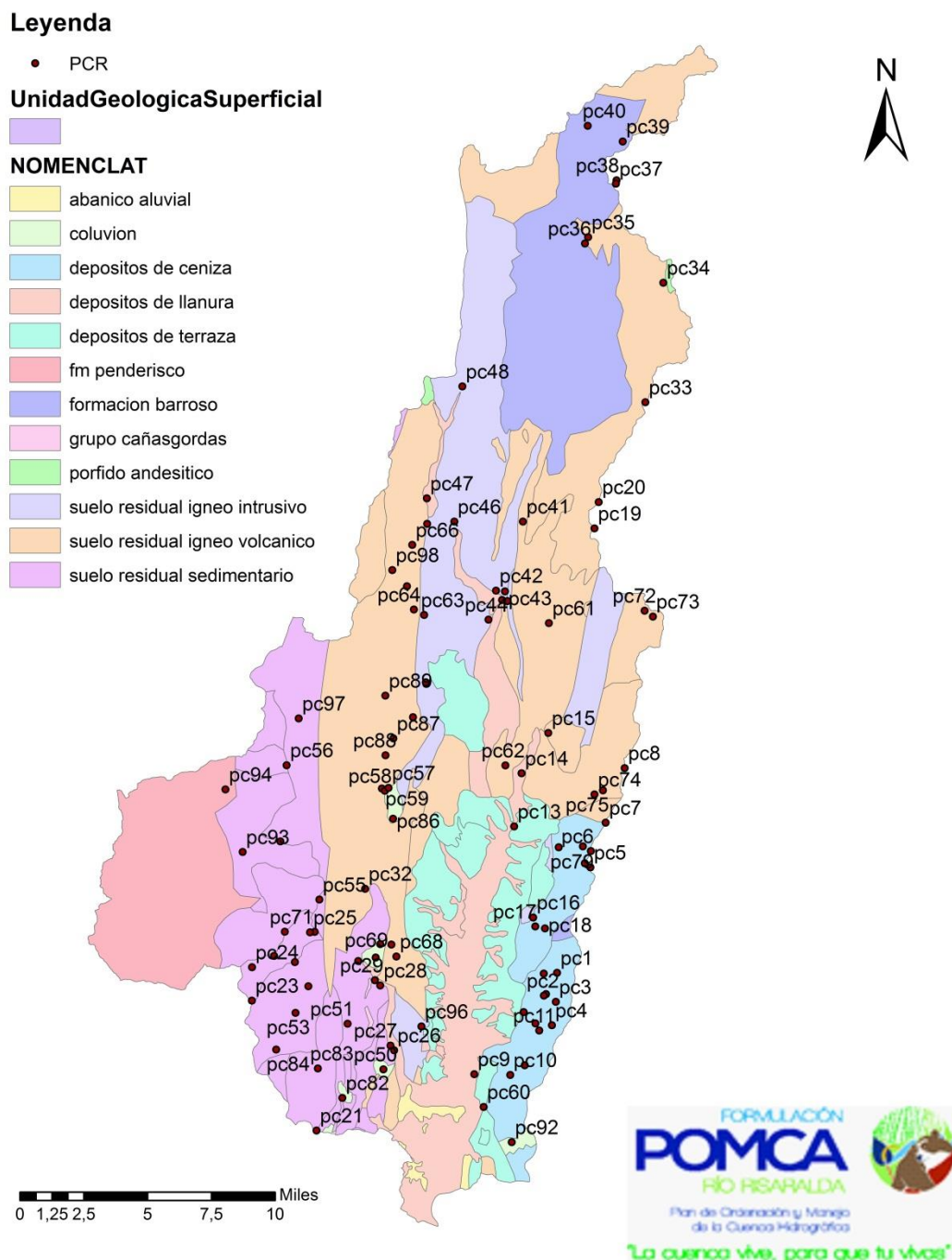


Figura 17 Mapa Cualitativo de unidades superficiales UGS. Escala 1:100.000.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

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

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

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

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

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

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

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

- **Aspectos generales del sitio tales como:** Numero de Estación, Fecha, coordenadas, altura (GPS), origen, plancha 1:25.000 y referente geográfico.

- **Tipo de Roca:** Textura, orientación, dureza, composición, discontinuidades, índice de deformación, tipo de roca, perfil de meteorización.
- **Tipo de Suelo:** Genética, Textural, consistencia, Humedad natural, discontinuidad, descripción de horizontes y referencias fotográficas.

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

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

En la Figura 18 se observa el análisis de sensores remotos realizado para iniciar los controles de campo para UGS.

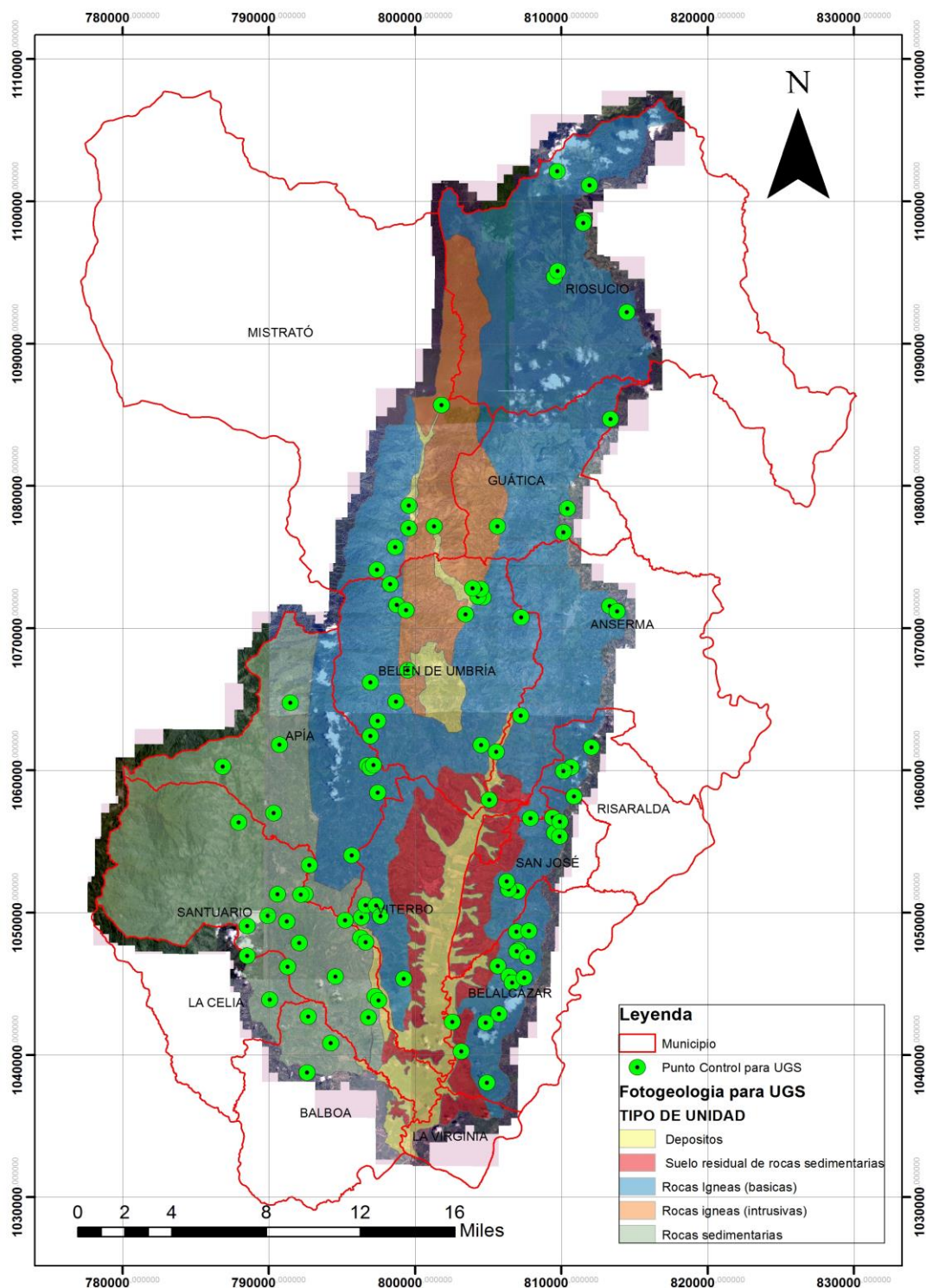


Figura 18 Análisis de sensores remotos y ubicación de puntos de control para UGS (puntos verdes). Escala 1:100.000.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

2.5.3. Actividades de Campo

Teniendo en cuenta en los datos obtenidos en las fases anteriores se realizaron los controles de campo para efectuar el control cartográfico de los materiales superficiales y a la obtención de muestras para efectuar los ensayos de laboratorio tanto para rocas (Medida de resistencia de rocas blandas en campo mediante métodos sencillos tipo penetrómetro y la dureza mediante el uso del martillo de Scmidt), como para suelos (índice de clasificación: granulometría, límites, peso unitario, humedad, parámetros de resistencia), teniendo como base los formatos y tablas establecidas en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Minambiente, Minahacienda, Fondo de Adaptación 2014)”. Ver Anexo 3.

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

En el Formato 3 se evaluaron los siguientes aspectos:

- **Información General:** Departamento, Municipio, Vereda, Latitud, Longitud, altitud, Nombre y fecha.
- **Clase de afloramiento:** Natural, corte superficial, excavación subterránea, trinchera, apique.
- **Secuencia estratigráfica:** Horizontes y tipo de depósito.
- **Caracterización:** Horizonte, color, textura, consistencia, densidad relativa, consistencia de los clastos, penetrometro, estructuras.
- **Referencias fotográficas y descripciones.**

En el formato 4 se analizaron los parámetros que a continuación se describen:

- **Información General:** Departamento, Municipio, Vereda, Latitud, Longitud, altitud, Nombre y fecha.

- **Clase de afloramiento:** Natural, corte superficial, excavación subterránea, trinchera, apique.
- **Material rocoso:** Horizontes, tamaño de grano, dureza, martillo Schmidt, rasgos de esfuerzos, composición, tamaño de grano, fabrica.
- **Macizo rocoso:** Dirección de buzamiento, familias de diaclasas.
- **Condiciones de superficie:** Rugosidad, meteorización, relleno, estructura, GSI, Humedad, tamaño de bloques
- **Estructura, GSI, Humedad, tamaño de bloques. :** Dirección de buzamiento, familias de diaclasas.
- **Referencia fotográfica y descripciones.**

En el Formato 2 se evaluaron los siguientes aspectos:

- **Datos estructurales:** Persistencia, abertura, flujo de agua entre otros.

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

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

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

Basado en los datos obtenidos en los controles de campo para la caracterización de UGS y con el fin de consolidar un producto intermedio como el mapa de UGS, haciendo uso del Formato 3. Caracterización de suelos para cartografía de mapas de Geología para Ingeniería (tomado del SGC, 2004). establecido en el “PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente

y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)” y suministrado en el Anexo 3. En dicho formato se evaluaron los siguientes aspectos:

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

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

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

Tabla 7 Caracterizaciones en formaciones superficiales realizadas.

USG	NUMERO DE MUESTRAS
srii (Ultramafita de Puente Umbría)	1
srii (Gablo Uralítico de Belén de Umbría)	1
Stf4 (Fm Zarzal)	1
srii (Gablo de Anserma)	2
strc1 (Coluviones)	4
Stf2 y Stf3 (Sedimentos de Viterbo)	7
Stf3 (Fm La Paila)	4
srs (Fm. Penderisco)	8

srii (Plutón de Mistrató)	9
stv1 (Depósitos de ceniza)	15
sriv (Fm Barroso)	16
Sriv2 (Fm Combia)	7
TOTAL	75

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

En la Tabla 8 se muestra el número de muestreos en roca mediante resistencia utilizando el martillo de Schmidt

Tabla 8 Caracterizaciones en Rocas mediante resistencia usando martillo Schmidt

SITIO	USG	CANTIDAD
Riosucio	Fm. Barroso	1
Arroyo hondo	Fm. Barroso	2
Las cruces	Fm. Barroso	1
Cantera Lazaro	Gabro de Anserma	2
Mistrato vía belén	Pluton de Mistrato	4
Puente Umbria	Ultramafica de puente Umbria	3
Belen de Umbria	Gabro de Belen de Umbria	3
San Gabriel	Fm. Penderisco	2
La Marina	Fm. Penderisco	1
La Isla	Fm. Barroso	4
Belalcázar	Fm. La Paila	4
	Total	27

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016

2.5.4. Análisis de laboratorio

2.5.4.1 Suelos (UGS)

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

- Determinación del contenido natural de humedad en porcentaje (ASTM D 2216).
- Granulometría por tamizado y lavado sobre tamiz # 200 para establecer los porcentajes de gravas, arenas y finos, en porcentaje (ASTM D 2487).
- Límites de Atterberg o límites de plasticidad (límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad) (ASTM D 4318).
- Determinación del peso unitario (total y seco) del suelo.

- Clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos S.U.C.S (ASTM D 2487).
- Determinación de la resistencia a la compresión inconfiada. (ASTM D 2166).
- Ensayo de Corte Directo.
- Ensayo de consolidación.

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

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

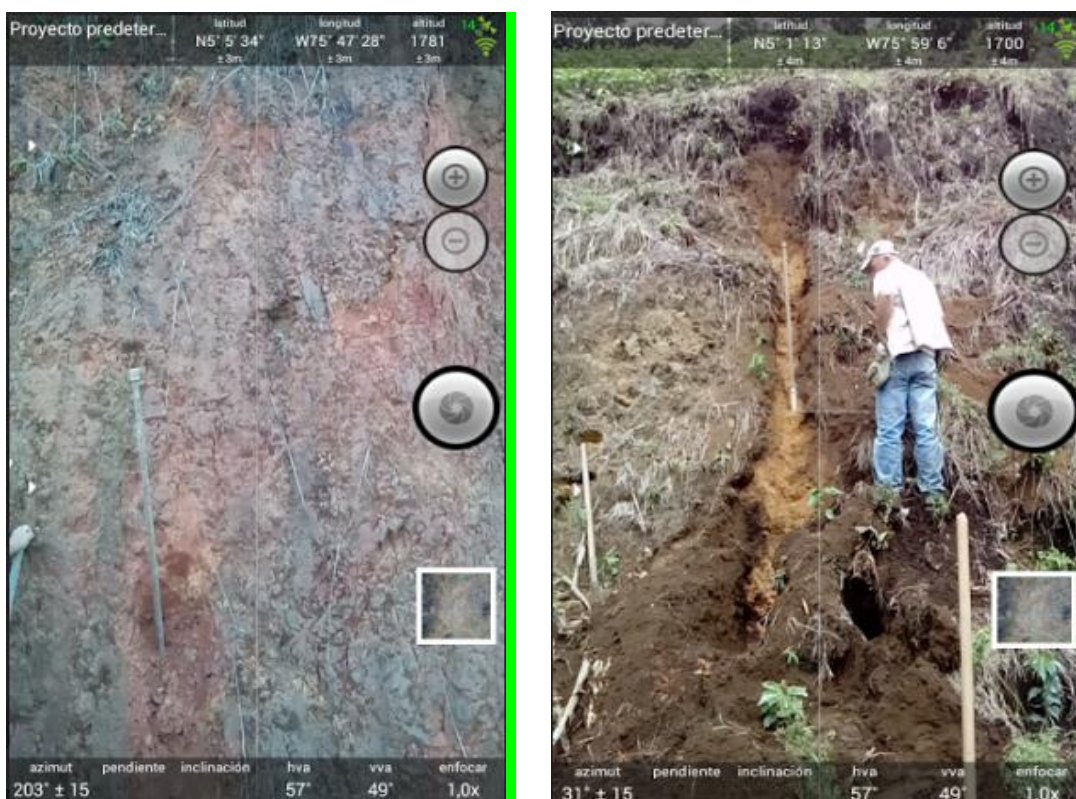


Figura 19 Exploraciones del subsuelo mediante trincheras para obtención de muestras.

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

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

Tabla 9 Unidad Geológica Superficial, clasificación según Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo

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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Figura 20 se observan los porcentajes de muestreos realizados en suelos del total de las 75 exploraciones realizadas en las unidades geológicas superficiales.

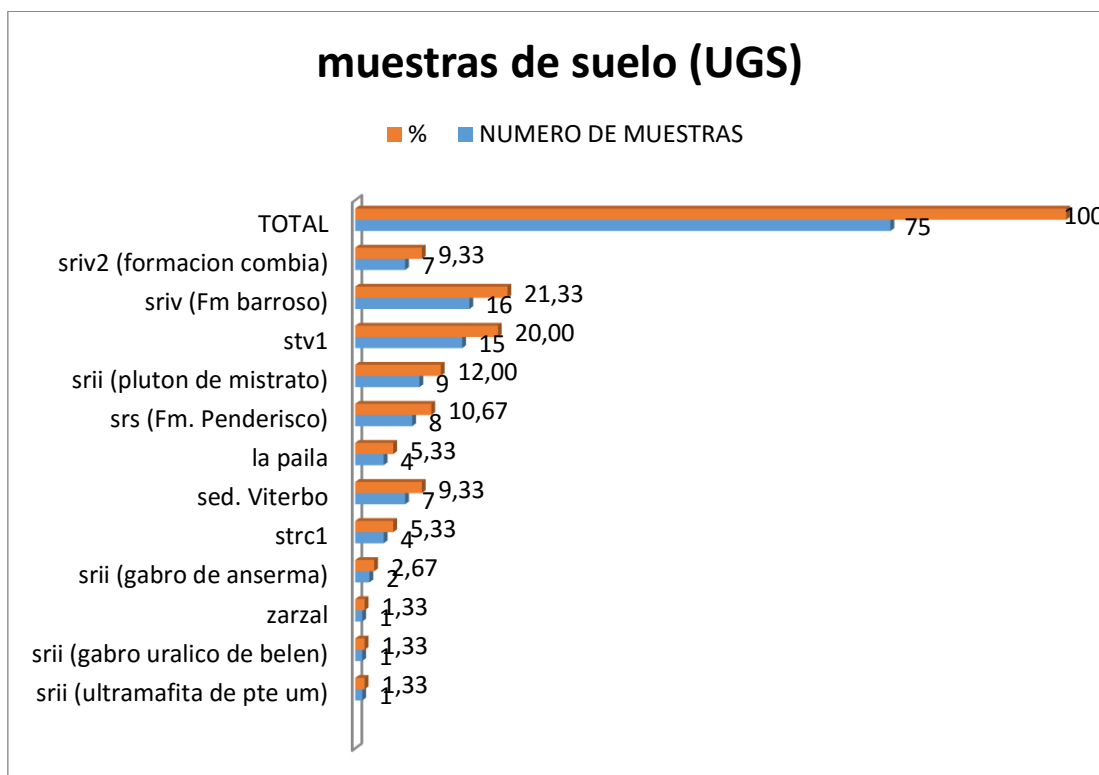


Figura 20 Porcentaje de muestreos en suelos.
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

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

Tabla 10 caracterizaciones de suelos

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

Fuente: consorcio ordenamiento cuenca Risaralda 2016

En las Figura 21 y Figura 22 se observan macizos rocosos con presencia de suelos residuales ígneos volcánicos y sedimentarios respectivamente.



Figura 21 Suelo residual de rocas ígneas básicas como materiales superficiales.
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.



Figura 22 Rocas sedimentarias como unidades superficiales existentes. Sector Oeste del área
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

2.5.4.2 Rocas (UGS)

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

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

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

Tabla 11. Resistencia de la matriz rocosa

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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Figura 23 se ilustra el proceso de medición del parámetro de resistencia utilizando el martillo de Schmidt.



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

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En el Anexo 5 se remiten los resultados de las mediciones mediante el martillo Schmidt.

2.5.4.3 Parámetros geomecánicos del material

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

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

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

Los

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

A continuación se establecen los cálculos efectuados:

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

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

Determina los módulos de deformación basado en los siguientes datos:

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

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

Parámetros Mohr-Coulomb: Cálculos de parámetros equivalentes de esfuerzos de Mohr-Coulomb (cohesión y ángulo de fricción).

En la Tabla 12 se remiten los datos evaluados para los materiales rocosos evaluados.

Tabla 12 Parámetros geomecánicos para rocas.

PARAMETROS GEOMECHANICOS PARA ROCAS (Hoek Brown Classification) CUENCA DEL RIO RISARALDA										
ROCAS	SITIO	sig	GS	m	D	Ei	MR	c (MPa)	ϕ	Resistencia (MPa) (medicion martillo)
Basaltos Formación Barroso	Via Riosucio	18	68	25	1	6300	350	0,2546	52,6	18
	Arroyo Hondo y cantera El Jazmin, Isla	50	68	25	1	1750	350	0,4756	58,6	50 (promedio)
	Cantera El Jazmin	100	68	25	1	3500	350	0,8	61,9	100 (promedio)
	Cantera El Jazmin	250	68	25	1	8750	350	1,7728	65,1	250 (Promedio)
Rocas metasedimentarias (Formación Penderisco)	La Marina, San Laza	22	51	25	1	4400	675	0,1517	45,0	22 (promedio)
Plutón de Mistrato	Andesitas (Via Bele Mistrato)	18	56	27	1	7200	400	0,1667	47,0	18 (promedio)
Rocas ultramaficas Puente Umbria	Rocas ultramaficas basicas serpentinizadas, Puente Umbria)	20	43	25	1	7000	350	0,1136	39,4	20 (promedio)
Gabros	Belen de Umbria, (Gabros)	36	67	27	1	1620	450	0,3624	57,0	36 (promedio)

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Figura 24 se observan los gráficos arrojados por el software RocLab de acuerdo al criterio de rotura generalizado de Hoek - Brown

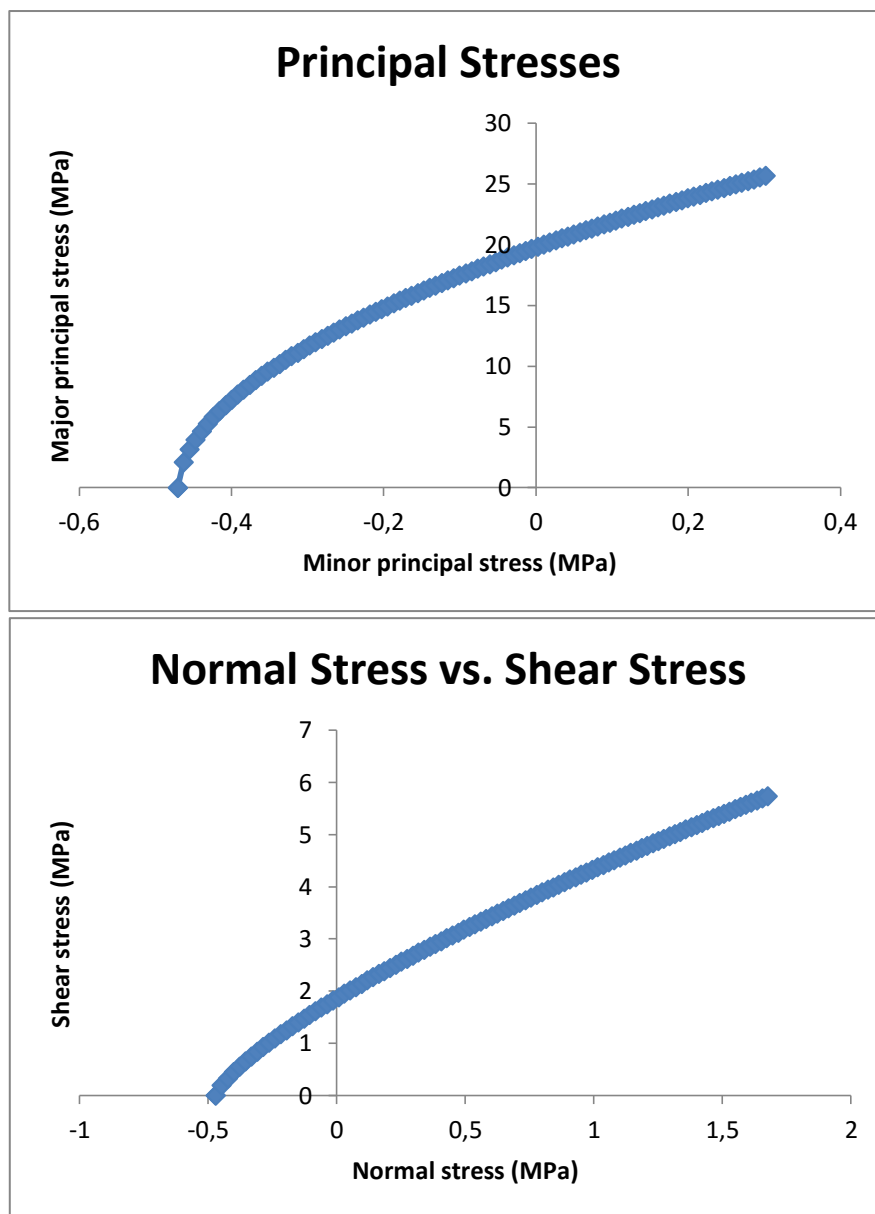


Figura 24. Gráficos arrojados por el software RocLab.
Fuente. Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Basado en los datos obtenidos anteriormente se realizaron los controles de campo con el fin de consolidar la cartografía geológica, haciendo del formato 4. Caracterización de macizos rocosos para cartografía de mapas de Geología para ingeniería (tomado del SGC, 2004) establecido en el "PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Hacienda y Crédito Público)" y suministrado en el Anexo 5. En dicho formato se evaluaron los siguientes aspectos:

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

2.6 Mapa de geología para ingeniería (UGS cuantitativo).

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

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

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

Los

parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presenta valores de cohesión, de ángulo de fricción y valores de resistencia a la compresión no confinada se trabajaron según los parámetros del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de manejo y ordenamiento de cuencas hidrográficas (MADS, 2014) y pueden verificarse en el Anexo 4.

En el Anexo 6 se muestran los perfiles estratigráficos generados para cada muestreo como para cada unidad geológica superficial

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

2.6.1. Transportadas (st)

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

2.6.1.1. Fluvial (stf)

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

Llanura de inundación (stf2):

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

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

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

Terrazas aluviales (stf3):

A

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

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

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

Depósitos de abanicos (stf4):

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

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

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

2.6.1.2. Volcánico (stv):

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

Depósitos de ceniza (stv1):

Cubren una proporción pequeña en el área de estudio, principalmente hacia el sector de Belalcazar (Caldas). Estos depósitos suprayacen los materiales rocosos del basamento como también los diversos niveles de alteración de las rocas preexistentes. Presentan una tonalidad pardo amarillento con alto nivel de humedad, lo que hace que presente una textura muy arcillosa y una clara

diferenciación de capas o niveles que demuestran los variados eventos volcánicos ocurridos en periodos anteriores. Se caracteriza por su consistencia blanda, densa y el espesor varia en el rango de 1 m a 2 m y cubriendo una extensión total de 6179.26 Ha.

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

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

2.6.2. Translocados (str):

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

Coluviones (strc1):

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

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

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

2.6.3. Residual (sr).

Este suelo se ha formado por la meteorización de las rocas parentales existentes en el sitio, generando diversos perfiles de meteorización según los factores

formadores del suelo. Para la cuenca en estudio, se tienen diversos tipos de suelos según el tipo de roca presente así:

Suelo residual sedimentario (Srs):

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

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

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

Suelo residual de roca volcánica Formación Barroso (sriv):

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

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

Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presenta valores de cohesión de 0.4 kg/cm² ángulo de fricción de 28.28 Véase Anexo 4).

Suelo residual de roca volcánica Formación Combia (sriv2):

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

La

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

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

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

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

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

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

Suelo residual de roca ígnea intrusiva gabro uralítico de Belén de Umbría

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

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

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

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

Localizado sobre la vía Belén-Mistrato, específicamente hacia el sector de Puente Umbría. Los suelos residuales generados se caracterizan por presentar color blancuzco, textura fundamentalmente limo arcillosa, consistencia blanda, denso y

con

espesor entre 3 m a 4 m, ocupando un área total de 205.05 Ha del total de la zona evaluada.

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

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

Suelo residual de roca ígnea intrusiva del Plutón de Mistrato (srii):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Densidad Seca: Este parámetro es muy homogéneo para todas las UGS, la de mayor valor corresponde a los coluviones (Strc1) con una densidad promedio de 1,32 g/cm³, casi todas demás UGS presentan valores de densidad superiores a 1,0 g/cm³; excepto las muestras de suelo residual del Gabro de Anserma (Srii) con un 0,98 g/cm³ y los Depósitos de ceniza con un promedio de densidad seca de 0,85 g/cm³.

Densidad Húmeda: Las densidades obtenidas para las UGS son muy homogéneas, tanto así que la que presenta la mayor densidad son las muestras de suelo residual del Plutón de Mistrató (Srii) con una densidad promedio de 1,7 g/cm³ y la de menor densidad corresponde a los Depósitos de ceniza (Stv1) con un 1,34 g/cm³.

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

Cohesión: Este parámetro evaluado en el ensayo de corte directo indica que la UGS que presenta la mayor cohesión corresponde a la Ultramafita de Puente Umbría (Srii) con un 0,98 Kg/cm² y la que presenta el menor valor corresponde a los depósitos de llanura (Stf2) con un 0,21 Kg/cm².

Resistencia a la compresión inconfiada (qu): Con respecto a este parámetro se puede deducir que la UGS con el mayor valor corresponde a suelo residual del Gabro Uralítico de Belén de Umbría (Srii) el cual presenta un valor de 1,49 Kg/cm², para el resto de materiales superficiales se observa valores superiores a 1 Kg/cm², excepto para los depósitos de ceniza (Stv1) los cuales presentan en promedio 0,99 Kg/cm² y los de menor valor corresponden a los depósitos de llanuras (Stf2) con 0,83 Kg/cm².

2.6.4. Rocas.

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

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

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

Tabla 13 Formaciones Superficiales UGS en la cuenca

TIPO	UNIDAD GEOLOGICA SUPERFICIAL	SIMBOLOGIA	HECTAREAS	PORCENTAJE
ROCA	Fm Penderisco	Fm Penderisco	6369,291811	1,14%
	Fm barroso	Fm barroso	12451,5744	2,27%
	Grupo cañasgordas	Grupo cañasgordas	65,13654812	2,27%
	Pórfido andesítico	Pórfido andesítico	168,7201039	1,14%
SUELO	residual ígneo intrusivo	srii (gabro de Anserma)	2025,283413	3,41%
	residual ígneo intrusivo	srii (gabro uralítico de Belén de Umbría)	755,7464472	1,14%
	residual ígneo intrusivo	srii (Plutón de Mistrató)	12234,20937	1,14%
	residual ígneo intrusivo	srii (ultramafita de puente umbría la isla)	205,045314	1,14%
	residual ígneo volcánico (Fm. Barroso)	sriv	29095,95655	12,50%
	residual ígneo volcánico (Fm. Combia)	sriv2	11115,94207	5,68%
	residual sedimentario (Fm. Penderisco)	srs (Fm. Penderisco)	17452,99757	13,64%
	residual sedimentario (grupo cañas gordas)	srs (grupo cañas gordas)	1224,02759	9,09%
	Depósitos de llanura	stf2	10989,15417	7,95%
	Depósitos de terrazas aluviales (sedimentos de Viterbo, Fm. La paila)	stf3	8980,453724	15,91%
	abanico fluvial (Fm. Zarzal)	stf4	601,191419	5,68%
	Translocados Coluvial	strc1	763,1080542	5,68%
	transportado de ceniza volcánica	stv1	11102,24655	10,23%
	TOTAL GENERAL		125600,0851	100,00%

Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Figura 25 se ilustra el diagrama pastel con los porcentajes de UGS en la cuenca.

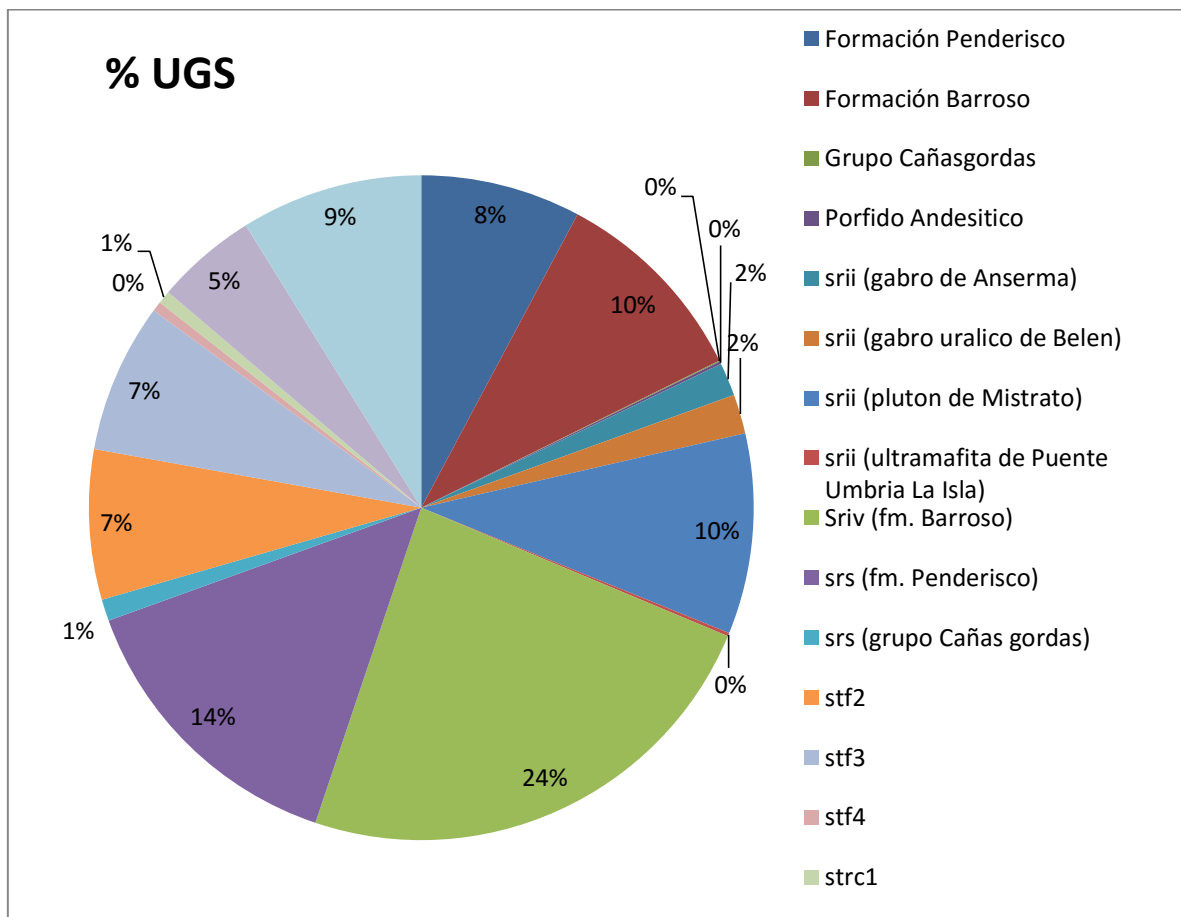


Figura 25 Porcentaje de las UGS en la cuenca
Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

En la Figura 26 se detalla el flujograma de la metodología empleada para el desarrollo de las actividades unidades geológicas superficiales.



Figura 26 Esquema de las actividades desarrolladas para Unidades superficiales UGS
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

Las muestras tomadas en campo fueron georreferenciadas mediante GPS, empacadas en papel aluminio y bolsas plásticas, posteriormente fueron rotuladas con las respectivas coordenadas, código de la muestra, tipo de unidad geológica superficial, espesor de la capa y profundidad a la cual fue tomada, finalmente fueron almacenadas en caja de cartón rellena de aserrín y se implementó el protocolo de transporte para su posterior entrega al laboratorio para efectuar los ensayos geotécnicos correspondientes. Ver en el Anexo 4 el protocolo de transporte como se muestra en la Figura 27.

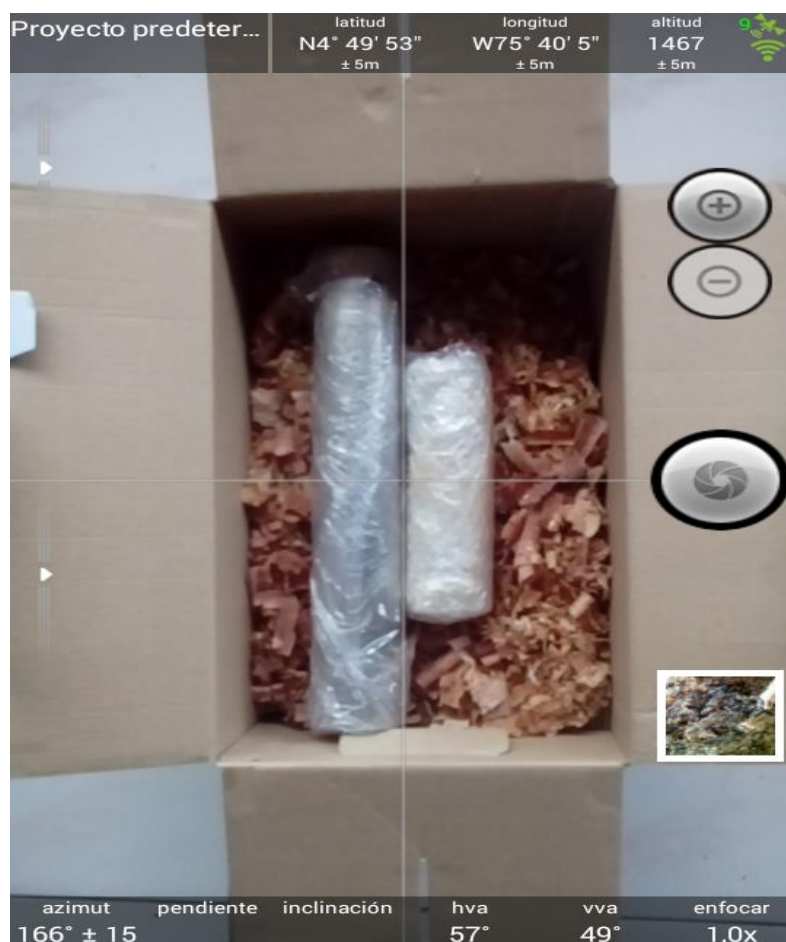


Figura 27 Protocolo de transporte muestras para laboratorio
 Fuente: Consorcio Ordenamiento Cuenca Risaralda 2016.

3. RECOMENDACIONES

- Poner al conocimiento de las entidades gubernamentales, regionales, y de cada municipio las condiciones geológicas que se encuentran en la zona, como también, evaluación constante de los procesos erosivos que están incidiendo en el territorio.
- Se recomienda hacer una cartografía más detallada, escala 1:10000 y 1:5000, a nivel de municipio para identificar las condiciones geológicas, estados de meteorización de los macizos rocosos y Morfodinámica (procesos erosivos) del territorio, para una zonificación más precisa de cada municipio.
- Hacer caracterizaciones geotécnicas sobre las unidades geológicas superficiales tanto de roca como de suelo que han sido definidas como condicionantes principales para las zonas de riesgo, y así poder tener una zonificación geotécnica de cada municipio para el desarrollo urbanístico del mismo.
- Cartografía actualizada y microzonificación del territorio, con respecto a los movimientos de las fallas activas, que sean identificables sobre cada municipio, para la prevención de desastres futuros.

4. CONCLUSIONES

Las unidades geológicas predominantes en el área de estudio corresponden a la Formación Barroso, la Formación Penderisco, el Stock de Mistrató, los Gabros de Anserma y los Depósitos Aluviales Recientes del río Risaralda.

Estructuralmente, la cuenca del río Risaralda presenta sistemas de dirección N-S a N20 E, relacionados con la Falla Cauca–Patía, donde se destacan diversos ramales como son las fallas Apía, Toro y Mistrató, mientras hacia el oriente de la cuenca del río Risaralda, corresponde a la Falla Quebradanueva. Dichas estructuras condicionan la estabilidad de los materiales e inciden en la amenaza sísmica local. Para el caso particular del valle del río Risaralda, éste se localiza en una zona de amenaza sísmica de moderada a alta.

Geomorfológicamente la cuenca del río Risaralda presenta un predominio de unidades de relieve montañoso y colinado estructural erosional y de depósitos coluvio-aluviales recientes, que constituyen uno de los rasgos fisiográficos más significativos y evidentes del área de estudio.

En general, los fenómenos de remoción en masa para los territorios de la cuenca del río Risaralda, están asociados a las unidades geológicas Formación Barroso y Gabros de Anserma. La amenaza por fenómenos de remoción en masa se concentra en el sector suroccidental de los departamentos de Caldas y Risaralda y los mismos están relacionados con las fuertes pendientes, el afloramiento de rocas altamente fracturadas y diaclasadas, usos inadecuados del suelo y la acción de un factor detonante como las lluvias en los períodos húmedos del año.

Las cabeceras urbanas de Belalcázar, San José y Anserma se ubican sobre geoformas que coronan colinas, en un basamento basáltico con fuerte control estructural, altamente fracturado y diaclasado, expuesto a una intensa meteorización. La presión ejercida sobre el suelo por la intensidad de uso ha provocado erosión considerable donde convergen factores naturales tales como tipo de roca, morfometría alta, intenso grado de fracturamiento, meteorización y factores antrópicos que acentúan las condiciones de alto riesgo por movimientos en masa.

De igual forma, para los municipios del territorio Risaraldense, la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa está asociada a las unidades geológicas aflorantes, las fuertes pendientes, los controles estructurales y la presencia de factores coadyuvantes como el mal manejo de aguas servidas y de escorrentía, las bajas especificaciones de infraestructura, la conflictiva ubicación de descoles y vertimientos y las deficiencias constructivas de edificaciones.

Geomorfológicamente la cuenca del río Risaralda manifiesta un predominio de unidades denudativas en relieve montañoso con buen desarrollo de suelos residuales, y con presencia de zonas escarpadas, ladera y vertientes alargadas propias de modelado estructural.

A su vez, en otros sectores, es de particular significado la conformación y evolución tectónica, como es el caso de la parte occidente de la cuenca, mientras en la parte alta de la cuenca, los procesos volcánicos, dieron lugar al modelado principal del sector.

Uno de los aspectos de mayor relevancia, dentro del modelado del paisaje, corresponde a la evolución de una zona poco desarrollada de piedemonte constituido por materiales denudados y erosionados de las partes altas de la cuenca, relacionado con la interacción entre los materiales geológicos y los procesos climáticos y morfodinámicos, y en general presentan un importante desarrollo de suelos residuales.

El 48,40% del área de trabajo que corresponde a un total de 48976,98 m², se encuentran cartografiados como materiales del cretácico donde se incluyen unidades geológicas representativas de la cordillera occidental como la Formación Penderisco y la Formación Barroso, lo que establece que sean materiales muy poco afectados por intervención antrópica, adicionalmente sus condiciones de meteorización alta favorecen las condiciones para la generación de procesos erosivos en el territorio.

La zona se encuentra afectada por 7 fallas definidas algunas con su tasa de movimiento DEFINIDA (> 1 mm/año), y 10 fallas no definidas y/o lineamientos, lo que demuestra la ALTA INCIDENCIA TECTONICA EN LA ZONA que generan sitios de confluencia de elementos tectónicos que podrían ocasionar afectaciones por fenómenos de remoción en masa y actividad sísmica. Esto sectores se relaciona principalmente para el área de Santuario, Apía, Mistrató, Guática, Belalcázar.

Las Unidades Geológicas Superficiales UGS identificadas en la zona presentan como mayor porcentaje el suelo residual ígneo volcánico de la Formación Barroso con el 23,84 % (29950,95 Ha), seguido de suelo residual sedimentario con 14,32% (17983,44 Ha) y en tercer lugar por suelo residual ígneo intrusivo del Plutón de Mistrató con 9,75 % (12247,21 Ha); lo que establece el favorecimiento de actividades antrópicas por cambio de usos del suelo a cultivos, favorecido por el aporte de minerales al suelo por parte de dichas unidades y también por su facilidad de intervención antrópica para modificación topográfica, lo que generaría cambios notables en las condiciones actuales del sitio y por consiguiente podría presentarse adicionales factores contribuyentes a la generación de áreas inestables en el territorio. Las anteriores consideraciones permiten establecer la heterogeneidad de las características geomecánicas de los materiales existentes, denotando el carácter fino del material con índices de plasticidad muy cambiantes para cada una de las determinadas zonas.

Las Unidades geológicas superficiales en general presentan según la clasificación SUCS corresponde a orgánico de baja compresibilidad, (OL), con un porcentaje para tamiz pasa # 200 desde 88,69 (terrazas) hasta 90,49 % (llanuras) lo que denota la fracción fina del material. La densidad húmeda presenta valores entre

1,61

gr/cc³

(terrazas) hasta 1.54 gr/cc³ (llanuras); La humedad natural presenta valores desde 45,56 % (suelo residual ígneo volcánico de la Fm. Barroso) hasta 35,04 % (Coluviones). Los índices de plasticidad varían entre 4,22 % (suelo residual ígneo intrusivo del gabro uralítico de Belén de Umbría) hasta 25,77 % (Depósitos de ceniza). Los parámetros de resistencia registrados mediante el ensayo de corte directo presentan valores de cohesión desde 0.21 kg/cm² (llanuras) hasta 0.98 kg/cm² (suelo residual ígneo intrusivo del gabro uralítico de Belén de Umbría) y de ángulo de fricción varía desde 23° (abanicos aluviales) hasta 32,44° (suelo residual ígneo intrusivo del Plutón de Mistrató)

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

5. BIBLIOGRAFÍA.

Álvarez, A. J. 1983. Geología de la Cordillera Central y el Occidente colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides mesocenoicos. Boletín Geológico de INGEOMINAS. V. 26, N. 2:1 -175.

ARIAS, G.F. 1993. Evaluación Hidrogeológica para el Área de Dosquebradas-Risaralda. CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE RISARALDA CARDER. 114 p.

CABALLERO, H. Y ZAPATA, G. 1984. Geología y Geoquímica de la Plancha 224 Pereira. Informe 193. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA – INGEOMINAS. Medellín, 186 p.

Cardona, Francisco Javier y Ortiz, Mario. ASPECTOS ESTRATIGRAFICOS DE LAS UNIDADES DEL INTERVALO PLIOCENO-HOLOCENO ENTRE PEREIRA Y CARTAGO. Propuesta de Definición Formal para la Formación Pereira. 1994.

BORRERO, C. et al 1994. Caracterización de depósitos volcánicos en la Cordillera Central. III Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, T. I, Armenia.

Borrero C. y Luz Mary T. 2016. Vulcanismo de afinidad adaquítica en el miembro inferior de la Formación Combia (Mioceno Tardío) al sur de la subcuenca de Amagá, Noroccidente de Colombia.

CARDER- EGEO. 1984. Inventario Básico de las Cenizas Volcánicas Cuaternarias en la zona suroriental de Risaralda y recomendaciones para la evaluación de riesgos sísmico y volcánico.

CARDER-HERMELÍN & ASOCIADOS. 1988. Identificación de viviendas en peligro en el área metropolitana de Pereira y Dosquebradas

CARDER-HERMELÍN & ASOCIADOS. 1991. Zonificación Geológica de terrenos de Pereira y Dosquebradas en función de la aptitud para su uso.

CARDER. 1991. Evaluación Geológica Geomorfológica de la Microcuenca de la Quebrada Volcanes Municipio de Santa Rosa de Cabal.

CARDER. 1991. Evaluación Geológica y Geomorfología de la Microcuenca de la Quebrada San José de Santa Rosa de Cabal.

CARDER- INGEOMINAS. 1993. Estudio de Amenaza Volcánica del Nevado Santa Isabel.

CARDER- UNIVERSIDAD DE CALDAS. 1993. Tesis de grado en Geología. Aspectos estratigráficos de las unidades del intervalo plioceno holoceno entre Pereira y Cartago. Propuesta de definición para la formación Pereira.

CARDER- UNIVERSIDAD DE CALDAS. 1994. Tesis de grado en Geología. Evaluación geológica y geomorfológica de la microcuenca de la Quebrada Canoas.

CARDER. 1997. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa. Evaluación Neotectónica.

CARDER, 2001. Informe Final - Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Pereira.

Díaz Cañas J.S 2015. Marco Bioestratigráfico y proveniencia de la Formación Penderisco y su significado en la formación de un domo marginal a las fallas de romeral.

OROZCO, J.I. VÉLEZ, J.W. URIBE, F. y ESCOBAR, M.C. 1991. Informe técnico de la creciente torrencial del río San Juan, municipio de Pereira. Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Pereira, Risaralda. Pereira. 24 p.

Universidad de Caldas – CARDER, 1997. Unidades geomorfológicas y cartografía de Formaciones Superficiales. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Convenio CARDER - Universidad de Caldas, Pereira.

González, H. 1993. Mapa geológico del departamento de Risaralda escala 1:100.000, memoria explicativa. INGEOMINAS, Santafé de Bogotá, Colombia.

Irving, E. M. 1971. Evolución Estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. Boletín geológico Vol. XIX No. 2. 1971.

James, M. 1986. ESTUDIOS SISMOTECTONICOS EN EL AREA DEL ANTIGUO CALDAS. INGEOMINAS, Medellín.

Mosquera, D. Marín, P. Vesga, H. González, H. 1998. Geología de la Plancha 225 – Nevado del Ruiz.

Nelson, H. W. 1962. CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DE LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA. Sección entre Ibagué y Armenia. En Boletín Geológico Volumen X Enero-Diciembre Nos. 1-3.

NEUWERTH, Ralph. 2008 Lithostratigraphical and tectono-sedimentary study of the Plio-Pleistocene infill of the Interandean North Cauca Valley Basin (Colombia)

Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F. 1975. EDADES RADIOMETRICAS DE ALGUNAS ROCAS DE ANTIOQUIA. Pub. Esp. Geol. Univ. Nal. Medellín.

Restrepo, J.J. Y Toussaint, J.F. 1989. TERENOS ALOCTONOS EN LOS ANDES COLOMBIANOS. EXPLICACION DE ALGUNAS PARADOJAS GEOLOGICAS. En MEMORIAS V CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGIA. Bucaramanga.

Restrepo, J.J. Y Toussaint, J.F. 1985. UNIDADES LITOLOGICAS DE LOS ALREDEDORES DE MEDELLIN. Pub. Esp. 2 I.C.N.E. Universidad Nal. De Colombia, Medellín.

Restrepo, J.J. 1983. COMPILACION DE EDADES RADIOMETRICAS DE COLOMBIA DEPARTAMENTOS ANDINOS HASTA 1982. En Boletín de Ciencias de la Tierra No. 7-8.

Restrepo, J.J. y Toussaint J.F. 1974. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL DE LOS ANDES COLOMBIANOS. Pub. Esp. Geol. Univ. Nal. Medellín No. 4.

Restrepo, J.J. y Toussaint, J. F. 1983. METAMORFISMOS SUPERPUESTOS EN LA CORDILLERA CENTRAL DE COLOMBIA, En Boletín de Ciencias de la Tierra No. 7-8.

Rodríguez G y Lina María C 2016. Caracterización petrográfica y química de rocas de corteza oceánica del Complejo Quebradagrande y comparación con rocas de la unidad de diabasas de San José de Urama.

Toro, G y Hermelín M. 1992. ASPECTOS SOBRE TEFRAESTRATIGRAFIA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA. En MEMORIAS II SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE RIESGO GEOLÓGICO URBANO. Tomo I. Pereira.

Toro, G. E. y Hermelín, M. 1991. PROYECTO TEFRAESTRATIGRAFIA COLOMBIANA II ETAPA. Tefraestratigrafía del Departamento de Risaralda. Memorias Proyecto de Investigación.

Toussaint, J.F., 1996, Evolución geológica de Colombia durante el Cretácico: Medellín, Universidad Nacional de Colombia, p. 277.

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. 2009. Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia.

Bonasia, R., Capra, L., Costa, A., Macedonio, G., Saucedo, R., 2011. Tephra fallout hazard assessment for a Plinian eruption scenario at Volcán the Colima (Mexico). Journal of Volcanology and Geothermal Research Vol 203, pp 12 – 22.

CARDER, 2000. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Informe Final.

INGEOMINAS., 1993. Mapa preliminar de amenaza volcánica potencial Complejo de Domos Santa Isabel. Cordillera Central de Colombia.
<http://www.ingeominas.gov.co/Manizales/Volcanes/Volcan-Nevado-de-Santa-Isabel/Generalidades.aspx>



INGEOMINAS., 2007. Página principal del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales OVSM. Mapa de Amenaza Volcánica Potencial del Nevado del Ruiz. <http://www.ingegominas.gov.co/Manizales/Volcanes/Nevado-del-ruiz/Mapa-de-amenazas.aspx>

Guzmán, J. Franco, G. y Ochoa, M. 1998. Informe Final Evaluación Neotectónica. Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal. Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Pereira.

Vallejo Hincapié et al 2011. Petrografía y geoquímica de las rocas intrusivas aflorantes entre los municipios de Mistrató y Belén de Umbría (Departamento de Risaralda, Cordillera Occidental de Colombia).